Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie der
Ludwig-Maximilians-Universität
München

Direktorin: Prof. Dr. Ingrid Rudzki-Janson

Evaluierung der Wachstumsanalyse nach BJÖRK - Eine Langzeitstudie

Dissertation

Zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Caroline Susanne Aldinger

aus
Tübingen

2002

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. dent. Ingrid Rudzki-Janson
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. D. Kunze Priv. Doz. Dr. M. Folwaczny
Mitbetreuer durch den Promovierten Mitarbeiter:	Dr. med. dent. Irmengard Storr
Dekan:	Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter
Tag der mündlichen Prüfung:	30.07.2002

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

1.1 Die kieferorthopädische Behandlungsplanung 1

1.2 Bedeutung der Fernröntgenseitenbilder in der Kieferorthopädie 2

1.3 Literaturübersicht zu Wachstumsstudien am Fernröntgenseitenbild 4

1.4 Kieferorthopädische Apparaturen und deren Einfluss auf das Kieferwachstum 10

2 Fragestellung 12

3 Eigene Untersuchungen 13

3.1 Material 13

3.2 Methode 14

3.2.1 Auswertung der FRS-Bilder 14

3.2.1.1 Technische Daten 15

3.2.1.2 Technik der Durchzeichnung für Fernröntgenseitenbilder 16

3.2.2 Meßmethode 17

3.2.2.1 Referenzpunkte 18

3.2.2.2 Referenzlinien 21

3.2.2.3 Winkel- und Streckenmessungen und Definitionen 23

3.2.2.4 Interpretation der gemessenen Variablen 25

3.2.3 Bewertungsmethode der Morphologie der Mandibula 26

3.2.3.1 „Subjektiv“ bewertete Wachstumsmerkmale (Merkmal 1-3) 26

3.2.3.2 „Objektiv“ gemessene Wachstumsmerkmale (Merkmal 4-6) 28

3.2.3.3 Auswertung und Interpretation der Merkmale 30

3.2.4 Die Empfehlung von STEINER (1953) [72] zur ANB-Winkelveränderung durch Wachstum basierend auf der Wachstumsanalyse nach BJÖRK (1967) [15] und OEDEGAARD (1970) [51], [52] 31

3.3 Bewertung der skelettalen Reife anhand von Handwurzelaufnahmen 32

3.4 Statistische Analyse 33

4 Ergebnisse 35

4.1 Wachstumsanalyse nach Björk für die zu erwartende sagittale und vertikale Veränderung von Position und Lage der Mandibula 35

4.1.1 Merkmal 1 – das Kiefergelenk 36

4.1.2 Merkmal 2 – der Mandibularkanal 36

4.1.3 Merkmal 3 – der Unterrand der Mandibula mit Symphyse 37

4.1.4 Merkmal 1 bis 3, sogenannte „subjektive“ Merkmale zur Bewertung der wachstumsbedingten Veränderung der Mandibula 38
4.1.5 Merkmal 1 und 6 – Aussagen zur Translation 38
4.1.6 Merkmal 1 bis 6 - Aussagen zur Rotation 39
4.2 Signifikanzbewertung der einzelnen Merkmale 40
4.3 Endaussage der Analyse für die Rotation und Translation 41
4.3.1 Kontingenztafeln und Zusammenfassung der Aussage für die Rotation 41
4.3.2 Kontingenztafeln und Zusammenfassung der Aussage für die Translation 42
4.4 Prognose zur wachstumsbedingten Veränderung für die sagittale Relation der Maxilla zur Mandibula dargestellt am ANB-Winkel 43
4.4.1 Allgemeines 43
4.4.2 Vergleich der ANB-Winkelprognosen nach BJÖRK (ANB-Prognose 2) mit der tatsächlich eingetretenen ANB-Winkelveränderung zum Zeitpunkt T3, dem Behandlungs- und Wachstumsende 43
4.4.3 Vergleich der Prognosen für den ANB-Winkel basierend auf der BJÖRKschen Empfehlung (ANB-Prognose 2) mit der nach STEINER empfohlenen Vorhersage (ANB-Prognose 1) 44
4.5 Oneway-Varianzanalyse 46
4.6 Graphische Darstellung der Prognosen und der Prognosegüte 47
5 Diskussion 52
5.1 Methodenkritik 52
5.2 Ergebniskritik 54
5.3 Schlussfolgerungen 59
6 Zusammenfassung 60
7 Literaturverzeichnis 62
8 Anhang 69

1 Einleitung

1.1 Die kieferorthopädische Behandlungsplanung

In der Kieferorthopädie sind Wachstumsanalysen für die Behandlungsplanung von großer Bedeutung. Sie beziehen sich zum einen auf die Wachstumszeit, dann auf das Wachstumspotential und schließlich auf die Wachstumsrichtung. Die Maxilla und die Mandibula werden während des Wachstums in eine veränderte Position und Lage gebracht. Je genauer der Kieferorthopäde über dieses Wachstumstrio informiert ist, desto präziser kann er seine therapeutischen Maßnahmen während der Wachstumsphase planen und sicherer zum wünschenswerten Behandlungsziel kommen.

Der pubertäre Wachstumsschub gilt als Phase großer skelettaler Veränderungen der Kieferbasen. Wenn eine kieferorthopädische Behandlung während dieser Zeit, die sich durch gesteigerte Wachstums- und Entwicklungsvorgänge auszeichnet, stattfindet, sind Okklusionsveränderungen zu erwarten. Diese können im Einklang mit dem kieferorthopädischen Behandlungsziel stehen, aber auch dem wünschenswerten Behandlungsziel entgegenwirken. Vor allem in dem Zeitintervall, das durch große Wachstumsintensität gekennzeichnet ist, gilt es, potentiell zu erwartende erwünschte und unerwünschte Veränderungen präzise gegeneinander abzuwägen, damit die durch kieferorthopädische Apparaturen zum Einsatz kommenden orthopädischen und orthodontischen Kräfte nicht zu einer ungünstigen Beeinflussung führen.

Auch nach Abschluss der Hauptwachstumsphase bringt das sogenannte Restwachstum teilweise noch erhebliche intermaxilläre Veränderungen mit sich, die wiederum für die kieferorthopädische Prognose mitberücksichtigt werden müssen.

Demnach ist die Beurteilung der Wachstumsintensität aller skelettalen Strukturen im Viscerocranium in Bezug auf Größe und Richtung für die kieferorthopädische Behandlungsplanung, -durchführung und -prognose von ausschlaggebender Bedeutung. Analysen von Fernröntgenseitenbildern helfen, neben einschlägigen Informationen der klinischen Analyse, insbesondere der Familienanamnese, das zu erwartende respektive bereits abgelaufene Wachstum zu erkennen.

1.2 Bedeutung der Fernröntgenseitenbilder in der Kieferorthopädie

Schon in der griechischen Antike bemühten sich Bildhauer ebenso wie in der Renaissance (15.-16. Jahrhundert) Maler wie LEONARDO DA VINCI oder MICHELANGELO, den menschlichen Körper in geometrische Figuren und arithmetische Proportionen zu gliedern. Die Anthropologie verwendet bestimmte Körpermaße als Indizes, um morphologische Unterschiede von Individuen oder Rassen zahlenmäßig auszudrücken.

Die ersten Röntgenaufnahmen von HAUPTMEYER (1913) und PACCINI (1922) waren noch zu ungenau, um morphologische Strukturen, z. B. der Mandibula genauer zu interpretieren. HAUPTMEYER erwähnt noch starke Verzerrungen seiner Röntgenbilder durch den geringen Fokus-Film-Abstand von 60 cm. BROADBENT (USA) [21] und HOFRATH (Deutschland) [34] stellen heraus, daß es möglich ist, unverzerrte, laterale Fernröntgenseitenbilder herzustellen, wenn ein Film-Fokus-Abstand von fünf feet und eine standardisierte Methode eingehalten werden. BROADBENT und HOFRATH [21], [34] publizierten unabhängig voneinander im Jahre 1931 in der kieferorthopädischen Fachliteratur ihre ersten Erfahrungen und Erkenntnisse zur Fernröntgenseitenanalyse. Seit dieser Zeit dient das Fernröntgenbild als diagnostisches Hilfsmittel in der "Orthodontie, später "Kieferorthopädie", dann "maxillofaziale Orthopädie". Womit ein Einblick in den komplizierten Aufbau des Gesichtsschädels und dessen Veränderungen auch im Laufe der Entwicklung unter Einbeziehung von Weichgewebsprofil, knöchernem Profil, skelettalen und dentoalveolären Anteilen im Gesichtsschädel gewonnen werden kann.

Mit Wachstumsveränderungen der Kieferbasen haben sich seit 1937 vor allem BROADBENT (1931) [21], BJÖRK (1951, 1953, 1955) [10], [11], [12], BRODIE (1948, 1953) [23], [24], NANDA (1955) [48], OEDEGAARD (1970, 1971) [51], [52], ASCHER (1976) [3] u.a., beschäftigt, wobei vor allem Überlagerungen von Fernröntgenseitenbildern auf bestimmten Referenzlinien eine Rolle spielten. Mit Hilfe von kephalometrischen Analysen versucht die Kieferorthopädie nicht nur die individuelle Diagnose zu präzisieren und differenzialdiagnostisch abzuklären, sondern auch den wachstumsbedingten Veränderungsspielraum vorab zu erkennen.

BJÖRK [12] war der erste, der 1955 den Versuch unternahm, Referenzbereiche im Fernröntgenbild in die Kephalometrie einzuführen, die selbst nicht wachstumsbedingten Veränderungen unterliegen. Dazu wählte er die Implantattechnik. Zuerst wurden Vitallium-, später Tantalumstifte bei Kindern in jene Knochenbereiche inseriert, von denen er hypothetisch annahm, daß sie wachstumsstabil sind. Bei korrekter Anwendung verändern diese Implantate ihre Position nur unwesentlich. Somit können sie als konstante Referenzpunkte bei der Überlagerung von zeitlich getrennten Röntgenbildern dienen.

DE COSTER (1939) [25], BROADBENT (1937) [22], BRODIE (1953) [24], NANDA (1955) [48], OEDEGAARD (1970, 1971) [51], [52], u.a. hielten durch Serien von Röntgenaufnahmen desselben Kindes über viele Jahre die „Wachstumsquoten“ im Gesichtsschädel fest. Zahlreiche Untersuchungen von BJÖRK (1951, 1953, 1955) [10], [11], [12] sowie SASSOUNI (1959) [61] u.a. weisen darauf hin, daß für Wachstumsprognosen nicht nur die Größen- und Massenzunahme der Skelettanteile von Bedeutung ist, sondern vor allem die Richtung in der Maxilla und Mandibula während der Wachstumsphase seine Lage verändert.

BJÖRK (1955, 1966, 1968, 1969, 1972) [12], [13], [15], [16], [17] führt zur differenzierten Beschreibung der skelettalen Wachstumsveränderung die Begriffe „Rotation“ und „Translation“ ein. Er studierte das mandibuläre und maxilläre Wachtum von dänischen und schwedischen Kindern.

Dabei wurden Fernröntgenseitenbilder, in bestimmten zeitlichen Abständen angefertigt, in den Referenzen, die durch die Implantate zur Verfügung standen, überlagert. So wurde es möglich, bereits abgelaufene skelettale Veränderungen in Art und Richtung immer deutlicher zu erkennen. Während dieser Zeit in der BJÖRK durch seine Implantatstudien zu immer wieder neuen, zu Anfang sogar widersprüchlichen, Ergebnissen kam, die sich in der Langzeitstudie jedoch klarer definieren ließen, versuchten andere Autoren wie BRODIE (1953,1958) [23], [24], [51], RICKETTS (1952, 1960, 1972) [58], TWEED (1954) [81], STEINER (1960) [74], ODEGAARD (1970), mit Hilfe von angulären und linearen Messungen der verschiedenen Strukturen des Gesichtsschädelaufbaus und der deckenden Weichteile, wachstumsbedingte Veränderungen nachzuvollziehen. Seit 1964 verfolgte auch die Studiengruppe aus Bergen unter der Leitung von HASUND mit

Hilfe von Implantatstudien, das Wachstum der maxillären und mandibulären Strukturen im Fernröntgenseitenbild. Die Ergebnisse dieser Gruppe konnten durch OEDEGAARD (1970) [51]; HASUND (1973, 1976) [31] sowie von LAVERGNE und GASSON (1976, 1979) [43] vorgelegt werden.

1.3 Literaturübersicht zu Wachstumsstudien am Fernröntgenseitenbild

Das individuelle Körperwachstum des Menschen ist abhängig von unterschiedlichen Faktoren wie genetischer Anlage, umweltbedingten Faktoren und innerem Milieu. Deswegen sind zur Beurteilung von Dynamik und Variation (auch innerhalb und zwischen den Geschlechtern) des „normalen“ Wachstums umfassende Wachstumsanalysen notwendig. Der Unterschied zwischen weiblichem und männlichem Wachstumsverhalten zeigt sich besonders deutlich während der Pubertät (Jungen durchschnittlich 9,8 cm pro Jahr und Mädchen 8,4 cm pro Jahr (TANNER (1962) [77])). Zudem setzt der pubertäre Wachstumsschub bei Mädchen durchschnittlich zwei Jahre früher ein (Maximum bei 12,1 Jahre), so daß das kindliche Wachstum bei Jungen sich um diesen Zeitraum verlängert.

Es besteht eine enge Korrelation zwischen pubertärem Wachstumsschub, Skelettreife und Zahnentwicklung einerseits und Körpergröße andererseits (BJÖRK). Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Korrelation zwischen Skelettalter und Körpergröße am höchsten, zwischen Körpergröße und Zahnalter am niedrigsten ist.

Um das individuelle Wachstum eines Kindes vorherzusagen, sind drei Kriterien zu beachten: Zeit, Potential und Richtung. Diese sind Wachstumsfaktoren, die nicht nur von Patient zu Patient (interindividuell), sondern auch zeitabhängig beim einzelnen Patienten (intraindividuell) variieren.

Der günstigste Behandlungszeitraum für skelettale Behandlungsaufgaben wird durch das skelettale Alter des Patienten vorgegeben. Größe und Art (Potential und Richtung) des noch zu erwartenden skelettalen Wachstums für Mandibula und Maxilla sind somit von großer Bedeutung für die individuelle Behandlungsplanung. Das Wachstumspotential ist genetisch mitdeterminiert.

DE COSTER (1931) [25], BROADBENT (1937) [22], BRODIE (1953) [24], NANDA (1955) [48], OEDEGAARD (1970,1971) [51], [52], u.a. hielten durch Serien von

Röntgenaufnahmen desselben Kindes über viele Jahre die wachstumsbedingten Veränderungen im Gesichtsschädel fest.

BROADBENT (1931, 1937) [21], [22]

Überlagerungen von Fernröntgenseitenbildern in allen Altersstufen, vom ersten Lebensmonat bis hin zum Erwachsenenalter, dienten BROADBENT als Basis für seine Wachstumsstudien. Als Referenzpunkte bedient er sich außerhalb des Gesichtsschädels gelegener Referenzpunkte. Gleichmäßige Vergrößerung des Gesichtsschädels nach vorne unten stellte er während bestimmter Wachstumsphasen fest. Er differenzierte Ober- und Unterkieferwachstum, wobei der Oberkiefer sich laut seiner Studien nach unten entwickelt, im vorderen Bereich nach vorne unten, der Unterkiefer dagegen mehr nach vorne als nach unten wächst. Besonders in den ersten vier Lebensjahren erkennt er die größten Veränderungen für die vertikale Beziehung der Kieferbasen, später scheint diese interbasale Beziehung relativ gleich zu bleiben.

A.M.SCHWARZ (1937) [65]

Neun Profilformen, unabhängig von der Art der Verzahnung, die zum Beispiel eine eugnathe, also regelrechte Okklusion darstellen kann, mit Veränderungen in sagittaler und vertikaler Richtung innerhalb des Viszerokraniums stellt A.M.SCHWARZ heraus, sowie sogenannte Gebißschwenkungen. A.M.SCHWARZ beschreibt dentale Kompensationen im Frontzahnbereich, bedingt durch die sich anpassende Zahnachsenneigung im oberen und unteren Zahnbogen ebenso wie im Seitenzahnbereich, wenn eine Abweichung des Gebißes zur Maxilla-Mandibula-Senkrechten vorliegt.

STEINER (1953, 1959, 1969) [72], [73], [74]

Die sagittale Kieferbasenbeziehung wurde durch STEINER mit Hilfe des ANB-Winkels beschrieben. Auch er stellt die Beeinflussungsmöglichkeit der Neigungen von oberen und unteren Incisivi durch die ANB-Winkelgröße heraus und zeigt die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten in seinen „acceptable compromises“.

BRODIE (1953,1958) [23], [24]

Durch Überlagerungen von Fernröntgenseitenbildern verfolgt BRODIE das Wachstum von Kindern vom sechsten Lebensmonat bis zum achten Lebensjahr und vom dritten bis zum siebten Lebensjahr. Er fand ebenfalls, dass die Hauptwachstumstendenz der Kieferbasen nach vorne unten gerichtet ist bei gleichbleibender interbasaler vertikaler Relation. Die proportionale Vergrößerung der Skeletteile hängt von der individuellen Gesichtsstruktur ab und ist nach seiner Auffassung nach dem dritten Lebensjahr im Charakter determiniert.

BJÖRK (1955, 1966, 1969, 1972) [12], [13], [15], [16]

Zahlreiche Untersuchungen von BJÖRK (1953, 1955, 1966) [11], [12], [13] zeigten, dass für die Wachstumsprognose nicht alleine eine Größen- und Massenzunahme von Bedeutung ist, sondern vor allem die Richtung des Wachstums. Um die Wachstumsvorgänge im Gesichtsskelett genauer beschreiben zu können, hat BJÖRK (1955) [12] das mandibuläre und maxilläre Wachstum von dänischen und schwedischen Kindern, bei denen er mit einem speziellen Instrumentarium zunächst Vitallium-, später Tantalstifte in die beiden Kiefer eingebracht hat, untersucht. An den von ihm verwendeten Insertionspunkten verändern diese Implantate ihre Position während des Wachstums nur unwesentlich. Somit können sie als konstante Referenzpunkte bei der Überlagerung von zeitlich getrennten Röntgenbildern dienen.

Mit seinen Implantatstudien konnte BJÖRK (1955) [12] nachweisen, dass die Gesichtsentwicklung auf komplex ablaufenden Wachstumsvorgängen beruht, die er mit der Translation als „ein“-dimensionale vertikale oder sagittale Wachstumsrichtung, sowie der Rotation als Kombination beider Richtungen beschreibt. Im Unterkiefer wird am Unterrand, im Oberkiefer am Nasenboden und Gaumendach die mehr oder weniger stark ausgeprägte individuelle Rotation der Kieferanteile durch kompensatorische Remodellierungen maskiert. Dies geschieht durch Knochenapposition, respektive -resorption, deren Ausmaß und Richtung von der Rotation abhängen.

Hinsichtlich der Rotationsvorgänge stellte BJÖRK als Hauptfaktor für die Rotationsrichtung das Wachstum der Kondylen heraus. Bei vertikalem Wachstum rotiert sie nach anterior (Abb1.a), bei sagittalem Wachstum rotiert die Mandibula nach posterior (Abb1.b).

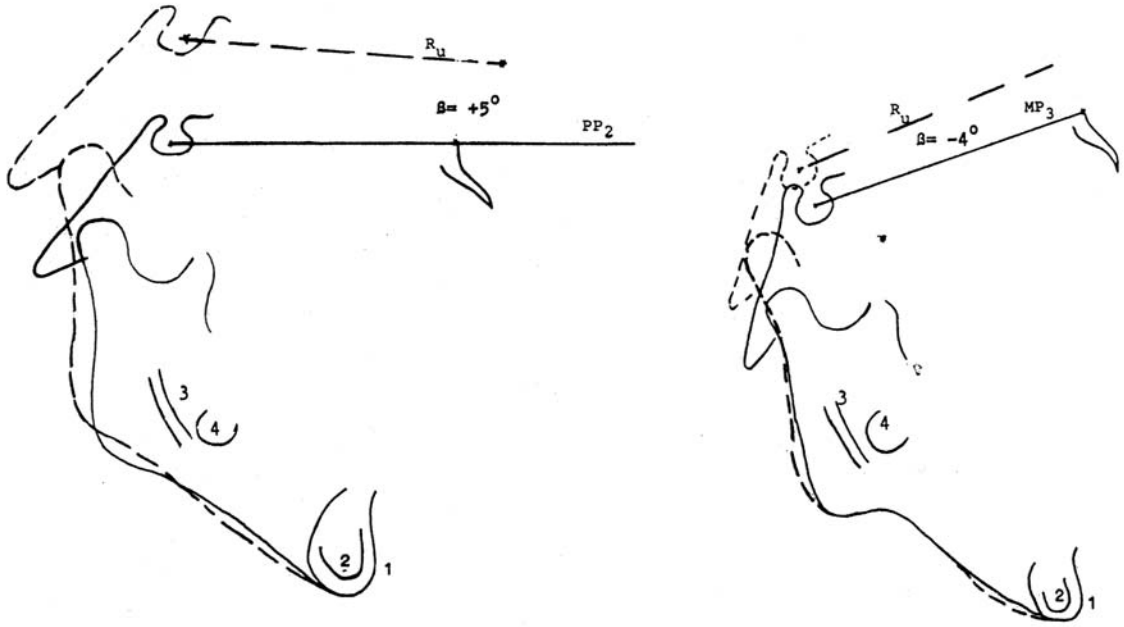


Abb. 1. **a** anteriore Rotation der Mandibula **b** posteriore Rotation der Mandibula

Für die Rotationsrichtung der Kieferbasen spielen die Muskelfunktionen, die Atmung und die Eruptionsrichtung der Zähne eine wichtige Rolle. BJÖRK weist darauf hin, dass die Zähne bei posteriorer Rotation der Maxilla eine mehr vertikale Durchbruchsrichtung zeigen, bei anteriorer Rotation eine mehr nach mesial gerichtete Eruption. Bei der Wachstumsrichtung handelt es sich um ein kurviges, nicht um ein lineares Wachstum. Damit bringt BJÖRK einen wesentlichen Faktor für die Bewertung der wachstumsbedingten Veränderungen für das knöcherne sowie für das Weichgewebsprofil vor.

BJÖRK und SKIELLER (1983) [20] unterscheiden drei Komponenten der mandibulären Rotation:

1. Die Totalrotation, welche die Gesamtrotation des Unterkieferkorpus beschreibt. (Abb.2.a)
2. Die Matrixrotation, welche die Rotation des Weichgewebes von der Mandibula zur vorderen Schädelbasis beschreibt. Das Rotationszentrum liegt in den Kondylen. (Abb.2.b)
3. Die Intramatrixrotation, welche die Rotation des Unterkieferkorpus innerhalb des Weichgewebes beschreibt. Das Rotationszentrum liegt im Unterkieferkorpus. (Abb.2.c)

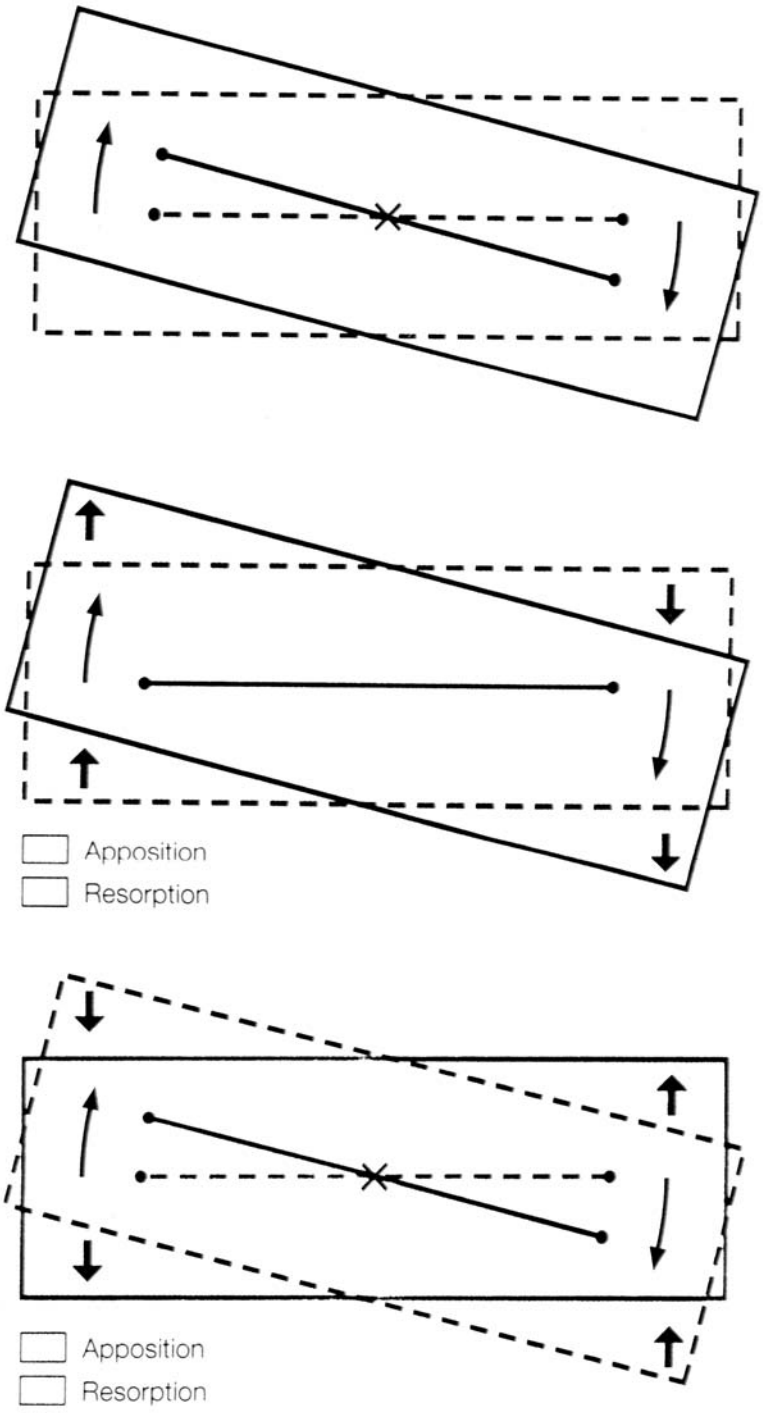


Abb. 2. a Die Totalrotation, welche die Gesamtrotation des Unterkieferkorpus beschreibt.

b Die Matrixrotation, welche die Rotation des Weichgewebes von der Mandibula zur vorderen Schädelbasis beschreibt. Das Rotationszentrum liegt in den Kondylen.

c Die Intramatrixrotation, welche die Rotation des Unterkieferkorpus innerhalb des Weichgewebes beschreibt. Das Rotationszentrum liegt im Unterkieferkorpus

SCHUDY (1965) [64]

SCHUDY erkennt die besondere Bedeutung der vertikalen Relation der einzelnen Gesichtsteile. Die Rotation des Unterkieferkörpers kann durch vertikales Wachstum der Kondylen und des alveolären Anteils im Molarenbereich beeinflußt werden. Die vertikale Relation ist ein entscheidender Faktor für die Klassifikation des Gesichtes.

LAVERGNE und GASSON (1976,1979) [42], [43]

Basierend auf den Implantatstudien der Universität Bergen, die 1964 durch HASUND (1969) [30], ebenso wie in Kopenhagen 1954 durch BJÖRK [12], begonnen wurden, konnten LAVERGNE und GASSON die Wachstumsveränderungen im Gesichtschädel studieren. Sie differenzieren zwischen einer morphologischen Rotation, welche die Rotation des Unterkieferkorpus in sich darstellt, und einer positionellen Rotation, welche die Rotation der Mandibula im Verhältnis zur Schädelbasis bedeutet. Fehlentwicklungen in der vertikalen Dimension sind nach ihrer Auffassung von der Rotation beider Kiefer abhängig, welche nicht streng miteinander korreliert sind.

OEDEGAARD (1970) [51]

Ebenfalls basierend auf den Bergener Implantatstudien konnte OEDEGAARD die Aussagen von Björk wesentlich ergänzen. Sein Interesse bezieht sich auf die Größenveränderung des Gonionwinkels und der Wachstumsrichtung der Kondylen, wobei er eine deutliche Korrelation zur Wachstumsrichtung fand. Bei vertikalem Wachstum der Kondylen fiel ein kleiner Kieferwinkel auf. Dies konnte in Beziehung zu einer anterioren Rotation der Mandibulla bei sagittaler Translation gebracht werden. Ein posteriores Kondylenwachstum fiel im Zusammenhang mit einem großen Kieferwinkel auf, wobei eine posteriore Rotation der Mandibula mit vertikaler Translation resultieren kann. OEDEGAARD stellt damit eine Wachstumsprognose für den Unterkiefer isoliert von dem übrigen Gesichtsschädelanteilen durch die kritische Bewertung morphologischer Zeichen des Unterkiefers auf.

Mit der Weiterentwicklung der Technik und Elektronik begann die computerunterstützte Kephalometrie. Ein schneller Zugriff auf eine Vielzahl von Meßwerten, eine statistische Auswertung, Wachstumsanalysen und –vorhersagen wurden dadurch möglich; RICKETTS (1972) [60]. Auch die von WINGBERG (1984) [85] entwickelte computerunterstützte Kephalometrie hat hierbei zur Erleichterung und Fehlerminimierung (BECKMANN; WINGBERG und HASUND (1983)) [7] beigetragen.

Nach JANSON (1977) [40] sind folgende Auswertungen erforderlich und nützlich:

- Größe und Form der einzelnen Bestandteile des Viscerokraniums und ihre Lage zueinander.
- Vergleich der Individuen untereinander durch Gliederung von charakteristischen Merkmalen für regelrechte und fehlerhafte Befunde.
- Information über die Veränderungen der Einzelteile des Viscerokraniums während seiner Entwicklungsphase bei unbeeinflusstem oder beeinflusstem Wachstum.

1.4 Kieferorthopädische Apparaturen und deren Einfluss auf das Kieferwachstum

Die Vorhersage des individuellen Wachstumsmusters sowie die Frage, inwieweit kieferorthopädische Geräte das Wachstum fördern oder behindern, respektive lenken können, ist von großem Interesse für die Indikation einer funktionskieferorthopädischen Behandlung und stellt für den Kieferorthopäden die entscheidende Frage der Behandlungsplanung dar. Die Beeinflussung des Wachstums durch funktionskieferorthopädische Geräte wurde mit tierexperimentell-histologischen (z. B. McNAMARA (1984) [46], SMITH und FROMMER (1980) [69], TOMER und HARVOLD (1982) [79], KOMPOSCH (1977) [41] und PETROVIC-STRUNTZMANN (1980) [56]), sowie mit kephalometrischen Untersuchungen (z.B. BJÖRK (1953) [11], BAUMRIND (1983) [5], WILLIAMS und MELSEN (1982) [86], JANSON (1977, 1978) [36], [37] und PANCHERZ (1984) [55]) abzuklären versucht.

Durch die noch nicht endgültig bekannte Wirkung kieferorthopädischer Geräte auf das Wachstum stellen sich Probleme für dessen Vorhersage. Bei der vorliegenden Studie wurden mit gleichen kieferorthopädischen Geräten behandelte Fälle analysiert.

Generell lassen sich die heute in der Kieferorthopädie zur Verfügung stehenden therapeutischen Hilfsmittel in zwei Gruppen einteile:.

- abnehmbare Apparaturen
- festsitzende Apparaturen

Diese können unimaxillär und/oder bimaxillär zum Einsatz kommen. Weiter werden sie nach intraoralen und extraoralen Einsatzmöglichkeiten differenziert. Dabei spielt die Wachstumsanalyse des einzelnen Patienten eine maßgebliche Rolle bezüglich des skelettalen Reifegrades sowie der zu erwartenden Wachstumsrichtung und des Wachstumspotentials.

Die Wirkung dieser Geräte bezieht sich auf morphologische und funktionelle Veränderungen im stomatognathen System. Dabei können erwünschte und unerwünschte Wirkungen auftreten, die, vorab bewertet, zum korrekten Behandlungsplan führten. Für das funktionskieferorthopädische Gerät Bionator fallen vor allem dentoalveoläre Wirkungen auf durch entgegengerichtete Bewegung der Zahnreihe. Die dentoalveoläre Komponente ist in der vorpubertären Zeit größer als in der pubertären (Janson (1977),(1982),(1989).) [36], [39], [40].

Im pubertären Alter, also während der Hauptwachstumszeit, hilft das natürliche basale Wachstum sagittale Diskrepanzen zwischen Ober- und Unterkiefer zu reduzieren. Die dentale Wirkung fällt hier als relativ gering auf. Dadurch kann bei einem funktionskieferorthopädisch behandelten Patienten die skelettale Veränderung dem natürlichen Wachstum zugeschrieben werden. Die extraorale Apparatur Headgear führt je nach Kraftgröße und Art des Einsatzes im oberen Zahnbogen zur dentalen und skelettalen Veränderungen. Bei Planung des Headgears ausschließlich an den ersten Molaren, ohne Abstützung über den gesamten Zahnbogen dominiert die alveoläre Wirkung und Distalkippung oder –führung der ersten Molaren.

2 Fragestellung

Die Frage nach der Zeit, dem Potential und der Richtung des noch zu erwartenden, natürlichen Wachstums bei Kindern mit Klasse II-Malokklusion, die mit einem funktionskieferorthopädischen Gerät behandelt werden sollen, sollte im Mittelpunkt jeder kieferorthopädischen Behandlungsplanung stehen. Mit den auf BJÖRK (1969) [16] und OEDEGAARD (1970) [49] zurückgehenden Empfehlungen steht eine Möglichkeit zur Vorhersage von Potential und Richtung der individuell ablaufenden wachstumsbedingten Veränderungen, vor allem der mandibulären skelettalen Strukturen im Viszerokranium, zur Verfügung.

Die vorliegende Arbeit soll sich speziell mit der von BJÖRK vorgelegten Wachstumsanalyse beschäftigen. Neben einer relativ objektiven Bewertung von Messvorgaben am Fernröntgenseitenbild liegen dabei auch strukturelle Bewertungen der Unterkiefermorphologie zugrunde. Diese strukturelle Bewertung basiert auf einem Graduierungssystem, dem eine gewisse Subjektivität zuzuschreiben ist. Die kritische Beurteilung dieser Wachstumsanalyse bezieht sich auf folgende Fragen:

1. Wie groß ist die Übereinstimmung bzw. Abweichung bei einer subjektiven Bewertung von morphologischen Strukturen der Mandibula bei positiver und negativer Graduierung durch unterschiedliche Betrachter?

2. Zu welchen Ergebnissen führt diese Wachstumsanalyse unter Einbeziehung der objektiven Kriterien (Winkel und Indizes) für eine Rotations- und Translationsaussage, wieder differenziert nach unterschiedlichen Betrachtern?

3. Wie realistisch sind diese Wachstumsvorhersagen nach BJÖRK bezüglich der tatsächlichen Veränderung einer repräsentativen Variablen, hier ANB-Winkel, der die sagittale Relation der Kieferbasen beschreibt?

4. Welchen Unterschied zeigt die Wachstumsanalyse nach BJÖRK zu den nach STEINER ermittelten Prognosewerten für den ANB-Winkel zum Wachstumsende?

3 Eigene Untersuchungen

3.1 Material

Für die vorliegende Untersuchung wurden Fernröntgenseitenbilder von 50 Patienten mit Angle-Klasse II-Malokklusion ausgewählt. Die Untersuchungsgruppe bestand aus 36 weiblichen und 14 männlichen Patienten[*]. Nach der kieferorthopädischen Behandlungsplanung, basierend auf dem Typ und Charakter der vorliegenden Malokklusion, waren alle Patienten als NON-Ex-Kasus einzustufen, bei denen eine kieferorthopädische Behandlung während der Wachstumsphase zur Korrektur der Klasse II-Relation der Kieferbasen indiziert war. Differentialdiagnostisch lag die Ursache für die dentoalveolär, intraoral, wie am Modell auffallende Klasse II-Okklusion in einem zu kleinen respektive zurückliegenden Unterkiefer. Für den Oberkiefer lag keine basale Behandlungsaufgabe vor, lediglich eine moderate dentoalveoläre Verankerungsproblematik im Seitenzahnbereich.

Als kieferorthopädische Behandlungsmittel kam deshalb ein abnehmbares funktionskieferorthopädisches Gerät (hier Bionator (nach BALTERS [5], Modifikation nach ASCHER [3]) und eine abnehmbare extraorale Apparatur (Kombi-Headgear) zur Anwendung. Von jedem Patienten mussten Fernröntgenseitenbilder zu zwei Zeitpunkten und Handröntgenaufnahmen zu zwei Zeitpunkten zur Verfügung stehen, und zwar:

1. vor Beginn der Behandlung im Alter von acht bis zwölf Jahren, wobei alle Patienten noch vor dem pubertären Wachstumsschub stehen mussten.
2. nach Abschluss der Behandlung, wobei alle Patienten am Ende des pubertären Wachstumsschubes sein mussten.

[*] Die Patienten wurden in der Fachpraxis für Kieferorthopädie von Frau Prof. Rudzki-Janson dokumentiert und behandelt.

3.2 Methode

3.2.1 Auswertung der FRS-Bilder

Die Auswertung der Fernröntgenseitenbilder erfolgte mit der kephalometrischen Analyse nach den Regeln der Münchner Schule in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Ludwig-Maximilians-Universität München, eine modifizierte Hasundanalyse.

1. Messung der Variablen auf allen Fernröntgenseitenbildern zu den drei Zeitpunkten T1 vor der Behandlung, T2 während und T3 nach der Behandlung.
2. Ableitung der Wachstumsprognose nach den Empfehlungen von BJÖRK und OEDGAARD anhand des ersten Fernröntgenseitenbildes, also vor Behandlungsbeginn, im vorpubertären Stadium des Patienten durch unterschiedliche Betrachter
    a. durch einen Kieferorthopäden mit langjähriger Erfahrung in Wachstumsstudien
    b. durch Assistenzzahnärzte am Ende Ihrer Weiterbildung zum Kieferorthopäden
    c. Studenten am Ende ihrer klinischen Ausbildung

    und Ermittlung der wachstumsbedingten Veränderung des ANB-Winkels (sagittale, interbasale Relation der Basen nach den Empfehlungen von STEINER (1960) [74]).
3. Vergleich der Differenzen zwischen dem tatsächlich gemessenen Endergebnis und dem nach BJÖRK, respektive nach STEINER ermittelten Prognosewerten.
4. Vergleich der nach dem Anfangsbild erstellten Wachstumsvorhersagen mit dem tatsächlichen Ergebnis nach Wachstumsende, wobei alle Patienten zuerst mit funktionskieferorthopädischen Geräten in Kombination mit extraoraler Verankerung behandelt wurden. Als gemeinsames Kriterium aller Patienten galt, daß sie indikationsgemäß zu dem Bereich der sogenannten NON-EX-Kasus gehören mussten und demnach auch ohne Extraktion versorgt wurden.

Auf dem ersten Fernröntgenseitenbild wurden die morphologischen Strukturen der Mandibula von sechs Betrachtern durch subjektive Graduierung bewertet und die repräsentativen Winkelwerte mit dem anterioren Gesichtsindex entsprechend der von HASUND vorgegebenen Tabelle objektiv beurteilt.

Alle Fernröntgenseitenbilder von Anfangs- (vorpubertär) und Endbefund (Wachstumsende) wurden nach den Empfehlungen von BJÖRK zur visuellen Kontrolle überlagert (durch Totalüberlagerung und Teilüberlagerung). Diese wurden jedoch in der Auswertung nicht berücksichtigt. Der Zeitraum zwischen den zur Überlagerung anstehenden Bildern betrug 3 bis 5 Jahre.

3.2.1.1 Technische Daten

Die Fernröntgenseitenbilder wurden mit dem Fernröntgengerät Orthopantomograph-Cephalostat (= Orthoceph der Firma Siemens) erstellt. Die Filmkassette der Größe 18*24 ist in diesem Gerät 0,18m von der Mediansagittalebene des Kopfes entfernt eingestellt. Der Abstand dieser Ebene zum Brennpunkt beträgt 1,50m. Als Bezugspunkt für die Einstellung des Kopfes im Gerät dient der Porus acusticus externus.

Je größer der Film-Fokusabstand ist, desto geringer sind die Verzeichnungen. Ein Abstand von 4 m hat die geringsten Verzerrungen. Dieser Abstand kann meist in der Praxiseinrichtung nicht berücksichtigt werden, so dass bei einem Abstand von 1,50 m die Genauigkeit bezüglich linearer Streckenmessungen nicht gegeben ist. Aus diesem Grund müssen anguläre Messungen und Indizes bevorzugt werden, die bei großen linearen Messungen die Verhältnisse von korrespondierenden Messungen angeben.

Der Röntgenzentralstrahl des Orthopantomographen läßt sich nur in der Vertikalen verändern, in der sagittalen und vertikalen Ebene ist er fixiert. Die Aufnahmespannung für Kinder im Alter bis 12 Jahren betrug 80 kV (Kilovolt), die Aufnahmezeit 1,0 Sekunden. Der in das Gerät justierte Aufnahmestrom liegt bei 15 mA (Milliampere). Die Entwicklung der Filme wurde vollautomatisch mit dem Pantomat P der Firma Siemens durchgeführt.

3.2.1.2 Technik der Durchzeichnung für Fernröntgenseitenbilder

Als Hilfsmittel werden benötigt:

- Leuchtkasten
- Acetatfolie und Klebestreifen
- Bleistift Pentel-Japan 0,3 mm 4H, schwarz (Anfangsbefund), blau (Zwischenbefund) und rot (Endbefund)
- Tracing-Template (Inter-Unitek)
- Dreieck mit Millimetereinteilung

Für die Durchzeichnung wird das Fernröntgenseitenbild mit dem Profil nach rechts auf dem Leuchtkasten orientiert und auf der Durchzeichenfolie eine Referenzebene, eine zur Oberkante parallele Gerade im Abstand von 8 cm vorgegeben. Auf dieser wird im Abstand von 6 cm von der rechten Folienkante eine Markierung angebracht, die auf den Referenzpunkt N=Nasion positioniert wird und die davon ausgehende Gerade zum Referenzpunkt S=Sella ausgerichtet. Damit ist die Referenzlinie die NS-Linie eingezeichnet und die nun folgende Durchzeichnung standardisiert und reproduzierbar.

Für die weitere Festlegung der Referenzpunkte steht eine computerunterstützte, kephalometrische Auswertung zur Verfügung: „der Diagnosehelfer“, ein Bildverarbeitungsprogramm von Dr. WINGBERG [85], integriert in die "Münchner Analyse" der Poliklinik für Kieferorthopädie der LMU München.

Als Hardware stehen zur Verfügung:

- der PC Multigraph 447 Za von Nokia
- Digitizer: Numonics Accugrid
- Plotter Hewlett Packert HP7475A, Sekonic SPL 45

Bei der computerunterstützten Kephalometrie genügt die Eingabe der Referenzpunkte, Strecken und Winkel wurden über das Programm „Diagnosehelfer“ errechnet. Die Referenzpunkte werden mit einem induktiven Verfahren über ein Magnetfeld abgetastet mittels einer kleinen Spule, die mit einer Lupe an einem Fadenkreuz befestigt ist, und mit einer Auflösung von 0,1 mm an den Rechner weitergegeben.

Folgende Fehlerquellen sind hierbei möglich:

1. Fehler beim Durchzeichnen des Fernröntgensbildes durch den Betrachter
2. Fehlerhafte manuelle Messung
3. Falsche Übertragung der Daten auf das Analyseblatt

Durch Studien zur Fehleranalyse haben BECKMANN, WINGBERG und HASUND (1984) [7] nachgewiesen, dass methodische Fehler bei der Computerübertragung geringer sind als bei der Handmessung.

3.2.2 Meßmethode

Als Bezugsgröße zur Beschreibung der Fernröntgenseitenbilder bietet sich die Schädelbasis mit der zentral gelegenen Sella turcica an. Die Sella-Nasion-Ebene wird deshalb als Referenzbasis verwendet, weil ihre beiden Referenzen auf der Medianebene das Kopfes liegen und daher mit einer niedrigeren Fehlerquote weitergearbeitet werden kann als zum Beispiel bei der Verwendung der Frankfurter Horizontalen als Referenzbasis, die mit ihren bilateralen Bezugspunkten (Porion und Orbitale) größere vertikale Ungenauigkeiten aufweist. Für die Analyse der Fernröntgenseitenbilder stehen als Bezugspunkte unilaterale und bilaterale Referenzen zur Verfügung:

- Unilaterale Referenzpunkte sind diejenigen, die auf der Medianebene lokalisierbar sind, wie Nasion, Sella, A- und B-Punkt.
- Bilaterale Referenzpunkte ergeben sich durch die Überlagerung paariger Teile wie Porion, Orbitale, Gonion und sind daher ungenauer.
- Konstruierte Referenzpunkte wie Sp´und tgo.

3.2.2.1 Referenzpunkte

Es werden 21 Referenzpunkte benötigt, wir unterscheiden zwischen unilateralen, bilateralen, dentalen Referenzpunkten und Weichteilpunkten.

Skelettale Referenzpunkte auf der Mediansagittalebene

- N Nasion
  Der am weitesten anterior gelegene Punkt der Suttura nasofrontalis am obersten Rand des Os nasalis.

- S Sella
  Zentrum der Sella turcica, Mittelpunkt des größten Durchmessers der knöchernen Krypte.

- Ba Basion
  Der am weitesten inferior und posterior gelegene Punkt des Clivus und damit der anteriorste Punkt des Foramen magnum.

- Sp Spina nasalis anterior
  Ventralster Punkt der Maxilla im Bereich der am anteriorsten gelegenen gut sichtbaren Struktur der Spina nasalis anterior.

- A Maxilla-Apikalpunkt
  Tiefster Punkt der anteriorsten Kurvatur der Maxilla. Zu finden durch Parallelverschiebung der Verbindungslinie von Sp zum Limbus alveolaris als Tangente an die konkave anteriore Kontur des Alveolarfortsatzes.

- B Mandibula-Apikalpunkt
  Tiefster Punkt der anterioren Kurvatur des Unterkieferalveolarfortsatzes. Zu finden durch Parallelverschiebung der Verbindungslinie von Pg zum Limbus alveolaris als Tangente an die konkave anteriore Kontur des Alveolarfortsatzes.

- Gn Gnathion
  Kaudalster Punkt der Unterkiefersymphyse auf einer von kaudal an die Symphyse heranreichender zur Symphyse parallelen Tangente.

- Pg* Pogonion
  Ventralster Punkt der Unterkiefersymphyse auf der zur ML senkrecht stehenden Tangente der konkaven Kinnkontur.

Skelettale Referenzpunkte mit möglicher Doppelprojektion

Aufgrund von Fehlern in der Abbildungsgeometrie kann es bei Strukturen, die paarig angelegt sind, zu Doppelkonturen kommen. In diesen Fällen sind diese Konturen vor dem Anlegen von Tangenten zu mitteln bzw. zwischen je zwei aufgefundenen Punkten die Mitte zu nehmen.

- Pm Pterygomaxillare
  Schnittpunkt der dorsalen Kontur des Oberkieferknochens mit der Kontur des harten und weichen Gaumens im Bereich des nach mesial einstrahlenden ampullenförmigen Schattens der Fossa pterygopalatina.

- Ar Artikulare
  Schnittpunkt des Unterrandes der Schädelbasis mit der dorsalen Kontur des Collum mandibulae. Der Punkt ist nur auf dem Profilröntgenbild aufzufinden und kann als konstruierter Punkt betrachtet werden.

*Auffinden des Pg
Das Pg wird in der Bergen–Analyse unterschiedlich beschrieben. Nach SEGNER wird eine Tangente von ventral an das knöcherne Kinn gelegt, die senkrecht auf der ML steht. RUDZKI-JANSON (Münchner Analyse) gibt eine Tangente an, die senkrecht zur NSL steht. Die Unterschiede sind in moderaten Fällen vernachlässigbar, bei ausgeprägtere Kinnprominenzen jedoch zu beachten. Wichtig ist die Beibehaltung einer Version in der gesamten Meßreihe. Bei der Durchzeichnung des vorliegenden Materials wurde die Tangente senkrecht zur NSL gelegt.*

Konstruierte Referenzpunkte

- Tgo Gonion-Tangentenpunkt
  Ein konstruierter Punkt als Schnittpunkt der Tangente vom kaudalsten Rand des Corpus mandibulae (ML) mit der Tangente von Ar zum aufsteigenden Rand des Unterkieferastes (Ramuslinie), jeweils im Kieferwinkelbereich tangierend.

- Sp Spina Strich
  Ein konstruierter Punkt, als Schnittpunkt der Linie N-Gn mit der Linie Sp-Pm (NL).

Dentale Referenzpunkte

- Is Inzisivus superius
  Am weitesten inzisal gelegener Punkt des am weitesten nach anterior stehenden, oberen mittleren Schneidezahnes.

- Isa Inzisivus superior apicale
  Der apikalste Punkt der Wurzel des am weitesten anterior stehenden, mittleren oberen Schneidezahnes.

- Ii Inzisivus inferius
  Am weitesten inzisal gelegener Punkt des am weitesten nach anterior stehenden, unteren mittleren Schneidezahnes.

- Iia Inzisivus inferior apicale
  Apikalster Punkt der Wurzel des am weitesten anterior stehenden, unteren mittleren Schneidezahnes.

Weichteilpunkte sind für die Eingabe erforderlich, sie werden jedoch nicht in der Analyse bewertet.

3.2.2.2 Referenzlinien

Skelettale Referenzlinien in sagittaler und vertikaler Richtung

- Nasion-Sella-Linie (NSL)

  Verbindung von N zu S.

  Hauptreferenzlinie in der vorliegenden Analyse, sie charakterisiert den anterioren Part der Schädelbasis.

- Nasallinie (NL)

  Verbindung von Pm zu Sp.

  Bezugsebene zwischen Nasenhöhlenboden und Gaumendach zur Darstellung der Oberkieferbasis.

- Mandibularlinie (ML)

  Verbindung von Gn zu tgo (als Tangentenschnittpunkt definiert).

  Kaudale Referenzebene für den corpus mandibulae zur Darstellung der die Unterkieferbasis.

- NA-Linie

  Verbindung der Punkte N und A.

  Zur Darstellung der anterioren knöchernen Prognathie im maxillären Bereich. Sie dient in Verbindung mit SN dazu die sagittale Position des Oberkiefers in Verbindung zum Viszerokranium zu beschreiben und in Verbindung mit der Achsenneigung der mittleren Oberkieferfrontzähne zur Aussage über die sagittale Zahnachsenposition dieser Zähne.

- NB-Linie

  Verbindung der Punkte N und B.

  Zur Darstellung der anterioren knöchernen Prognathie im mandibulären Bereich. Sie dient in Verbindung mit SN dazu die sagittale Position des Unterkiefers in Verbindung zum Viszerokranium zu beschreiben und in Verbindung mit der Achsenneigung der mittleren Unterkieferfrontzähne zur Aussage über die sagittale Zahnachsenposition dieser Zähne.

- SBa-Linie (Clivus-Linie)

  Verbindung der Punkte S und Ba.

  Dorso-kraniale Begrenzung des knöchernen Gesichtsschädels durch die anteriore Schädelbasis.

- NPg-Linie

  Verbindung der Punkte Nasion und Pogonion.

  Zur Darstellung der gesamten knöchernen Profillinie. Sie beschreibt im Zusammenhang mit SN die sagittale Position des Kinns und dient als Bezugslinie für sagittale Position der Unterkieferfrontzähne in mm.

- Ar-tgo-linie (Ramus-Linie)

  Verbindung von Ar zu tgo (als Tangentenschnittpunkt definiert).

  Posteriore Begrenzung des Corpus mandibulae.

Dentale Referenzlinien

- Oberkiefer-Schneidezahnachse

  Verbindung von Is zu isa.

  Achse des mittleren Oberkieferschneidezahnes durch die Inzisalkante (is) und die Wurzelspitze (isa).

- Unterkieferschneidezahnachse

  Verbindung von Iss zu isa.

  Achse des mittleren Unterkieferschneidezahnes durch die Inzisalkante (ii) und die Wurzelspitze (iia).

- Verbindungslinie Nasion-Gnathion

  Verbindung von N zu Gn.

  Diese Linie wird für die Berechnung des Indexes (s.u.) verwendet.

3.2.2.3 Winkel- und Streckenmessungen und Definitionen

Die für die Analyse wichtigen Winkel werden hervorgehoben:

- SNA-Winkel

  Beschreibung der anterior-posterioren Position der Maxilla in Relation zur anterioren Schädelbasis in der Lateralebene sagittal zur Festlegung des maxillären Prognathiegrades.

- SNB-Winkel

  Beschreibung der anterior-posterioren Position der Mandibula in Relation zur anterioren Schädelbasis in der Lateralebene sagittal zur Festlegung des mandibulären Prognathiegrades.

- ANB-Winkel

  Beschreibung der sagittalen Relation von Maxilla zu Mandibula. Seine Größe variiert in Abhängigkeit mit dem maxillären und mandibulären Prognathiegrad und in Abhängigkeit mit dem jeweiligen Gesichtstyp. Seine klinische Bedeutung sollte durch die von STEINER (1960) [74] vorgelegte Korrelation zwischen dem ANB-Winkel und der sagittalen Stellung der oberen und unteren Inzisivi nicht unterschätzt werden.

- Gn-tgo-Ar-Kieferwinkel

  Beschreibung der Verbindung von Corpus mandibulae und Ramus ascendens.

- Nordervalwinkel

  Beschreibung der Kinnform bzw. Pogonionprominenz.

- Index- Anteriore Gesichtshöhe.

  Aus Quotient von oberer N-Sp´ und unterer Sp´-Gn Gesichtshöhe lässt sich ein Index N-Sp`/Sp´-Gn berechnen, der die vordere Gesichtshöhe beschreibt in der Beziehung zwischen der anterioren unteren Teilhöhe zur gesamten anterioren Gesichtshöhe.

  Diese Variable wird mit dem vertikalen Interbasalwinkel ML-NL diagnostisch verknüpft, um neben der unteren Gesichtshöhe auch das Verhältnis zwischen anteriorer und posteriorer Gesichtshöhe zu erkennen. Daraus läßt sich die Gesichtstiefe beschreiben.

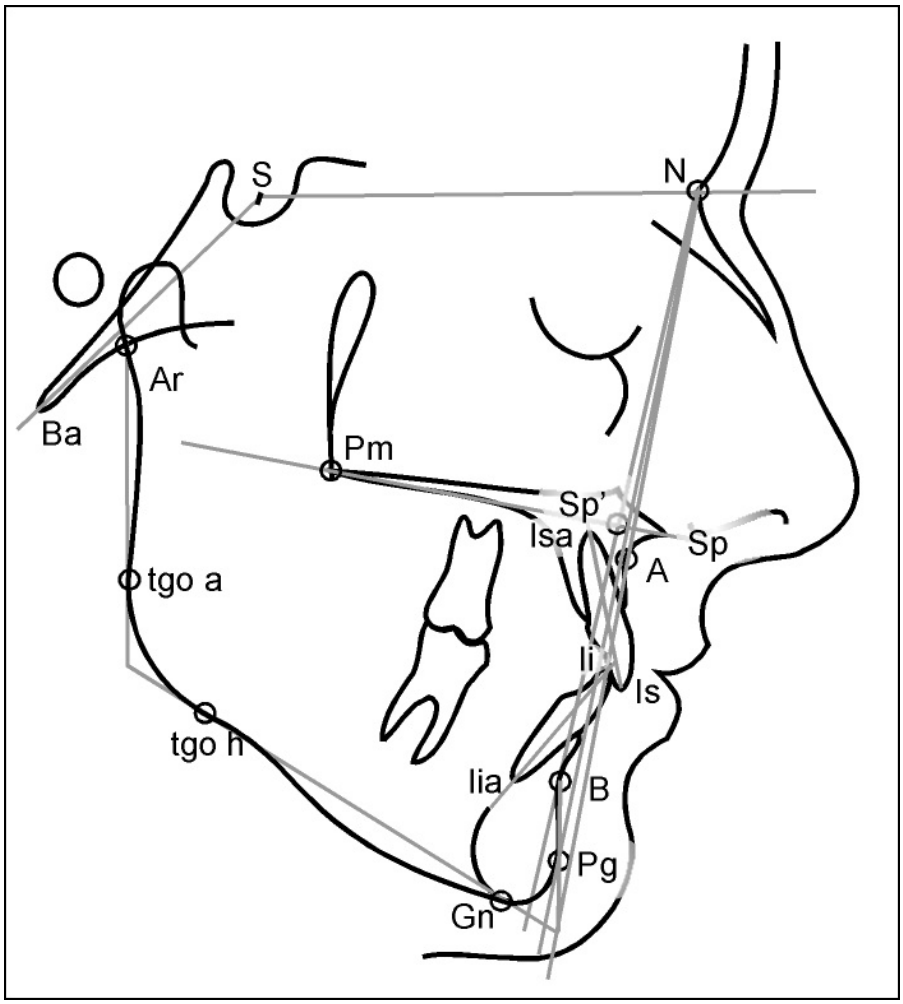


Abb. 3. Übersicht über einige Referenzpunkte und –linien

3.2.2.4 Interpretation der gemessenen Variablen

Die Messergebnisse einer untersuchten Person werden als Ist-Werte bezeichnet. Die Bewertung der Einzelmessungen erfolgt nach den Empfehlungen von HASUND (1973, 1976) [32] nicht in Relation zu einem Mittelwert, sondern zu mehreren individuell gemessenen Einzelmessungen und deren korrelierende Abhängigkeit. Alle Messungen weisen große individuelle Variationen auf. Die entsprechend negative oder positive Korrelation untereinander ermöglicht eine Zuordnung zu einer den Befund realistisch charakterisierenden Aussage.

Mit fünf skelettalen Messungen beschreibt HASUND (1973, 1976) [32] den Typ und Charakter des Gesichtes und legt „fließende Normen“ für die sagittale und vertikale Beschreibung des Gesichtes vor. Die jeweils korrespondierenden Werte sind in einer sogenannten „Harmoniebox“ zusammengesetzt. Diese nach den Untersuchungsdaten von erwachsenen Patienten mit Angle-Klasse I-Verzahnung aufgestellte Korrelationen müssen bei noch wachsenden Patienten individuell angepaßt werden. Hierbei können die von BJÖRK (1969) [17] gegebenen Empfehlungen über den Veränderungsspielraum für die sagittale und vertikale Relation der Kieferbasen ebenso wie die Angaben von STEINER (1959,1960) [73], [74] helfen.

3.2.3 Bewertungsmethode der Morphologie der Mandibula

Anhand der FRS-Bilder des Patienten (8-12 Jahre, vorpubertär) zum Untersuchungszeitpunkt T1 wurde die strukturelle Analyse des Unterkiefers in Anlehnung an die Methodik nach BJÖRK durchgeführt.

Die von BJÖRK angegebenen strukturellen Merkmale wurden wie folgt berücksichtigt:

3.2.3.1 „Subjektiv“ bewertete Wachstumsmerkmale (Merkmal 1-3)

1. Form der Kondylen

Die Neigung der Kondylen nach dorsal wird als Hinweis auf eine posteriore Rotationsrichtung des Unterkiefers gewertet, bei Neigung der Kondylen nach ventral auf eine anteriore Rotationsrichtung des Unterkiefers. Gleichzeitig gibt der Kondylenhals einen Anhaltspunkt für die Rotationsrichtung, ein „schlanker“, langer Kondylenhals steht für posteriore, ein „dicker“, kurzer Hals für anteriore Veränderung der Mandibula.

2. Canalis mandibularis

Der Verlauf des Canalis mandibularis dient als weiteres Merkmal. Eine ausgeprägte Kurvatur nach anterior entspricht einem anterioren Rotationsverhalten der Mandibula, ein gerader Verlauf einem posterioren Rotationsverhaltens während des Wachstums.

3. Unterkieferrand mit Symphyse

Die Morphologie des Unterrandes der Mandibula wird in drei Bereichen bewertet:

   a. direkt ventral des Kieferwinkels am Ende des kaudalen UK-Verlaufes
   b. vor der Symphyse
   c. der Unterrand der Symphyse mit der sich gut darstellbaren Dicke der inneren Kompakta

Eine dicke Kortikalis im anterioren Bereich der UK-Symphyse lässt auf ein vertikales Wachstum schließen. Ist das Wachstum distal, so ist die Kortikalis in diesem Bereich dünn und der Unterrand im Bereich des Kieferwinkels dagegen verdickt.

Die ersten drei Strukturmerkmale:

1. die Form der Kondylen
2. der Canalis mandibularis und
3. der Unterrand der Mandibula mit der Symphyse

sind subjektive Bewertungen, die durch Betrachtung der Fernröntgenseitenbilder gebildet werden (s. Abb. 4).

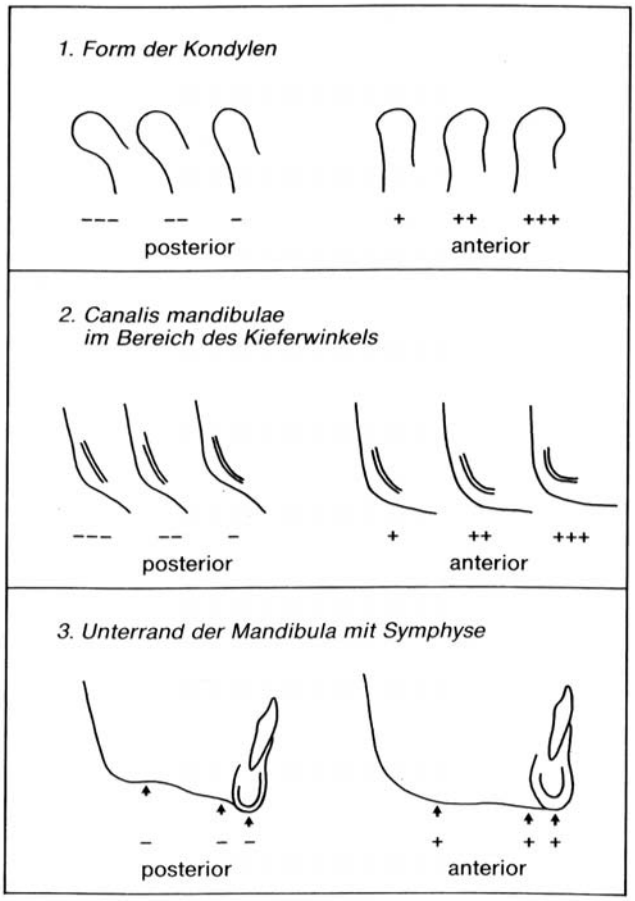


Abb. 4. Subjektive Bewertung der sekundären Wachstumsmerkmale nach BJÖRK

In der vorliegenden Studie wurden diese Punkte von den sechs Betrachtern getrennt beurteilt und bewertet.

3.2.3.2 „Objektiv“ gemessene Wachstumsmerkmale (Merkmal 4-6)

4. Neigung der Symphyse

Die Neigung der Symphyse wird in der Analyse von HASUND ebenso wie in der Münchner Schule durch einen von NORDERVAL [29] angegebenen Winkel bewertet. Für ein (neutrales) Wachstum steht ein Mittelwert von 58°. Ist der Winkel größer, geht die Tendenz des Wachstums nach posterior, bei Verkleinerung des Winkels nach anterior bezüglich des Rotationsverhaltens der Mandibula. NORDERVAL interpretiert seine Aussage unter Einschluss des Neigungsgrades der Mandibula und der Rotationsaussage für die weitere proportionale Veränderung seines Winkels.

5. Anteriore Untergesichtshöhe

Für die anteriore Untergesichtshöhe wird ein Index vorgelegt, der das Verhältnis von mittlerer zu unterer Gesichtshöhe beschreibt. Bei kleinen Indexwerten liegt ein hohes Untergesicht vor mit der Hypothese zur posterioren Rotation der Mandibula, bei großen Indexwerten ein kleines Untergesicht mit der Konsequenz einer anterioren Rotation der Mandibula.

6. Kieferwinkel

In der Größe des Kieferwinkels sieht OEDEGAARD (1970) [51], [52] eine Interpretationsebene für das Rotations- und Translationsverhalten der Mandibula, so wie es für BJÖRK die Kondylenform beschreibt. Große Kieferwinkel sprechen somit für eine posteriore Rotation und vertikale Translation der Mandibula, kleine Kieferwinkel für eine anteriore Rotation und eine sagittale Translation.

Die letzten drei Strukturmerkmale:

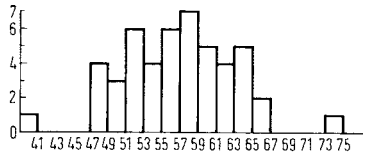
4. die Neigung der Symphyse,
5. die anteriore Untergesichtshöhe und
6. der Kieferwinkel

sind Messungen, die an den Fernröntgenseitenbilder vorgenommen werden (s. Abb. 5).

4. Neigung der Symphyse

N-Winkel (Norderval-Winkel):

x	Range
57°	40°–74°

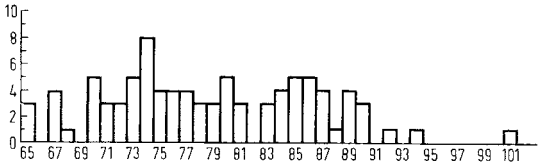


N-Winkel	< 50°	50°–55°	55°–60°	60°–65°	65°–70°	70° >
Rotation	+++	++	+	–	––	–––

5. Anteriore Untergesichtshöhe

Index: $\frac{\text{N-Sp'}}{\text{Sp'-Gn}} \times 100\%$

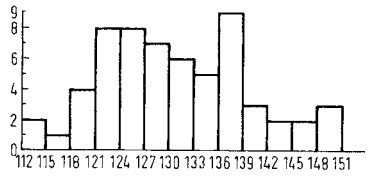
x	Range
79%	65°–101°



Index	90%	89%–84%	83%–75%	74%–70%	69%–66%	65%
Rotation	+++	++	+	–	––	–––

6. Kieferwinkel

x	Range
126°	112°–151°



Gn-tgo-Ar	< 118°	118°–122°	123°–129°	130°–134°	135°–140°	140° >
Rotation	+++	++	+	–	––	–––

Abb. 5. Variationsbreite der Menge der Variablen, die die Neigung der Symphyse, die untere Gesichtshöhe und den Kieferwinkel betreffen (Punkte 4-6 der Analyse nach BJÖRK (1967) [15])

Für die Strukturmerkmale 4-6, Neigung der Symphyse, anteriore Untergesichtshöhe und Kieferwinkel, werden die Messungen der Variablen am Fernröntgenseitenbild herangezogen und bleiben für alle sechs Betrachter konstant (Abb. 5).

3.2.3.3 Auswertung und Interpretation der Merkmale

Folgt man den Empfehlungen von BJÖRK (1967) [15], so kann die wachstumsbedingte Veränderung des Unterkiefers die sich in einer Verkleinerung des Winkels zwischen NS– und Mandibularebene darlegt, als anteriore oder Vorwärtsrotation bezeichnet werden (s. Abb. 1.a), im umgekehrten Fall wird von einer posterioren oder Rückwärtsrotation (s. Abb. 1.b) gesprochen.

Aus der „Form der Kondylen" und „dem Kieferwinkel" (erster und sechster Punkt der Wachstumsbox) wird die Translationsrichtung der Mandibula (sagittal / vertikal) und ihre Stärke bestimmt. Sind mehr positive Vorzeichen vorhanden, spricht dies für eine sagittale Translation, bei Überwiegen der negativen Vorzeichen liegt eine eher vertikale Translation vor. Die absolute Anzahl gibt auch hier die Stärke der jeweiligen Translation an. Alle Kriterien 1-6 zusammen geben Aussage über die Rotationsrichtung und –stärke, je nach positiver oder negativer Graduierung von ausgeprägt sagittal bis ausgeprägt posterior.

In einem übersichtlichen Schema werden die drei repräsentativen Einschätzungen zu morphologischen Struktur mit positive rund negativer Graduierung eingetragen (Abb. 6).

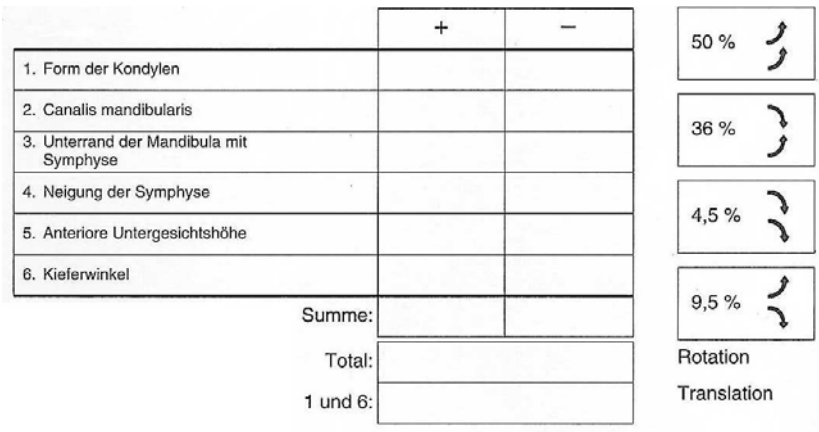


Abb. 6. Analyseschema für das erwartete Wachstum der Mandibula ausschliesslich nach skelettalen Kriterien gewertet. Kriterien 1-5 von BJÖRK (1969)[15], Kriterium 6 nach OEDEGAARD (1970) [51], [52] ergänzt

Translation		
+ 6 bis + 4	stark	sagittale Translation
+ 3 bis + 2	leicht	
+ 1 bis ± 0	neutrale	Translation
− 1 bis − 2	leicht	vertikale Translation
− 3 bis − 6	stark	
Rotation		
+18 bis + 9	stark	sagittale Rotation
+ 8 bis + 3	leicht	
+ 2 bis ± 0	neutrale	Rotation
− 1 bis − 6	leicht	posteriore Rotation
− 7 bis −18	stark	

Abb. 7. Differenzierte Aussage über Translations- und Rotationstendenz nach WINGBERG (1984) [85]

3.2.4 Die Empfehlung von STEINER (1953) [72] zur ANB-Winkelveränderung durch Wachstum basierend auf der Wachstumsanalyse nach BJÖRK (1967) [15] und OEDEGAARD (1970) [51], [52]

STEINER (1953) [72] zieht in seinen kephalometrischen Studien den Schluß, dass eine direkte Abhängigkeit zwischen der Größe des ANB-Winkels und der Frontzahnstellung (dentale Kompensation) vorliegt. Eine „mittlere“ Wachstumsanpassung, die er häufig beobachtet, und die in einer nach vorne leicht nach unten gerichteten Veränderung der Kieferbasen resultiert, sieht er während des Hauptwachstums als eine Reduktion des ANB-Winkels um nahezu die Hälfte als realistisch an. Als Gleichung ließe sich dann aufstellen: ANB geteilt durch 2 mit einem Sicherheitsfaktor von +1, abhängig vom Ausprägungsgrad der mandibulären Rotation. Bei anteriorer Rotation könnte der Sicherheitsfaktor je nach Ausprägung verkleinert, bei posteriorer Rotation vergrößert werden. In der vorliegenden Arbeit wurde dieser Sicherheitsfaktor in Abhängigkeit von der BJÖRKschen Wachstumsvorhersage wie folgt interpretiert:

- Indifferent (entspricht dem „mittleren“ Wachstumsverhalten für die Rotation) (+1)
- Anterior (0)
- Ausgeprägt anterior (-1)
- Posterior (+2)
- Ausgeprägt posterior (+3)

3.3 Bewertung der skelettalen Reife anhand von Handwurzelaufnahmen

Die Wachstumsveränderungen können in Bezug auf ihre Größe und nach ihrem Zeitpunkt diskutiert werden, wozu die Handwurzelaufnahme dient (Abb. 8). Hier werden Epiphyse und Diaphyse in ihrem Verschmelzungs- respektive Verknöcherungsgrad bewertet (GREULICH und PYLE (1959) [29]) und die Einordnung zur skelettalen Reife vorgenommen.

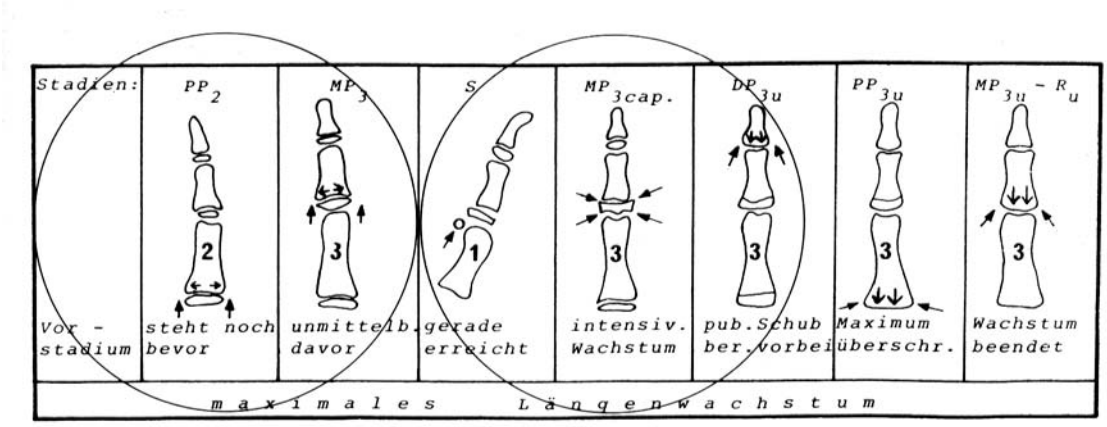


Abb. 8. Schema zur Handwurzelanalyse nach BJÖRK (1967) [15]

Der Wachstumszeitpunkt kann in vier Perioden darstellt werden:

1. die sogenannte Kleinkindphase,
2. die Kindesphase,
3. die Periode des Jugendlichen mit dem pubertären Wachstumsschub
4. die Periode des jungen Erwachsenen.

3.4 Statistische Analyse

Die erhobenen Daten sind Bewertungen auf einer diskreten Ordinal- oder Rangskala. Ziel ist die Analyse des sogenannten Interrater-Agreements. Unter Agreement versteht man die Übereinstimmung zwischen zwei Beobachtern, die unabhängig voneinander eine Gruppe von Patienten bezüglich eines Untersuchungsmerkmals anhand derselben Skala einschätzen. Interrater–Agreement ist also eine spezielle Form einer Korrelation.

Das statistische Modell ist die quadratische Kontingenztafel mit identischer Ordinalskala für beide Merkmale (A: Beurteiler A, B: Beurteiler B). Als Maßzahl für die Übereinstimmung wird Kappa (AGRESTI (1990) [1]) verwendet. Sie gibt den Grad der Übereinstimmung an, der über die zufällig zu erwartende Übereinstimmung hinausgeht. Diese Maßzahl lautet:

$$\kappa = \frac{\pi_0 - \pi_e}{1 - \pi_e}.$$

Dabei steht π_0 für die Wahrscheinlichkeit, daß zwei Beurteiler A und B übereinstimmen und π_e für die Wahrscheinlichkeit der zufälligen Übereinstimmung. Ein κ-Wert von 1 besagt, dass eine perfekte Übereinstimmung der beiden Beobachter vorliegt, während $\kappa=0$ für rein zufällige Übereinstimmungen steht. Perfekte Übereinstimmung würde bedeuten, dass beide Beurteiler jeden Patienten exakt gleich bewerten. Die Kontingenztafel würde dann nur Elemente auf der Hauptdiagonalen aufweisen.

Die statistische Signifikanz von κ wird durch den p - Value eingeschätzt, der unter 0.05 bei signifikanter Übereinstimmung liegen muss

.Die Nullhypothes, „Beurteiler A und B stimmen nur zufällig überein (Kappa = 0)“, wird zugunsten der Alternative, „Beurteiler A und B stimmen nicht nur zufällig überein (Kappa > 0)“, abgelehnt, sofern der p – Value < 0.05 ist. Dann ist die Übereinstimmung statistisch signifikant.

Nichtquadratische Tafeln:

Für den Fall, dass ein Beobachter die Skala voll ausschöpft, der andere dagegen nicht, entstehen Rechtecks-Kontingenztafeln, für die Kappa nicht definiert ist. Hier kann man zur Einschätzung des Grades für den Zusammenhang zweier ordinaler Merkmale den Koeffizienten γ (vgl. Toutenburg, 2000, S.117) heranziehen, der zwischen –1 und 1 liegt. Ein Wert von 1 bedeutet, dass es keine diskordanten Beobachtungen gibt. Ein Wert von 0 bedeutet Unabhängigkeit beider Beurteiler. γ sollte in dieser Auswertung mehr deskriptiv herangezogen werden, da es nicht die Zielvariable „Agreement“ misst.

Zu jedem Merkmal liegen neun Paare von Betrachtern vor. Ein Ausdruck der Schärfe eines Merkmals ist der Anteil der signifikanten Übereinstimmungen bei diesen neun Kontingenztafeln.

Die ANB–Winkel und die Prognosen sind stetige Merkmale. Als Maß für den Zusammenhang zweier stetiger Merkmale dient der Korrelationskoeffizient r von Bravais-Pearson, der zwischen –1 und 1 liegt. Eine positive Korrelation bedeutet, dass beide Prognosen in dieselbe Richtung gehen, also der Trend zur linearen Übereinstimmung vorliegt. Die Stärke der Korrelation wird über die Signifikanz von r eingeschätzt.

Die Prognosegüte der sechs Betrachter wird durch die Differenz „Prognose minus Realität“, also je Patient durch

> ANB - Vorhersage (Betrachter i) – ANB 2

gemessen. Diese Variable ist stetig (n = 50 Werte). Der Vergleich der Mittelwerte dieser stetigen Variablen „Differenz“ erfolgt mittels Varianzanalyse. Die Varianzanalyse prüft, ob die Differenzen und damit die Prognosegüte der sechs Betrachter im statistischen Mittel gleich sind. Die Nullhypothese lautet

> Mittelwert der Prognosegüte (Prof.) = Mittelwert Prognosegüte (Assistent 1) = ... = Mittelwert Prognosegüte (Student 3).

Falls die Hypothese nicht abgelehnt wird (p – value > 0.05), sind die Unterschiede zwischen den Beurteilern statistisch nicht signifikant, sondern zufällig.

4 Ergebnisse

4.1 Wachstumsanalyse nach Björk für die zu erwartende sagittale und vertikale Veränderung von Position und Lage der Mandibula

Die von BJÖRK (1969) [16] zur Beurteilung der wachstumsbedingten Veränderungen repräsentativen drei morphologischen Strukturen der Mandibula (die Merkmale 1= Kiefergelenk, 2= Kieferwinkel, 3= Unterrand der Mandibula mit Symphyse) wurden von sechs unterschiedlich erfahrenen kieferorthopädisch tätigen Kollegen bewertet. Des weiteren wurden drei Messungen am Fernröntgenseitenbild, die ebenfalls zur Wachstumsanalyse nach BJÖRK (1969) [16] gehörenden Variablen (4= untere Gesichtshöhe und 5= Kinnprominenz) sowie der von OEDEGAARD (1970) [51] empfohlene Kieferwinkel (= 6) vorgegeben und flossen in die die Bewertung mit ein.

Die erforderliche Graduierung erfolgte differenziert nach den Angaben von WINGBERG (1984) [85].

Die sechs kieferorthopädischen Kollegen haben unabhängig voneinander die ersten drei Merkmale an Fernröntgenseitenbilder von fünfzig Patienten, die vor einer kieferorthopädischen Behandlung standen, bewertet. Die einzelnen subjektiven Bewertungen für die Referenzen 1 bis 3 wurden kombiniert mit den messtechnisch ermittelten Referenzen 4 bis 6. Die Merkmale 1 und 6, sowie 1 bis 6 wurden zuerst getrennt, dann in ihrem gemeinsamen Aussagewert erfasst, wodurch eine Aussage zur Übereinstimmung der Prognosen bezüglich der einzelnen Merkmale und über den Einfluss der Einzelmerkmale auf die Gesamtaussage der Wachstumsanalyse möglich wird.

Zum Vergleich der sechs Betrachter geben die Auswertungen der Kontingenztafeln zusammengefasst in den Tabellen 1 bis 9 und 14 bis 31 Auskunft.

4.1.1 Merkmal 1 – das Kiefergelenk

Die Ergebnisse bezüglich Merkmal 1 weist Tabelle 1 aus. Da nur in zwei Fällen die Skala voll zu einer quadratischen Kontingenztafel ausgeschöpft wurde, wird das Maß Gamma zur Beurteilung des Grades für den Zusammenhang herangezogen.

Alle Gamma-Werte sind positiv, das heißt, jeweils zwei Betrachter stimmen in der Richtung der Beurteilung überein. Drei Mal weist der paarweise Vergleich statistische Signifikanz auf, und zwar zwischen den Betrachtern Prof. und Stud.2, sowie zwischen Ass.1 und Ass.2, und Stud.1 und Stud.2, woraus aber kein Muster bezüglich des Erfahrungsgrades abzulesen ist.

Tab. 1. Übereinstimmung von Betrachterpaaren in Merkmal 1 (Form der Kondylen)

	Kappa	Signifikanz	Gamma	Signifikanz
Prof./Ass.1	-	-	0.369	0.113 (n. s.)
Prof./Ass.2	-	-	0.466	0.060 (n. s.)
Prof./Stud.1	-	-	0.381	0.280 (n. s.)
Prof./Stud.2	0.109	-	0.398	0.038 (s.)
Prof./Stud.3	-	-	0.481	0.092 (n. s.)
Ass.1/Ass.2	-	-	0.891	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.2	-	-	0.752	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.3	0.143	0.044	0.391	0.200 (n. s.)
Stud.2/Stud.3	-	-	0.222	0.266 (n. s.)

4.1.2 Merkmal 2 – der Mandibularkanal

Die Auswertung der Kontingenztafeln zum Merkmal 2 ist in Tabelle 2 dargestellt. Hier konnte kein Kappa gebildet werden. Wieder wurde, wie auch bei den folgenden Merkmalen, das Maß Gamma zur Beurteilung des Grades für den Zusammenhang herangezogen.

Alle Gamma-Werte sind positiv. Vier Mal weist der paarweise Vergleich statistische Signifikanz auf, und zwar zwischen den Betrachterpaaren Prof. und Stud.2, Prof. und Stud.2, Ass.1 und Ass.2, und letztlich Stud.1 und Stud.2. Fünf Mal ist der paarweise Vergleich nicht statistisch signifikant, es lässt sich also erneut kein Muster bezüglich des Erfahrungsgrades abzulesen.

Tab. 2. Übereinstimmung zweier Betrachter in Merkmal 2 (canalis mandibulalis)

	Kappa	Signifikanz	Gamma	Signifikanz
Prof./Ass.1	-	-	0.277	0.129 (n. s.)
Prof./Ass.2	-	-	0.382	0.230 (n. s.)
Prof./Stud.1	-	-	0.497	0.001 (s.)
Prof./Stud.2	-	-	0.637	0.000 (s.)
Prof./Stud.3	-	-	0.373	0.120 (n. s.)
Ass.1/Ass.2	-	-	0.598	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.2	-	-	0.583	0.001 (s.)
Stud.1/Stud.3	-	-	0.303	0.730 (n s.)
Stud.2/Stud.3	-	-	0.123	0.535 (n. s.)

4.1.3 Merkmal 3 – der Unterrand der Mandibula mit Symphyse

Die Auswertung der Kontingenztafeln zum Merkmal 3 ist in Tabelle 3 dargestellt. Alle Gamma-Werte sind positiv. Mit Ausnahme eines Betrachterpaares (Prof./Stud.1) liegt statistische Signifikanz vor, so dass tendenziell die Übereinstimmung in der Beurteilung der drei subjektiven Merkmale der Wachstumsanalyse nach BJÖRK in Merkmal 3 am größten ist.

Tab. 3. Übereinstimmung zweier Betrachter in Merkmal 3 (Unterrand der Mandibula mit Symphyse)

	Kappa	Signifikanz	Gamma	Signifikanz
Prof./Ass.1	-	-	0.763	0.001 (s.)
Prof./Ass.2	-	-	0.872	0.000 (s.)
Prof./Stud.1	-	-	0.751	0.091 (n.s.)
Prof./Stud.2	-	-	0.841	0.000 (s.)
Prof./Stud.3	-	-	0.618	0.006 (s.)
Ass.1/Ass.2	-	-	0.664	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.2	-	-	0.780	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.3	-	-	0.652	0.000 (s.)
Stud.2/Stud.3	-	-	0.465	0.003 (s.)

4.1.4 Merkmal 1 bis 3, sogenannte „subjektive“ Merkmale zur Bewertung der wachstumsbedingten Veränderung der Mandibula

Die Auswertung der Kontingenztafeln zum Merkmal 1-3 ist in Tabelle 4 dargestellt. Alle Gamma-Werte sind positiv. Durchgehend liegt hier für alle paarweise Vergleiche statistische Signifikanz vor.

Tab. 4. Übereinstimmung zweier Betrachter der Merkmale 1 bis3

	Kappa	Signifikanz	Gamma	Signifikanz
Prof./Ass.1	-	-	0.439	0.000 (s.)
Prof./Ass.2	-	-	0.494	0.000 (s.)
Prof./Stud.1	-	-	0.530	0.000 (s.)
Prof./Stud.2	-	-	0.554	0.000 (s.)
Prof./Stud.3	-	-	0.380	0.000 (s.)
Ass.1/Ass.2	-	-	0.541	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.2	-	-	0.705	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.3	-	-	0.398	0.000 (s.)
Stud.2/Stud.3	-	-	0.280	0.010 (s.)

4.1.5 Merkmal 1 und 6 – Aussagen zur Translation

Die Auswertung der Kontingenztafeln zum Merkmal 1+6 ist in Tabelle 5 dargestellt. Alle Gamma-Werte sind positiv. In allen Fällen liegt statistische Signifikanz vor.

Tab. 5. Übereinstimmung zweier Betrachter in Merkmal 1 und 6 (Aussage über die Translation)

	Kappa	Signifikanz	Gamma	Signifikanz
Prof./Ass.1	-	-	0.641	0.000 (s.)
Prof./Ass.2	-	-	0.662	0.000 (s.)
Prof./Stud.1	-	-	0.671	0.000 (s.)
Prof./Stud.2	-	-	0.674	0.000 (s.)
Prof./Stud.3	-	-	0.574	0.000 (s.)
Ass.1/Ass.2	-	-	0.696	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.2	-	-	0.747	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.3	-	-	0.563	0.000 (s.)
Stud.2/Stud.3	-	-	0.614	0.000 (s.)

4.1.6 Merkmal 1 bis 6 - Aussagen zur Rotation

Die Auswertung der Kontingenztafeln zum Merkmal 1 bis 6 ist in Tabelle 6 dargestellt.

Alle Gamma-Werte sind positiv. In allen Fällen liegt statistische Signifikanz vor.

Tab. 6. Übereinstimmung zweier Betrachter in Merkmal 1 bis 6 (Aussage über die Rotation)

	Kappa	Signifikanz	Gamma	Signifikanz
Prof./Ass.1	-	-	0.859	0.000 (s.)
Prof./Ass.2	-	-	0.825	0.000 (s.)
Prof./Stud.1	-	-	0.756	0.000 (s.)
Prof./Stud.2	-	-	0.845	0.000 (s.)
Prof./Stud.3	-	-	0.769	0.000 (s.)
Ass.1/Ass.2	-	-	0.887	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.2	-	-	0.790	0.000 (s.)
Stud.1/Stud.3	-	-	0.713	0.000 (s.)
Stud.2/Stud.3	-	-	0.737	0.000 (s.)

4.2 Signifikanzbewertung der einzelnen Merkmale

Je qualifizierter oder objektiver das Merkmal ist, desto höher ist der Anteil der signifikanten Übereinstimmungen von zwei Betrachtern. Von Merkmal 1 zu Merkmal 3 nimmt die Anzahl der Signifikanzen deutlich zu. Die Signifikanzen des paarweisen Vergleiches im Merkmal 1 stimmen mit denen im Merkmal 2 und 3 überein, das heißt, es handelt sich um dieselben Betrachterpaare, die übereinstimmen (Prof./Stud.2, sowie Ass.1/Ass.2 und Stud.1/Stud.2).

Das bei Merkmal 1 nicht signifikante und bei Merkmal 2 signifikante Betrachterpaar Prof./Stud.1 tritt bei Merkmal 3 als einziges nichtsignifikantes Betrachterpaar auf. Alle zusammengefassten Merkmale 1 bis 3, 1 und 6 sowie 1 bis 6 zeigen für alle neun Kombinationen von Betrachterpaaren Signifikanz.

Tab. 7. Signifikanzen der Übereinstimmungen (Gamma) der neun Betrachterpaare bei den jeweiligen Merkmalen

Merkmal Betrachter	1	2	3	1 bis 3	1 und 6	1 bis 6
Prof./Ass.1			*	*	*	*
Prof./Ass.2			*	*	*	*
Prof./Stud.1		*		*	*	*
Prof./Stud.2	*	*	*	*	*	*
Prof./Stud.3			*	*	*	*
Ass.1/Ass.2	*	*	*	*	*	*
Stud.1/Stud.2	*	*	*	*	*	*
Stud.1/Stud.3			*	*	*	*
Stud.2/Stud.3			*	*	*	*

4.3 Endaussage der Analyse für die Rotation und Translation

4.3.1 Kontingenztafeln und Zusammenfassung der Aussage für die Rotation

Für die Endaussagen über die Rotation haben beide Betrachter bei den neun Paaren (außer in Tabelle 18, 21 und 22) die Skala jeweils voll ausgeschöpft, so dass quadratische Kontingenztafeln entstehen, für die das Maß Kappa für Agreement gebildet werden kann (Tabellen 14–17, 19 und 20). In allen quadratischen Tabellen 14–17, 19 und 20 ist Kappa stets signifikant, das heißt es liegt statistisch signifikantes Agreement zwischen den beiden Betrachtern für alle neun Paare vor.

Tab. 8. Übereinstimmung zweier Betrachter in der Vorhersage der Rotation

	Kappa	Signifikanz	Gamma	Signifikanz
Prof./Ass.1	0.458	0.000		
Prof./Ass.2	0.261	0.002		
Prof./Stud.1	0.381	0.000		
Prof./Stud.2	0.423	0.000		
Prof./Stud.3	-	-	0.815	0.000
Ass.1/Ass.2	0.513	0.000		
Stud.1/Stud.2	0.590	0.000		
Stud.1/Stud.3	-	-	0.690	0.000
Stud.2/Stud.3	-	-	0.725	0.000

Die Auswertung der Kontingenztafeln zum Vergleich der sechs Betrachter ist zusammenfassend in Tabelle 8 dargestellt. Da nur in drei Fällen die Skala nicht zu einer quadratischen Kontingenztafel ausgeschöpft wurde, wird das Maß Kappa zur Beurteilung des Grades für den Zusammenhang herangezogen. In den drei paarweisen Vergleichen zwischen Prof./Stud.3, und Stud.1/Stud.3 sowie Stud.2/Stud.3, in denen keine quadratischen Kontingenztafeln gebildet werden konnten, dient das Maß Gamma als Maß der Übereinstimmung. Alle Kappa-Werte sind statistisch signifikant, das heißt, dass diese im paarweisen Vergleich in der Beurteilung übereinstimmen. Auch die gebildeten Gamma-Werte der Tabellen 18, 21 und 22 sind positiv und signifikant. Ein Muster bezüglich des Erfahrungsgrades kann auch hier nicht abgelesen werden.

4.3.2 Kontingenztafeln und Zusammenfassung der Aussage für die Translation

Für die Endaussagen über die Translation haben beide Betrachter die Skala voll ausgeschöpft, so dass quadratische Kontingenztafeln entstehen, für die das Maß Kappa für Agreement gebildet werden kann (Tabellen 23 - 31). In allen quadratischen Tabellen 23 - 31 ist Kappa stets signifikant, das heißt, es liegt ein statistisch signifikantes Maß an Agreement vor.

Die Auswertung der Kontingenztafeln zum Vergleich aller sechs Betrachter ist zusammenfassend in Tabelle 9 dargestellt. Da bei allen die Skala zu einer quadratischen Kontingenztafel ausgeschöpft wurde, wird das Maß Kappa zur Beurteilung des Grades für den Zusammenhang herangezogen. Alle Kappa-Werte sind statistisch signifikant, das heißt, jeweils zwei Betrachter stimmen in der Beurteilung überein (das Agreement ist signifikant).

Tab. 9. Übereinstimmung zweier Betrachter in der Vorhersage der Translation

	Kappa	Signifikanz
Prof./Ass.1	0.518	0.000
Prof./Ass.2	0.637	0.002
Prof./Stud.1	0.435	0.000
Prof./Stud.2	0.485	0.000
Prof./Stud.3	0.525	0.000
Ass.1/Ass.2	0.571	0.000
Stud.1/Stud.2	0.389	0.000
Stud.1/Stud.3	0.283	0.000
Stud.2/Stud.3	0.474	0.000

4.4 Prognose zur wachstumsbedingten Veränderung für die sagittale Relation der Maxilla zur Mandibula dargestellt am ANB-Winkel

4.4.1 Allgemeines

Die Veränderung der sagittalen Relation von Mandibulla und Maxilla dargestellt im ANB-Winkel bei Patienten im Wachstum während einer kieferorthopädischen Behandlung mit einem funktionskieferorthopädischen Gerät und Headgear wird zu Anfang der Behandlung (vorpubertärer Zeitpunkt) in zweifacher Weise prognostiziert und mit dem tatsächlich erreichten Wert zu Behandlungsende und Wachstumsabschluss verglichen.

1. ANB-Prognose nach den Empfehlungen von STEINER entspricht ANB-Prognose 1
2. ANB-Prognose nach Empfehlung von BJÖRK entspricht ANB-Prognose 2
3. ANB-Endbefund entspricht ANB-T3

4.4.2 Vergleich der ANB-Winkelprognosen nach BJÖRK (ANB-Prognose 2) mit der tatsächlich eingetretenen ANB-Winkelveränderung zum Zeitpunkt T3, dem Behandlungs- und Wachstumsende

Die Prognosegüte von sechs kieferorthopädischen Betrachtern wird durch die Differenz zwischen den ANB-Winkeln (ANB-Vorhersagen), deren Größe durch die Wachtumsvorhersage von diesen ermittelt wurde (ANB 2) und dem tatsächlich am Ende der Behandlung respektive des Wachstums auftretenden ANB-Winkel (ANB T3) bestimmt.

ANB-Prognose 2 – ANB T3

Der Vergleich der Mittelwerte dieser stetigen Variablen „Differenz“ erfolgt mittels einer Varianzanalyse.

Alle Korrelationskoeffizienten zwischen ANB T3 (Wachstumsende) und den Vorhersagen anhand der Analyse nach BJÖRK durch die einzelnen Betrachter (ANB 2) sind größer Null und tendieren zu 1. Die allgemeine ANB-Prognose nach STEINER (ANB-Prognose 1) unterscheidet sich am wenigsten von ANB T3. Alle Korrelationskoeffizienten liegen zwischen 0.648 und 0.761 und sind signifikant, d.h. alle Betrachter liefern Prognosen, die mit der Realität hoch korrelieren.

Tab. 10. Die Korrelationskoeffizienten zwischen dem wirklich eingetretenen ANB T3 zum Ende des Wachstums und der ANB-Prognose 1, sowie den individuellen Vorhersagen mit Hilfe der Analyse nach BJÖRK (ANB-Prognose 2) durch die einzelnen Betrachter.

	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
ANB/2+1-ANB2	0.761	0.000
ANB(Prof.)–ANB2	0.648	0.000
ANB(Ass.1)–ANB2	0.701	0.000
ANB(Ass.2)–ANB2	0.722	0.000
ANB(Stud.1)–ANB2	0.690	0.000
ANB(Stud.2)–ANB2	0.679	0.000
ANB(Stud.3)–ANB2	0.699	0.000

4.4.3 Vergleich der Prognosen für den ANB-Winkel basierend auf der BJÖRKschen Empfehlung (ANB-Prognose 2) mit der nach STEINER empfohlenen Vorhersage (ANB-Prognose 1)

Die Übereinstimmung der Ergebnisse der allgemeinen ANB-Prognose nach STEINER (ANB-Prognose 1) und der individualisierten ANB-Prognose 2 nach der Wachstumsanalyse von BJÖRK wird durch die Differenz

ANB-Prognose 2 – ANB-Prognose 1

gemessen. Der Vergleich der Mittelwerte dieser stetigen Variablen „Differenz“ erfolgt mittels einer Varianzanalyse.

Alle Korrelationskoeffizienten zwischen der ANB-Prognose 2 und den Vorhersagen nach BJÖRK durch die einzelnen Betrachter sind größer als Null und tendieren zu 1. Es liegt also ein positiver Zusammenhang vor. Bei differenzierter Betrachtung zeigt sich, daß die ANB-Prognose 2 (Prof.) sich am wenigsten von der allgemeinen Prognose unterscheidet. Alle Korrelationskoeffizienten liegen zwischen 0.785 und 0.809 und sind signifikant.

Tab. 11. Die Korrelationskoeffizienten zwischen ANB-Prognose 1 und den individuellen ANB-Vorhersagen nach BJÖRK (ANB-Prognose 2) durch die einzelnen Betrachter

	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
ANB/2+1-ANB(Prof.)	0.809	0.000
ANB/2+1-ANB(Ass.1)	0.792	0.000
ANB/2+1-ANB(Ass.2)	0.787	0.000
ANB/2+1-ANB(Stud.1)	0.795	0.000
ANB/2+1-ANB(Stud.2)	0.785	0.000
ANB/2+1-ANB(Stud.3)	0.789	0.000

4.5 Oneway-Varianzanalyse

Tab. 12. Varianzanalyse der Differenzen „Prognose-Realität“

1.	Anzahl	Mittelwert	Standart Abweichung	Standart Fehler	95% Sicherheit Mittelwerte		Minimum	Maximum
					Unterer	Oberer		
2.	50	.418	1.459	.206	3.141E-	.832	-	3.2
3.	48	.152	1.430	.206	-	.567	-	3.2
4.	48	.172	1.507	.217	-	.610	-	3.7
5.	49	.266	1.514	.216	-	.701	-	3.7
6.	49	.435	1.473	.210	1.262E-	.858	-	3.2
Tot	29	.325	1.485	8.662E-	.155	.496	-	3.7

(Legende: 1.=Prof, 2.=Ass1, 3.=Ass2, 4.=Stud1, 5.=Stud2, 6.=Stud3,

Mean = Mittelwerte der Differenzen ANB T3 und ANB-Prognose 2)

Die Varianzanalyse lehnt die Gleichheit der Mittelwerte der Differenzen für die sechs Behandler nicht ab. Dies bedeutet, dass die sechs Behandler bezüglich ihrer Prognosegüte statistisch nicht unterscheidbar sind.

Geprüft wurden die Mittelwerte der Differenzen zwischen ANB T3 und ANB-Prognose 2 der einzelnen Betrachter.

$\mu(Prof) = \mu(Ass1) = \mu(Ass2) = \mu(Stud1) = \mu(Stud2) = \mu(Stud3)$

Dies kann nicht abgelehnt werden ($p = 0.799$), das heißt, alle Betrachter können als gleich gut bezüglich der Übereinstimmung ihrer Prognose mit der Realität bewertet werden.

4.6 Graphische Darstellung der Prognosen und der Prognosegüte

Mithilfe von Box-Plots (Abb. 9) können die unterschiedlichen Prognosen zum tatsächlich errechneten Endwert zum Zeitpunkt T3 und somit die Prognosegüte ANB-Prognose 1 graphische dargestellt werden.

Der Box-Plot zeigt die Mediane und den Interquartilsabstand als Streuungsmaß für die ANB-Prognose 1 und den ANB T3. Interessant ist, dass die Prognose eine geringere Streuung als die Realität aufweist. Die Mediane stimmen in etwa überein.

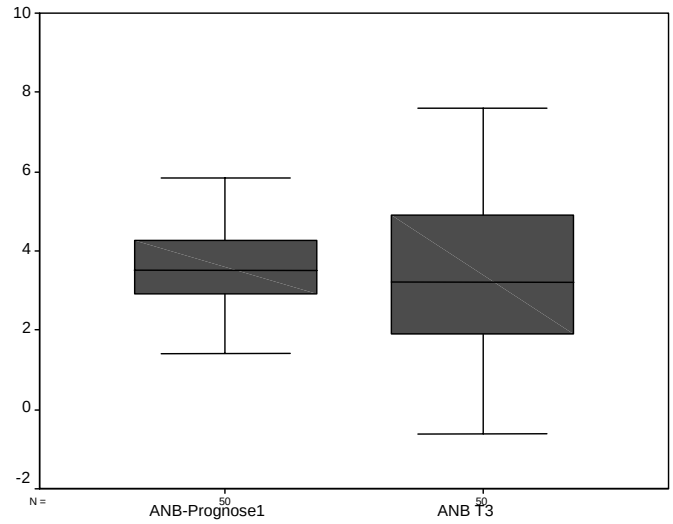


Abb. 9. Box-Plot der ANB-Prognose 1 verglichen mit ANB T3

Die folgenden Streudiagramme (Abb. 10-13) stellen (je Patient) verschiedene Kombinationen von zwei ANB-Merkmalen dar. In allen Abbildungen ist ein positiver Zusammenhang der beiden jeweiligen Merkmale zu erkennen, der durch den Korrelationskoeffizienten und seine Signifikanz erklärt wird. Alle Korrelationen sind signifikant und erklären damit eine positive Übereinstimmung der beiden jeweiligen Merkmale. Damit sind ANB-Prognose 1 und ANB T3, ANB-Prognose 2 und ANB T3, ANB-Prognose 2 und ANB-Prognose 1, sowie die Differenz zwischen ANB-Prognose 2 und ANB T3 jeweils signifikant positiv korreliert. Dies ist auch ein Ausdruck der Prognosefähigkeit des ANB-Winkels und natürlich ein Ausdruck der positiven Prognosegüte des erfahrenen Klinikers.

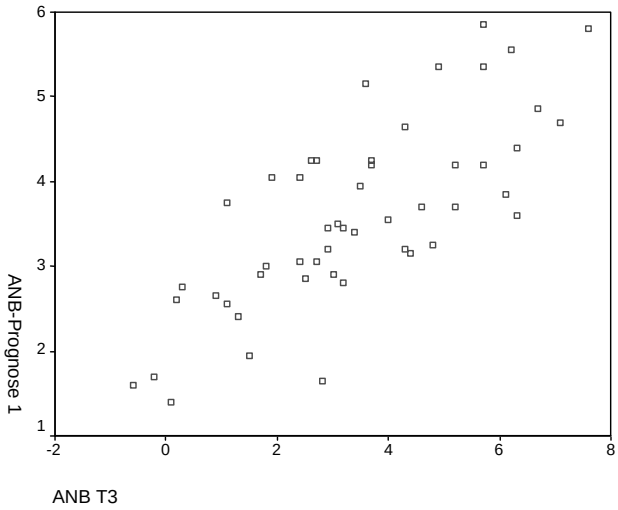


Abb. 10. ANB-Prognose 1 verglichen mit ANB T3

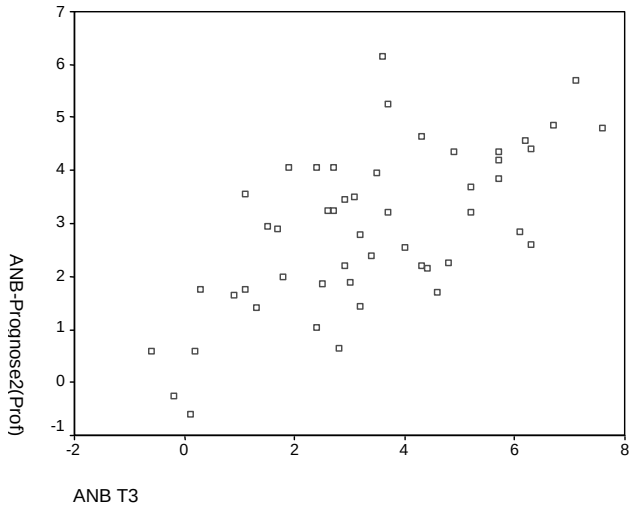


Abb. 11. Vorhersage ANB-Prognose 2 (Prof.) verglichen mit ANB T3

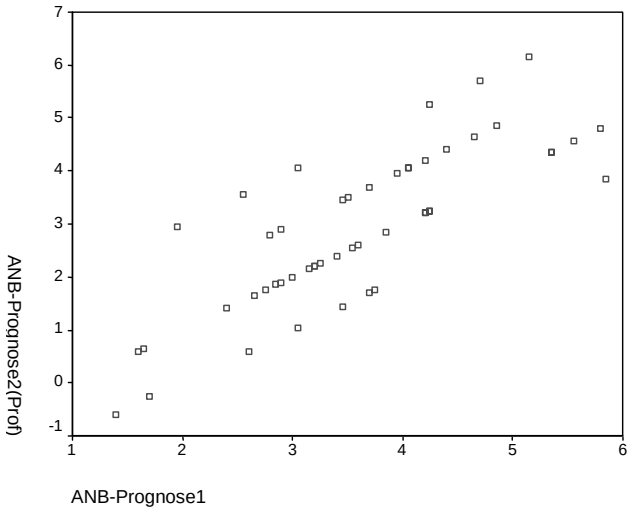


Abb. 12. ANB-Prognose 2 (Prof.) verglichen mit ANB-Prognose 1

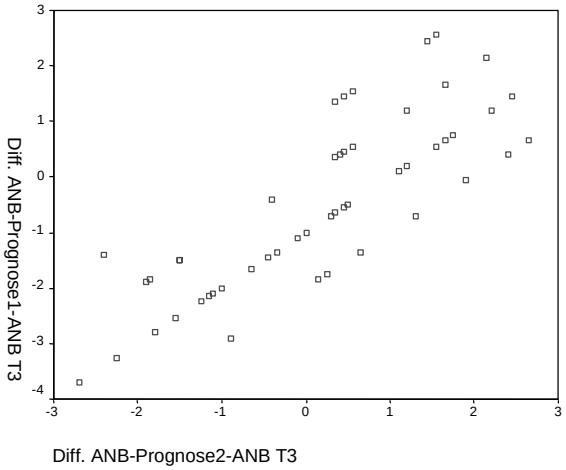


Abb. 13. Differenz des ANB-Prognose 2 mit ANB T3 verglichen mit der Differenz der ANB-Prognose 1 mit ANB T3

Wir führen nun eine Kategorisierung der stetigen Variablen Differenz zwischen ANB-Prognose 2 (erfahrener Kliniker) und ANB T3 und Differenz zwischen ANB-Prognose 1 und ANB T3 durch, um den Zusammenhang in einer Kontingenztafel deutlicher zu machen. Die Definition der Kategorien ist in der Legende der Tabelle 13 zu finden. Da die Tafel nicht quadratisch ist, wird Gamma zur Beurteilung der Übereinstimmung des erfahrenen Klinikers mit der allgemeinen Prognose bezüglich dieses Differenzmaßes herangezogen. Gamma ist signifikant, das heißt. die vermutete Übereinstimmung liegt vor.

Tab. 13. Kategorisierte Differenzen zwischen derANB-Prognose 2 (Prof.) und ANB T3 verglichen mit den Differenzen zwischen der ANB-Prognose 1 und ANB T3

Diff. ANB-Prog.2-ANB T3	Diff. ANB-Progn.1-ANB T3						
1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	Total
2.0		6	1				7
3.0	1	4	5	3			13
4.0			1	4	2		7
5.0				4	5	2	11
6.0				3	2	2	7
7.0					2	1	3
Total	3	10	7	14	11	5	50

Erklärung der Kategorien: 1= < -2

2= -2 bis <-1

3= -1 bis <0

4= 0 bis <1

5= 1 bis<2

6= 2 bis <3

7= >=3

Eine alternative Darstellung der Prognosegüte von ANB-Prognose 1 zu ANB-Prognose 2 (Prof.) wird je Patient durch Abb. 14 gegeben. Die Differenzen zwischen

Prognose ANB 2 (Prof.) und ANB T3 liegen im Trend unter denen der ANB-Prognose 1 minus ANB T3. Somit liegen die Vorhersagen für die ANB-Winkel bei Variation des Sicherheitsfaktors 1 nach den BJÖRKschen Werten durchschnittlich zahlenmäßig unter ANB-Prognose 1 nach STEINER und seiner Regel. Damit sind bei über 50 Prozent der Patienten der ANB T3 größer als die ANB-Prognose 2 nach BJÖRK.

Grafischer Vergleich der Differenzen je Patient

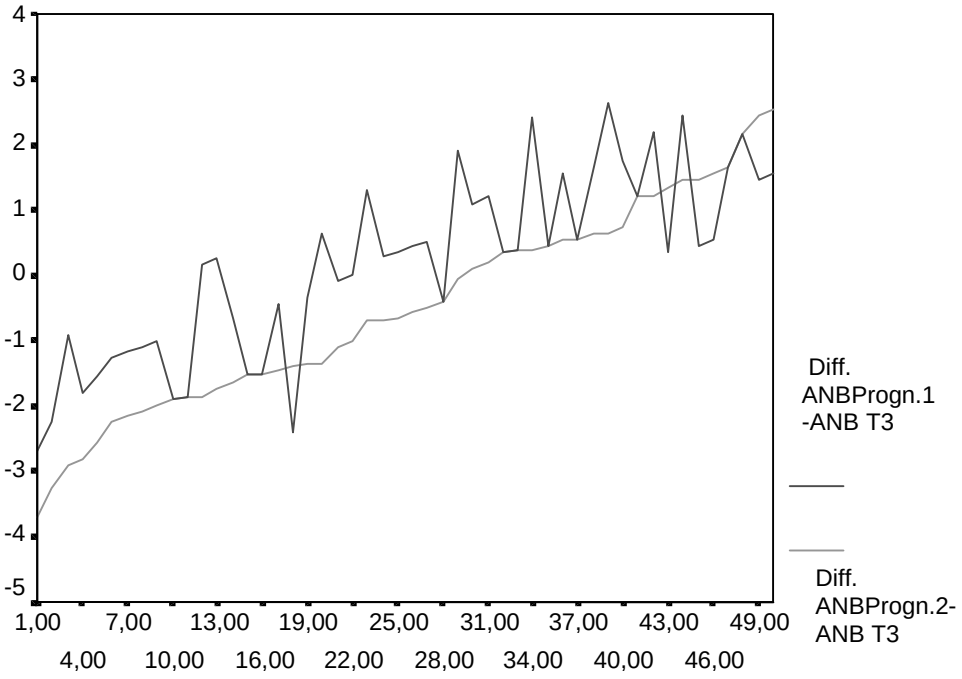


Abb. 14. Differenzen Prognose und Realität je Patient, Vergleich ANB-Prognose 1 (nach STEINER, obere gezackte Linie) zu ANB-Prognose 2 (BJÖRK, untere Linie)

5 Diskussion

5.1 Methodenkritik

Die einzelnen Bewertungsmerkmale der Wachstumsanalyse nach BJÖRK (1969) [16] und OEDEGAARD (1970) [51] wurden zum einen auf ihre Abhängigkeit vom kieferorthopädischen Erfahrungswert unterschiedlicher Betrachter untersucht und die Gesamtaussage dieser Bewertungen in der ANB-Winkelprognose nach STEINER (ANB-Prognose 1) berücksichtigt. Die ANB-Prognose 2 nach BJÖRK sollte mit der ursprünglichen ANB-Prognose 1 nach STEINER verglichen werden, und beide Prognosen dann mit dem nach Behandlungsende gemessenen ANB-Winkel (ANB T3) gegenübergestellt werden, um die Prognosegüte nach BJÖRK für den kieferorthopädischen Gebrauch zu prüfen.

Sechs Kollegen mit unterschiedlichem kieferorthopädischem Erfahrungswert, ein Kliniker mit 30 Jahren kieferorthopädischer Erfahrung, zwei Assistenzzahnärzte im dritten Weiterbildungsjahr und drei Studenten im neunten Semester „Zahnmedizin“, haben unabhängig voneinander an Fernröntgenseitenbildern von 50 Patienten im vorpubertärem Stadium die ausgewählte Wachstumsanalyse durchgeführt. Die Zahl 50 ermöglicht eine geeignete statistische Berechnung bei 36 weiblichen und 14 männlichen Patienten im Alter von 8-12 Jahren. Bei den untersuchten Patienten handelt es sich um Patienten der Klasse II-Anomalie. Es lagen je drei bis fünf Fernröntgenseitenbilder von jedem Patienten vor: zu Beginn, während und zum Abschluss der Behandlung. Zur vorgegebenen Untersuchung wurden zum einen die Anfangsbefunde herangezogen, um die Wachstumsprognose aufzustellen, sowie zum anderen die Endbefunde, um die tatsächlich eingetretenen Veränderungen nach Abschluss der Behandlung und des Wachstums zu messen. Die Wachstumsprognose konnte somit mit dem ANB-Winkel zum Zeitpunkt T3 verglichen werden. Die Patienten erhielten alle eine funktionskieferorthopädische Behandlung in Kombination mit extraoralen Geräte. Als gemeinsames Kriterium aller Patienten galt, dass sie indikationsgemäß zu dem Bereich der sogenannten NON-EX-Kasus gehören mussten, und sie demnach auch ohne Extraktionen versorgt wurden.

Von allen Fernröntgenseitenbildern wurden Durchzeichnungen erstellt und die computergesteuerte kephalometrische Analyse der MÜNCHNER SCHULE basierend

auf der HASUND-Analyse (1960) [30] durchgeführt. Die Anfangs- und Endbefunde wurden zur graphischen Verdeutlichung nach den Empfehlungen von BJÖRK (1967) [15] überlagert, sowohl als Gesamtüberlagerungen als auch als Teilüberlagerungen. Sie wurden jedoch nicht bei der Auswertung der Arbeit berücksichtigt. Der Zeitraum zwischen den beiden Bildern beträgt 3 bis 5 Jahre.

Fehler beim Durchzeichnen des Betrachters, beim irrtümlichen Messen oder in der falschen Übertragung der Daten auf das Analyseblatt sind möglich. BECKMANN, WINGBERG, und HASUND (1983) [7] haben nachgewiesen, dass die methodischen Fehler bei der Computerübertragung geringer sind als bei der Handmessung. Sowohl die Durchzeichnung, als auch die kephalometrische Auswertung oblag ein und derselben Person. Ungenauigkeiten durch Betrachterwechsel konnten somit ausgeschlossen werden. Als Grundlage für die Auswertung der Fernröntgenseitenbildern bezüglich der Wachstumsprognose nach BJÖRK lagen sechs Beurteilern mit unterschiedlich langer Erfahrung im Fach Kieferorthopädie dieselben kephalometrischen Werte für die Kriterien 4 bis 6 vor. Die Bewertung der morphologischen Struktur der Mandibula in Bezug auf die Kriterien 1 bis 3 (Form der Kondylen, Canalis mandibularis und den Unterrand der Mandibula mit der Symphyse) erfolgte „subjektiv“ durch die einzelnen Betrachter.

Der erste Teil der Fragestellung setzt sich statistisch mit der Abhängigkeit vom Erfahrungswert anhand der Übereinstimmung oder Abweichung der unterschiedlichen Beurteilern in den Kriterien 1 bis 3 der Analyse nach BJÖRK auseinander. Somit konnten die Kriterien 4 bis 6 der Analyse nach BJÖRK als konstant angesehen werden und einzig die Merkmale 1 bis 3 an den Röntgenbildern des A-Befundes von allen sechs Betrachtern getrennt bewertet werden. Es erfolgte eine Einteilung der Analysepunkte 1 bis 3 in subjektive und 4 bis 6 in objektive Merkmale.

Die einzelnen Prognosen für die subjektiven Merkmale 1 bis 3 getrennt, 1 bis 3 gemeinsam, für die Kriterien 1 und 6, sowie 1 bis 6 wurden miteinander verglichen. Dadurch lässt sich eine Aussage zur Übereinstimmung der Prognosen in den einzelnen Kriterien und über den Einfluss der Einzelmerkmale auf die Gesamtaussage der Analyse ableiten. Die einzelnen Merkmale wurden getrennt miteinander verglichen, um zu sehen, ob sich die Übereinstimmungen oder Abweichungen in Zusammenhang mit dem Erfahrungswert bringen lassen.

Die Variablen des Wachstumsschemas insgesamt, Merkmal 1 bis 6, werden zur Prognose des Rotationsverhalten der Mandibula und die Merkmale 1 und 6 zur Prognose des Translationsverhaltens der Mandibula verwendet. Diese Vorhersagen wurden daraufhin getrennt untersucht und verglichen.

Der zweite Teil der Fragestellung vergleicht die unterschiedlichen Vorhersagen durch die Wachstumsanalyse nach BJÖRK (1967) [15] mit dem wirklich eingetretenen Endbefund. Dies lässt sich anhand der ANB-Differenz des Anfangs- und Endbefundes von jedem Patienten beurteilen. Die Wachstumsprognose aufbauend auf den Empfehlungen von BJÖRK (ANB-Prognose 2) wird zuerst mit der Prognose für den ANB-Winkel nach STEINER (ANB-Prognose 1) und dann mit der tatsächlichen Änderung des ANB-Winkels zum Endbefund bei allen Patienten, der nach Wachstumsabschluss liegt, verglichen. Ziel ist es, Aussagen über das wirklich eingetretene Wachstum und dessen Richtung zu machen.

5.2 Ergebniskritik

Aus der Statistik lassen sich Aussagen über die einzelnen Merkmale, sowie auch die Bedeutung dieser in der Gesamtanalyse machen. Des weiteren kann man erkennen, inwieweit Unterschiede oder Übereinstimmungen von dem Erfahrungswert der einzelnen Betrachter im Fach Kieferorthopädie abhängen.

Die Auswertung der Kontingenztafeln zum Vergleich der sechs Betrachter ist zusammenfassend in den Tabellen 1- 26 dargestellt.

Bei Merkmal 1 der Analyse nach BJÖRK handelt es sich um die „Form der Kondylen“. Eine distale oder vertikale Neigung der Kondylen ist ein charakteristisches Zeichen für eine anteriore oder posteriore Rotationsrichtung des Unterkiefers. Tabelle 1 enthält zusammenfassend die Ergebnisse aus den einzelnen Kontingenztafeln zwischen je zwei Betrachtern bezüglich Merkmal 1. Wie bei den anderen Einzelmerkmalen auch wurde, wie in Kapitel 3.2 der statistischen Auswertung erklärt, das Maß Gamma zur Beurteilung des Grades für den Zusammenhang herangezogen.

Bei positiven Gamma-Werte stimmen die beiden Betrachter in der Richtung der Beurteilung überein. Dies ist hier insgesamt der Fall. Dennoch ist das Merkmal 1 das schwächste Merkmal der drei subjektiv zu beurteilenden Merkmale mit nur drei

signifikanten Gamma-Werten (Prof./Stud.2, Ass.1/Ass.2, Stud.1/Stud.2). Hieraus läßt sich kein Muster bezüglich des Erfahrungsgrades ablesen, da diese sowohl zwei Assistenten als auch zwei Studenten mit etwa demselben Wissensstand, sowie auch den erfahrenen Kliniker mit einem Studenten betreffen.

Wie Merkmal 1 wurden auch Merkmal 2 „Kieferwinkel“ und Merkmal 3 „Unterrand der Mandibula mit Symphyse“ einzeln bewertet. Große Kieferwinkel stehen oft im Zusammenhang mit dorsalem Kondylenwachstum, während eine sagittale Wachstumsrichtung der Kondylen mit einem kleinen Gonionwinkel einhergeht.

Zu Merkmal 2 liegt in vier zu Merkmal 3 in acht der neun Fälle statistische Signifikanz vor. Es darf als Schlussfolgerung hieraus gezogen werden, dass die Tendenz zur Übereinstimmung von Merkmal 1 zu Merkmal 3 wächst. Bei der Bewertung der Form der Kondylen war die Diskrepanz am größten, obwohl auch hier die Richtung der Bewertung übereinstimmte.

Bei Merkmal 3 handelt es sich um das Bewertungsmerkmal „Unterrand der Mandibula mit der Symphyse“. Ein typisches Zeichen bei den Fällen mit vertikalem Wachstum der Kondylen ist eine dicke Kortikalis im anterioren Bereich des Uk-Randes der Symphyse. Bei distalem Wachstum hingegen ist die Kortikalis unterhalb der Symphyse dünn und im Gegensatz dazu der Unterrand im Bereich des Kieferwinkels verdickt. Dies ist dasjenige der drei Merkmale in der Analyse nach BJÖRK, welches von allen Betrachtern mit der größten Übereinstimmung beurteilt wurde.

Je qualifizierter oder objektiver ein Merkmal ist, desto höher ist der Anteil der signifikanten Übereinstimmungen von zwei Betrachtern. Von Merkmal 1 zu Merkmal 3 nimmt die Anzahl der Signifikanzen deutlich zu. Die Signifikanzen im Merkmal 1 stimmen mit denen in den Merkmalen 2 und 3 überein, das heißt, es handelt sich um dieselben Betrachterpaare, die übereinstimmen. Das bei Merkmal 1 nicht signifikante und bei Merkmal 2 signifikante Betrachterpaar Prof./Stud.1 tritt bei Merkmal 3 als einziges nicht signifikantes Betrachterpaar auf.

Die zusammengefassten Merkmale 1 bis 3, 1 und 6 sowie die Merkmale Rotation und Translation zeigen für alle neun Paare von Betrachtern statistisch signifikante Übereinstimmung. Dies zeigt, dass der Einfluss der einzelnen subjektiven Merkmale sinkt und durch die als konstant angenommenen objektiven Merkmale relativiert wird. Die Signifikanzen wurden zusammenfassend zum Vergleich in Tabelle 7 dargestellt.

Mit den Bewertungen der Kriterien 1 bis 6 der Analyse nach BJÖRK lässt sich eine Aussage über die bevorstehende skelettale Rotationsbewegung des Patienten machen. Die Kriterien 1 und 6 ergeben eine Aussage bezüglich der Translationsbewegung. Die Einteilung der Rotationsvorhersage reicht von ausgeprägt anterior für die Bewertung +18 bis +9 bis ausgeprägt posterior für –7 bis +18. Die Einteilung für die Translation reicht von ausgeprägt sagittal (+6 bis +4) bis ausgeprägt vertikal (-3 bis -6). Anhand dieser Vorhersagen lässt sich auch die ANB-Veränderung vorhersagen, worauf im zweiten Teil der Untersuchung genauer eingegangen wird.

Für die Endaussagen über die Rotation haben beide Betrachter bei den neun Paaren (außer in Tabelle 18, 21 und 22) die Skala jeweils voll ausgeschöpft, so dass quadratische Kontingenztafeln entstehen. Es konnte das Maß Kappa für Agreement gebildet werden (Tabellen 14–17, 19 und 20), in den drei Fällen (Prof./Stud.3, Stud.1/Stud.3, Stud.2/Stud.3), in denen keine quadratischen Kontingenztafeln gebildet werden konnten, diente das Maß Gamma als Maß der Übereinstimmung.

Alle Kappa-Werte sind statistisch signifikant, das heißt die beiden Betrachter stimmen in der Beurteilung überein. Auch die gebildeten Gamma-Werte der Tabellen 18, 21 und 22 sind positiv und signifikant. Wie auch bei den Einzelmerkmalen lässt sich kein Muster bezüglich des Erfahrungsgrades der einzelnen Betrachter erkennen.

Die Auswertung der Kontingenztafeln zum Vergleich der sechs Betrachter ist zusammenfassend in Tabelle 8 dargestellt.

Folglich ist, auch wenn die Betrachter in den einzelnen Merkmalen zum Teil unterschiedlich bewerten, die Tendenz der Aussagen bezüglich der Rotation sehr übereinstimmend.

Für die Endaussagen über die Translation haben beide Betrachter die Skala voll ausgeschöpft, so dass quadratische Kontingenztafeln entstehen, für die das Maß Kappa für Agreement gebildet werden kann (Tabellen 23 - 31).

In allen quadratischen Tabellen 23 – 31 ist Kappa stets signifikant, das heißt es liegt ein statistisch signifikantes Maß an Agreement vor. Somit kann auch die Translation, die aus einem subjektiven und einem objektiven Merkmal vorhergesagt wird, obwohl es sich bei dem subjektiven Merkmal um das mit der geringsten Übereinstimmung handelt, sehr genau vorhergesagt werden.

Durch die Messung des ANB-Winkels des C-Befundes zum Zeitpunkt T3 kann das wirklich eingetretene Wachstum der Patienten gemessen werden. Die allgemeine Wachstumsprognose nach STEINER (ANB-Prognose 1) erwartet eine ANB-Verkleinerung nach der Formel ANB/2+1. Mit den Ergebnissen der Wachstumsanalyse nach BJÖRK lässt sich diese Formel individuell verändern, um eine genauere Prognose zu ermöglichen. Um dies zu überprüfen, wurde die Vorhersage aller sechs Betrachter sowohl mit der ANB-Prognose 1 nach STEINER als auch mit dem Endbefund ANB T3 verglichen.

Der Vergleich der beiden ANB-Prognosen anhand einer Korrelation zeigt eine hohe Übereinstimmung (alle Korrelationskoeffizienten nahe 1 und signifikant). Es liegt also ein positiver Zusammenhang vor. Dies gilt auch für den Vergleich der Prognosen der sechs Betrachter mit der wirklich eingetretenen ANB-Winkelgröße zum Zeitpunkt T3. Zusätzlich ergibt die Varianzanalyse zum Vergleich der Mittelwerte der Differenzen ANB T3 minus ANB-Prognose 2 nach BJÖRK keine signifikanten Unterschiede zwischen den sechs Betrachtern. Dabei unterscheidet sich die ANB-Prognose des erfahrenen Klinikers am wenigsten von der ANB-Prognose 1 nach STEINER.

Der Endbefund zum Zeitpunkt T3 weist eine Spanne von vier bis fünf Jahren nach dem Anfangsbefund auf. Die Patienten sind 14 bis 18 Jahre alt, die Handwurzelaufnahme zeigt ein Ru-Stadium. Hier sollte das heute diskutierte Restwachstum, das nach dem röntgenologisch ermittelten Wachstumsende anfällt, in die Diskussion einbezogen werden. Demnach ist nach dem Zeitpunkt T3 mit einer weiteren Verkleinerung des ANB-Winkels zu rechnen, SCHUDY (1965) [64].

Der Korrelationskoeffizient des Vergleichs der ANB-Prognose 1 und ANB T3 ist am höchsten. Wir können daraus schließen, dass mit dieser Methode der ANB-Winkel zum Zeitpunkt des Endbefundes, also zum Wachstumsende, gut vorhergesagt werden kann. Ein spezieller Vergleich zu den Werten der BJÖRKschen Prognose (ANB-Prognose 2) des erfahrenen Klinikers und ANB-Prognose 1 nach STEINER zeigt, dass erstere klar unter den Werten von STEINER liegen. So steht die Hypothese offen, ob der ANB durch die ANB-Prognose mit der individualisierten Bewertung nach BJÖRK zu einem späteren Zeitpunkt vorhergesagt wird. Diese Hypothese wurde durch die allgemein niedriger liegenden ANB-Prognosen 2 (Prof.) bekräftigt.

Eine zentrale Bedeutung für die posttherapeutisch in Langzeitstudien auffallendenden Veränderungen im Gebiss wäre damit gegeben. Diese Langzeitstudien, z.B. SCHUDY (1965) [64], zeigen vor allem gravierende Veränderungen für die Stellung der unteren Inzisivi durch Retrusion und Engstand im unteren Frontzahnbogen, die als dentale Kompensation der skelettalen, sagittalen und vertikalen Veränderungen auch während des Restwachstums entstehen können.

In diesem Zusammenhang sollte darauf hingewiesen werden, dass in der vorliegenden Analyse nur die mandibuläre Rotation und Translation bewertet und beurteilt wurde. Um eine Aussage über die Gesamtveränderung innerhalb des Viscerokraniums bezüglich Rotation und Translation machen zu können, wie sie für die kieferorthopädische Planung nötig wäre, müssten auch die maxillären Bewegungen berücksichtigt werden.

5.3 Schlussfolgerungen

Als Schlussfolgerung der vorgestellten Untersuchungsergebnisse läßt sich im Sinne einer Beantwortung der eingangs gestellten Fragen folgendes feststellen:

1. Sollte an der Analyse nach BJÖRK etwas verändert werden, so ist das Kriterium 1 der Analyse dasjenige mit der größten Diskrepanz zwischen den Betrachtern.

2. Da die Translation aus zwei Einzelkriterien abgeleitet wird und eines von ihnen, „die Form der Kondylen“, das Merkmal 1 der Analyse ist, ist der Einfluss dieses Merkmals auf die gesamte Wachstumsprognose sehr groß.

3. Die Wachstumsanalyse nach BJÖRK als Gesamtbetrachtung ermöglicht eine Abschätzung des weiteren Verlaufes jener Fälle, in denen eine eindeutige Ausprägung der zu beurteilenden Strukturen des Unterkiefers vorliegt. Der Einfluss der Diskrepanzen in den Einzelkriterien ist in der Gesamtbetrachtung und in der Endaussage der Analyse verschwindend gering.

4. Die ursprüngliche ANB-Prognose 1 nach STEINER liegt bei Individualisierung des Sicherheitsfaktors 1 mit den Ergebnissen der Analyse nach BJÖRK und OEDEGAARD zum Zeitpunkt T3 am Ende der kieferorthopädischen Behandlung nicht näher an der Realität als nach ihrer allgemeinen Formel ANB/2+1.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden vergleichende Untersuchungen zur Wachstumsanalyse nach BJÖRK (1969) [16] von sechs unterschiedlich erfahrenen Betrachtern im Fach Kieferorthopädie vorgenommen. Der Fokus dieser Betrachtung bezieht sich auf den Vergleich dieser Prognose mit dem wirklich eingetretenen Wachstum und den Empfehlungen von STEINER (1953) [72] für die Prognose der sagittalen Relation von Maxilla zu Mandibula dargestellt im ANB-Winkel.

Der erste Teil der Untersuchungen prüft die Merkmale 1 bis 3 (Form der Kondylen, Canalis mandibularis, Unterrand der Mandibula mit Symphyse) der Wachstumsanalyse nach BJÖRK auf die Abhängigkeit vom Erfahrungswert der Betrachter und ihren Einfluss auf die Gesamtanalyse. Der zweite Teil der Arbeit befasst sich mit dem Vergleich der Analysenergebnisse mit den wirklich eingetretenen Veränderungen.

50 Kinder im Alter zwischen 8 und 12 Jahren mit einer ANGLE-Klasse II-Anomalie wurden für diese Studie ausgewählt. Von jedem Patienten liegen Fernröntgenseitenbilder zu zwei Zeitpunkten (Behandlungsbeginn und Behandlungsende) vor. Die kephalometrische Auswertung erfolgte nach Empfehlungen von HASUND und WINGBERG durch eine einzige Person. Die von sechs Betrachtern ermittelte Wachstumsprognose, erstellt nach dem Anfangsbefund, konnte so mit dem tatsächlich erhaltenen Ergebnis nach Abschluss der Behandlung beziehungsweise nach Wachstumsende gegenübergestellt werden.

Die computergestützte Auswertung erfolgt nach der Empfehlung von BECKMANN, WINGBERG und HASUND (1983) [6].

Die ermittelten Werte werden als konstant angesehen. Nach der strukturellen Analyse nach BJÖRK (1969) [16] und OEDEGAARD (1970) [51],[52] wurde von allen sechs Betrachtern an den Fernröntgenseitenbildern zu Behandlungsbeginn die ersten drei Bewertungsmerkmale der Wachstumsanalyse beurteilt. Die Kriterien 4 bis 6 der Analyse werden nach den gemessenen Werten als konstant angesehen und als objektive Merkmale bezeichnet. Somit können die subjektiv bewerteten Kriterien 1 bis 3 von den sechs Betrachtern einzeln bewertet und deren Einfluss auf die Gesamtanalyse untersucht werden.

Ein Vergleich dieser Bewertungen zeigt einerseits, dass die Tendenz zur Übereinstimmung von Merkmal 1 zu Merkmal 3 wächst, und dass die bestehenden Diskrepanzen der Einzelmerkmale in der Zusammenfassung bei der Gesamtanalyse zunehmend an Einfluss verlieren. Obwohl das subjektive Merkmal 1 mit der geringsten Übereinstimmung gemeinsam mit dem objektiven Merkmal 6 die Translation vorhersagt, ist die Tendenz auch hier sehr konvergent. Die Rotationsaussagen, bewertet aus allen Einzelmerkmalen, zeigen dieselbe hohe Übereinstimmung.

Eine Abhängigkeit vom Erfahrungswert der Betrachter konnte weder bei den Einzelmerkmalen noch bei dem Ergebnis der Gesamtanalyse festgestellt werden. Die Diskrepanzen zwischen den Studenten, den Assistenten und dem Professor waren gleichmäßig verteilt und unauffällig. In Merkmal 1 und 2 stimmten die signifikanten Ergebnisse überein, hingegen konnten bei Merkmal 3 keine auffälligen Übereinstimmungen festgestellt werden.

Der erste Teil der Studie zeigt, dass Betrachter mit unterschiedlichen orthopädischen Kenntnissen zu vergleichbaren Ergebnissen bei der Wachstumsanalyse nach BJÖRK und OEDGAARD kommen. Bei den Einzelmerkmalen allerdings gelangen sie nur in einem gewissen Prozentsatz zu gleichen Bewertungen. Da der Einfluss der einzelnen „subjektiven“ Merkmale auf das Gesamtergebnis durch die als konstant angesehenen „objektiven“ Merkmale in der Endaussage sinkt, sind diese Diskrepanzen als wesentlich anzusehen.

Die ANB-Prognose 1 nach STEINER (ANB/2+1), ohne eine Individualisierung des Sicherheitsfaktors 1, gemäß den Ergebnissen der Wachstumsanalyse von BJÖRK und OEDEGAARD, liegt der Realität zum Zeitpunkt T3, also am Ende der kieferorthopädischen Behandlung, am nächsten.

Die nach der Wachstumsprognose von BJÖRK und OEDEGAARD individualisierte Vorhersage durch Varianten des Sicherheitsfaktors 1 liegt durchschnittlich unter der ANB-Prognose 1 nach STEINER, weisen also kleinere Werte auf. Dadurch war der ANB-Winkel zum Zeitpunkt T3 größer als nach BJÖRK und OEDGAARD vorhergesagt. Da man davon ausgehen kann, dass vom Zeitpunkt des Endbefundes T3 eine weitere Verkleinerung des ANB-Winkels stattfindet, könnte diese ANB-Prognose 2 den ANB-Winkel zu einem späteren Zeitpunkt, nach Abschluss des Restwachstums, vorhersagen.

7 Literaturverzeichnis

[1] Agresti A. Categorical Data Analysis, Wiley (1990)

[2] Andresen V. Funktionskieferorthopädie. Die Grundlagen des „Norwegischen Systems“. Hermann Meusser, Leipzig 1936

[3] Ascher F. Der Diagonalwinkel als Richtwert für Diagnose, Prognose und Therapie in der Kieferorthopädie. Fortschr Kieferorthop 37, 52 (1976)

[4] Ascher F. „Kieferorthopädie“-Beitrag im Handlexikon der Zahnärztlichen Praxis, Medica Verlag, München 1973, S.768

[5] Baumrind S. Korn E. Isaacson R. Superimpositional assessment of treatment-associated changes in the temporo-mandibular joint and the mandibular symphysis. Am J Orthod 84, 433 (1983)

[6] Balters W. Die Technik und Übung der allgemeinen und speziellen Bionatortherapie. Die Quintessenz, Heft 5,77,IV. Kieferorthopädie (1964)

[7] Beckmann G. Wingberg J. Hasund A. Computerunterstützte Kephalometrie in der Bergen-Technik. Fortschr Kieferorthop 44, 359 (1983)

[8] Bitsakis J. Die direkte Kephalometrie zur regelmäßigen Kontrolle des Gesichtsschädelwachstums. Med Diss, Frankfurt am Main 1994

[9] Björk A. Variations in the growth pattern of the human mandible: longitudinal radiographic study by the implant method. J Dent Res 42, 400 (1936)

[10] Björk A. The principle of the Andresen method of orthodontic treatment, a discussion based on cephalometric Xray analysis of treated cases. Am J Orthod 37 437 (1951)

[11] Björk A. Variability and age changes in overjet and overbite, Am J Orthod 39, 779 (1953)

[12] Björk A. Cranial base development Am J Orthod 41, 198 (1955)

[13] Björk A. Sutural growth of the upper face, studied by the implant method Trans Europ Orthod Soc1964, 49. Acta odont scand 24, 109 (1966)

[14] Björk A. Prediction of the age of maximum pubertal growth in body height. Angle Orthod 37,134 (1967)

[15] Björk A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. Am J phys Anthrop 29, 243 (1968)

[16] Björk A. Prediction of mandibular growth rotation. Am J Orthod 55, 558 (1969)

[17] Björk A. Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation. Trans Europ Orthod Soc 1972, 61

[18] Björk A. The face in profile. Odontologisk Boghandelsforlag Copenhagen (1974)

[19] Björk A. Weitenwachstum im Oberkieferbereich, untersucht mit Hilfe der Implantatmethode. Informat Orthod KFO 348 (1977)

[20] Björk A. Skieller V. Normal and abnormal growth of the mandible. A synthesis of longitudinal cephalometric implant studies over a period of 25 years. Eur J Orthod 5, 1 (1983)

[21] Broadbent B.H. A new X-ray technique and its application to orthodontia. Angle Orthod 7, 209 (1931)

[22] Broadbent B.H. Bolton standards and technique in orthodontic practice. Angle Orthod 12, 109 (1937)

[23] Brodie A.G. On the growth of the jaws and the eruption of the teeth. Oral Surg 1, 334 (1948)

[24] Brodie A.G. Late growth changes in the human face. Angle Orthod 23, 146 (1953)

[25] Coster L. de Une méthode dánalyse des malformations maxillo-faciales. La Province Dentaire 5, 269 (1931)

[26] Decker J. Untersuchungen zur Genauigkeit der Vorausberechnung der Erwachsenengröße von Kindern und Jugendlichen im Rahmen der kieferorthopädischen Wachstumsanalyse Med Diss Erlangen 1998

[27] Graber T. Problems and limitations of cephalometric analysis in orthodontics. J Amer dent Ass 53, 439 (1956)

[28] Greimel B. Vergleich der Aussagekraft des Diagonalwinkels nach Ascher mit der Analyse von BJÖRK/Odegaard für die zu erwartende Wachstumstendenz. Med Diss, München (1986)

[29] Greulich W. Pyle S. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Stanford University Press, Stanford California 1959

[30] Hasund A. Funktionskjeveortopedi, Universitetsbiblioteket i Bergen, 1969

[31] Hasund A. Klinische Kephalometrie für die Bergen-Technik. Kieferorthopädische Abteilung des Zahnärztlichen Instituts der Universität Bergen, Norwegen (1973, 1976)

[32] Hasund A. Ulstein G. The position of the incisors in relation to the lines NA and NB in different facial types. Am J Orthod 5, 1 (1970)

[33] Hasund A. Boe O. Floating norms as guidance for the positioning of the lower incisors. Am J Orthod 50, 165 (1980)

[34] Hofrath H. Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. Fortschr Orthod 1, 232 (1931)

[35] Janson I. Variationen der neutralen Bißlage. Fortschr Kieferorthop 35, 163 (1974)

[36] Janson I. Zeitpunkt der Bionatorbehandlung in Abhängigkeit vom Wachstum. Fortschr Kieferorthop 38, 435 (1977)

[37] Janson I. Skelettale und dentoalveoläre Änderungen durch die Bionator Behandlung in der vorpubertären und pubertären Wachstumszeit. Fortschr Kieferorthop 39, 62 (1978)

[38] Janson I. Hasund A. Cephalometric guidance for the positioning of the lower incisors Eur J Orthod 3, 237

[39] Janson I. Skelettale und dento-alveoläre Änderungen durch die Bionatorbehandlung in der vorpubertären und pubertären Wachstumszeit. Quintessenz Verlag Berlin 1982

[40] Janson I. Morphologische Beeinflussung durch kieferorthopädische Apparaturen. Zahnärztekalender 156 (1989)

[41] Komposch G. Hockenjos C. Die Reaktionsfähigkeit des temporomandibulären Knorpels. Fortschr Kieferorthop 38, 121 (1977)

[42] Lavergne J. Facial rotations and their influence of the morphogenesis of malocclusion. An implant study. Thesis, University of Bergen, Norway, 1976

[43] Lavergne J. Gasson N. Faziale Rotationen und ihr Einfluß auf die Morphogenese von Malokklusionen. Eine Implantatstudie. Fortschr Kieferorthop 1979

[44] Little RM. Stability and relapse of mandibular anterior alignment: University of Washington studies. Semin Orthod 69, 191 (1999)

[45] Männle M. Aussagekraft der Wachstumsprognosen nach Jarabak und Björk, kontrolliert anhand von 100 behandelten Neutralbißfällen unter besonderer Berücksichtigung des Kieferbasiswinkels. Med Diss, Hamburg (1981)

[46] McNamara J. A method of cephalometric evaluation. Am J Orthod 86, 449, (1984)

[47] Moyers R.E. The concept of pattern in craniofacial growth. Am J Orthod 76, 137 (1979)

[48] Nanda R. S. The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms. Am J Orthod41, 658 (1955)

[49] Nanda R. S. Gosh J. Longitudinal growth changes in the sagittal relationship of maxilla and mandible. Am J Orthod 107, 79 (1995)

[50] Norderval, K. Arch space and cephalometric evaluation of a group of Norvegian adults with ideal occlusion. Thesis, University of Bergen, Norway 1975

[51] Odegaard J. Growth of the mandible studied with the aid of metal limplant, Am J Orthod 57, 145 (1970)

[52] Odegaard J. Mandibular rotation studied with the aid of metallic implants. Am J Orthod 58, 448 (1970)

[53] Odegard J. Der Summenwinkel als Wachstumsindikator des Gesichtsschädels, Zahn, Mund und Kieferheilkunde 76, 583 (1988)

[54] Quarnström K Röntgenkefalometriska studien av forandringar vid funktionskakortopedisk behandling av distalbett. Odontol Revy 5, 118 (1954)

[55] Pancherz H. A cephalometric analysis of skeletal and dental changes contributing to class II correktion in activator treatment. Am J Orthod 85, 125 (1984)

[56] Petrovic A. Stutzmann I. Experimentelle Untersuchungen der kieferorthopädischen Beeinflussung des Gesichtswachstums. Fortschr Kieferorthop 41, 212 (1980)

[57] Rakosi T. Die Fernröntgenanalyse- die Funktionsanalyse. Handbuch, Freiburg 1973

[58] Ricketts R. A foundation for cephalometric communication. Am J Orthod 46, 918 (1952)

[59] Ricketts R. Cephalometric synthesis. Am J Orthod 46, 647 (1960)

[60] Ricketts R. The value of cephalometrics and computerized technology. Angle Orthod 42, 179 (1972)

[61] Sassouni Viken Diagnosis and treatment planning via roentgenographic cephalometry 45, 433 (1959)

[62] Schmid G. Gesichtsschädelaufbau bei anatomisch korrekter Okklusion, eine Fernröntgenologische Untersuchung an 91 Kindern und 45 Erwachsenen Med Diss,Tübingen (1976)

[63] Schmuth G. Kieferorthopädie I, 2. Aufl.Urban & Schwarzenberg 1994

[64] Schudy F. The rotation of the mandible resulting from growth: its implications in orthodontic treatment. Angle Orthod 35, 36 (1965)

[65] Schwarz A. M. Die Auswertung des Fernröntgenbildes. Z Stomat 35, 880 (1937)

[66] Schwarz A. M. Die Röntgenostatik. Urban und Schwarzenberg Verlag, Wien 1958

[67] Segner D. Hasund A. Individualisierte Kephalometrie. HansaDont Hamburg 1991

[68] Simon P. Grundzüge einer systematischen Diagnostik der Gebißanomalien. H. Meusser, Berlin (1922)

[69] Smith, R. Frommer, J. Condylar growth gradients: Possible mechanism for spiral or arcial growth of the mandible Angle Orthod 50, 274 (1980)

[70] Spyridon M. Wachstumsveränderungen bei anatomisch korrekter Okklusion unter besonderer Berücksichtigung des Norderval Winkels. Med Diss Tübingen 1979

[71] Stasch C. Untersuchungen über die Bedeutung der Wachstumsprognosen nach Jarabak und BJÖRK bei anatomisch korrektem Gebiß unter besonderer Berücksichtigung des Kieferbasiswinkels. Med Diss, Hamburg (1981)

[72] Steiner C. Cephalometrics for you and me. Am J Orthod 39, 729 (1953)

[73] Steiner C. Cephalometrics in clinical practice. Angle Orthod 29, 8 (1959)

[74] Steiner C. The use of cephalometrics as an aid to planning and assessing orthodontic treatment. Am J Orthod 47, 721 (1960)

[75] Steinhäuser E. Janson I. Kieferorthopädische Chirurgie, Band I, Quintessenz Bibliothek, 1988

[76] Stöckli P. Ben-Zur E. Zahnmedizin bei Kindern und Jugendlichen. 3. Aufl. Thieme Verlag Stuttgart 1994

[77] Tanner J. Growth and adolescence. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1962

[78] Thames T.L. The accuracy of computerized growth prediction in Class II high angle cases. Am J Orthod 87, 398 (1985)

[79] Tomer B. Harvold E. Primate experiments on mandibular growth direction. Am J Orthod 82, 114 (1982)

[80] Toutenburg H. Siclair P.M. Deskriptive Statistik. Springer Verlag, Heidelberg (2000) Am J Ortod 87,399 (1985)

[81] Tweed C. The Frankfort mandibular incisor angle (FMIA)in orthodontic diagnosis, treatment planning and prognosis. Angle Orthod 24, 121 (1954)

[82] Vahlenkamp R. Untersuchung zur Erfassung des „Wachstumstyps“ in der Kieferorthopädischen Diagnostik. Med Diss, Mainz (1988)

[83] Walker G. A new approach to the analysis of craniofacial morphology and growth. Am J Orthod 61, 221 (1960)

[84] Weisshaar S. Kephalometrische Variablen aus der Sicht zweier Analyseverfahren im Vergleich: Die Ricketts Analyse und die Münchner Analyse. Med Diss, München (1996)

[85] Wingberg J P. Computerunterstützte Kephalometrie nach der Bergen Technik. Med Diss, Hamburg (1984)

[86] Williams, S. Melsen B. The interplay between sagittal and vertical growth factors. An implant studie of activator treatment. Am J Orthod 81, 327 (1982)

[87] Wöhrle M. Wachstum und Entwicklung am Beispiel der Progenie, Med Diss,Tübingen (1992)

8 Anhang

Tab. 14. Vorhersage der Rotation durch Professor und Assistent 1 (Kappa = 0.458, p = 0.000)

RUDROT * BARROT Crosstabulation

Count

		BARROT				
		1	2	3	4	Total
RUDROT	1	3	5			8
	2		20	3	2	25
	3		5	6		11
	4			2	4	6
Total		3	30	11	6	50

Tab. 15. Vorhersage der Rotation durch Professor und Assistent 2 (Kappa = 0.261; p= 0.002)

RUDROT * GAYROT Crosstabulation

Count

		GAYROT				
		1	2	3	4	Total
RUDROT	1	2	6			8
	2		13	8	4	25
	3		2	4	3	9
	4		1		5	6
Total		2	22	12	12	48

Tab. 16. Vorhersage der Rotation durch Professor und Student1 (Kappa = 0.381, p= 0.000)

RUDROT * NANROT Crosstabulation

Count

		NANROT				
		1	2	3	4	Total
RUDROT	1	3	5			8
	2	2	12	6	5	25
	3		1	6	2	9
	4				6	6
Total		5	18	12	13	48

Tab. 17. Vorhersage der Rotation durch Professor und Student 2 (Kappa= 0,.23,

p= 0.000)

RUDROT * LINROT Crosstabulation

Count

		LINROT				
		1	2	3	4	Total
RUDROT	1	4	4			8
	2	2	15	4	4	25
	3		2	6	3	11
	4			1	5	6
Total		6	21	11	12	50

Tab. 18. Vorhersage der Rotation durch Professor und Student 3 (Kappa zu bilden ist nicht möglich. Gamma = 0.815, p = 0.000)

RUDROT * JULROT Crosstabulation

Count

		JULROT					
		1	2	3	4	5	Total
RUDROT	1	3	5				8
	2	4	14	6	1		25
	3		3	6	1		10
	4			3	2	1	6
Total		7	22	15	4	1	49

Tab. 19. Vorhersage der Rotation durch Assistent 1 und Assistent 2 (Kappa = 0.513, p = 0.000)

BARROT * GAYROT Crosstabulation

Count

		GAYROT				
		1	2	3	4	Total
BARROT	1	2	1			3
	2		20	7	1	28
	3		1	5	5	11
	4				6	6
Total		2	22	12	12	48

Tab. 20. Vorhersage der Rotation durch Student 1 und Student 2 (Kappa = 0.590, p = 0.000)

NANROT * LINROT Crosstabulation

Count

		LINROT				
		1	2	3	4	Total
NANROT	1	4	1			5
	2	2	14	1	1	18
	3		5	6	1	12
	4			3	10	13
Total		6	20	10	12	48

Tab. 21. Vorhersage der Rotation durch Student 1 und Student 3 (Kappa zu bilden nicht möglich, Gamma = 0.690, p = 0.000)

NANROT * JULROT Crosstabulation

Count

		JULROT					
		1	2	3	4	5	Total
NANROT	1	3	2				5
	2	2	12	4			18
	3	2	4	5	1		12
	4		3	6	3	1	13
Total		7	21	15	4	1	48

Tab. 22. Vorhersage der Rotation durch Student 2 und Student 3 (Kappa zu bilden nicht möglich, Gamma = 0.725, p = 0.000)

LINRO	1			JULRO			
	2	1 4	2 14	3 3	4	5	Total 21
	3	1	1	6	2		10
	4		3	6	2	1	12
Total		7	22	15	4	1	49

Tab. 23. Vorhersage der Translation durch Professor und Assistent 1 (Kappa = 0.518, p = 0.000)

RUDTR * BARTR Crosstabulation

Count

		BARTR					
		1	2	3	4	5	Total
RUDTR	1	20					20
	2	3	7	3			13
	3	1	4	4	1		10
	4			3	1	2	6
	5					1	1
Total		24	11	10	2	3	50

Tab. 24. Vorhersage der Translation durch Professor und Assistent 2 (Kappa = 0.637, p = 0.000)

RUDTR * GAYTR Crosstabulation

Count

		GAYTR					
		1	2	3	4	5	Total
RUDTR	1	18	2				20
	2	1	9	2	1		13
	3	2	1	7			10
	4			1	3	2	6
	5				1		1
Total		21	12	10	5	2	50

Tab. 25. Vorhersage der Translation durch Professor und Student 1 (Kappa = 0.435, p = 0.000)

RUDTR * NANTR Crosstabulation

Count

		NANTR					
		1	2	3	4	5	Total
RUDTR	1	15	5				20
	2		6	4	2		12
	3	1	2	4	3		10
	4			1	2	2	5
	5					1	1
Total		16	13	9	7	3	48

Tab. 26. Vorhersage der Translation durch Professor und Student 2 (Kappa = 0.485, p = 0.000)

RUDTR * LINTR Crosstabulation

Count

		LINTR					
		1	2	3	4	5	Total
RUDTR	1	13	5	2			20
	2	4	6	2			12
	3			7	3		10
	4		1		3	1	5
	5					1	1
Total		17	12	11	6	2	48

Tab. 27. Vorhersage der Translation durch Professor und Student 3 (Kappa = 0.525 p = 0.000)

RUDTR * JULTR Crosstabulation

Count

		JULTR					
		1	2	3	4	5	Total
RUDTR	1	18		2			20
	2	6	6	1			13
	3	1	2	7			10
	4		3		1	1	5
	5					1	1
Total		25	11	10	1	2	49

Tab. 28. Vorhersage der Translation durch Assistent 1 und Assistent 2 (Kappa = 0.571, p = 0.000)

BARTR * GAYTR Crosstabulation

Count

		GAYTR					
		1	2	3	4	5	Total
BARTR	1	20	4				24
	2		7	4			11
	3	1	1	5	3		10
	4			1	1		2
	5				1	2	3
Total		21	12	10	5	2	50

Tab. 29. Vorhersage der Translation durch Student 1 und Student 2 (Kappa = 0.389, p = 0.000)

NANTR * LINTR Crosstabulation

Count

		LINTR					
		1	2	3	4	5	Total
NANTR	1	11	3	2			16
	2	5	5	3			13
	3	1	3	4	1		9
	4		1	2	4		7
	5				1	2	3
Total		17	12	11	6	2	48

Tab. 30. Vorhersage der Translation durch Student 1 und Student 3 (Kappa = 0.283, p = 0.000)

NANTR * JULTR Crosstabulation

Count

		JULTR					
		1	2	3	4	5	Total
NANTR	1	14		2			16
	2	8	3	2			13
	3	1	4	4			9
	4	1	4	2			7
	5				1	2	3
Total		24	11	10	1	2	48

Tab. 31. Vorhersage der Translation durch Student 2 und Student 3 (Kappa = 0.474, p = 0.000)

LINTR * JULTR Crosstabulation

Count

		JULTR					
		1	2	3	4	5	Total
LINTR	1	16		1			17
	2	5	6	1			12
	3	3	3	5			11
	4		2	3	1		6
	5					2	2
Total		24	11	10	1	2	48

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Frau Professor Dr. Ingrid Rudzki-Janson, Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie der Ludwig-Maximilians-Universität München, für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie für die freundliche Unterstützung und die gute Zusammenarbeit während der Erstellung dieser Arbeit herzlichst danken.

Ebenso danke ich Frau Dr. Storr für die Betreuung dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr. Helge Toutenburg gilt mein Dank für die Betreuung und Unterstützung hinsichtlich der statistischen Auswertungen.

Besonders möchte ich auch jenen danken, die mir mit ihrem Computerfachwissen bei dieser Arbeit zur Seite standen.

Ganz besonders danke ich meinen lieben Eltern, die mich immer gefördert und unterstützt haben und ohne deren Hilfe diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Ihnen widme ich diese Arbeit von ganzem Herzen.

Lebenslauf

Name:	Caroline Susanne Aldinger
Geburtsdatum:	15.04.74
Geburtsort:	Stuttgart
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Eltern:	Prof. Dr. Günther Aldinger, Orthopäde, Unfallchirurg Rosemarie Aldinger, Hausfrau
Schulbildung:	1980-1984 Grundschule Tübingen
	1984-1993 Uhland-Gymnasium Tübingen
	1993 Allgemeine Hochschulreife
Beruflicher Werdegang:	1994-1995 Studium der Zahnheilkunde an der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen
	1995-2000 Studium der Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München
	2000-2002 Assistenzzahnärztin in freier Praxis in München (Dr. G. Bendel)
	seit 2001 Weiterbildungsassistentin an der Poliklinik für Kieferorthopädie der LMU München