

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
1.1 Summary	6
2. Einleitung	8
2.1 Einführung in die Thematik und Fragestellung	8
2.2 Verbindungen zwischen Kiefergelenk und Wirbelsäule	11
2.2.1 Muskuläre Zusammenhänge	11
2.2.2 Neuroanatomische Zusammenhänge	15
2.3 Das Fernröntgenseitenbild	16
3. Patienten und Methoden	18
3.1 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien	18
3.2 Röntgenaufnahmen	19
3.3 erhobene Parameter	19
3.3.1 Messpunkte der Kephalometrie und HWS	20
3.3.1.1 Kephalometrische Messpunkte	20
3.3.1.2 Messpunkte der HWS	20
3.3.2 Bezugslinien der Kephalometrie und HWS	21
3.3.2.1 Kephalometrische Bezugslinien	21
3.3.2.2 Bezugslinien der HWS	22
3.3.3 Strecken der HWS	23
3.3.4 Winkel der Kephalometrie und HWS	24
3.3.4.1 Kephalometrische Winkel	24
3.3.4.2 Winkel der HWS	26
3.4 Datenvollständigkeit	28
3.5 Statistische Methoden und grafische Darstellung	28
3.6 Literaturrecherche	29
4. Ergebnisse	30
4.1 Patientencharakteristika	30
4.1.1 Gruppeneinteilung	30
4.1.2 Alter	31
4.1.3 Geschlecht	31
4.1.4 Beobachtungszeitraum	32
4.2 Vergleich der Parameter zwischen ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im zeitlichen Therapierahmen	33
4.2.1 Gesichtsschädelparameter	33
4.2.1.1 kephalometrische Winkel	33
4.2.1.1.1 SNA	33
4.2.1.1.2 SNB	35
4.2.1.1.3 ANB	36
4.2.1.1.4 Summenwinkel nach Björk	37
4.2.1.1.5 Basiswinkel	39

4.2.2 HWS-Parameter	40
4.2.2.1 Strecken.....	40
4.2.2.1.1 Odontoid Process Tangent (OPT) Distance.....	40
4.2.2.1.2 Cervical Tangent (CVT) Distance	42
4.2.2.1.3 Atlastranversale (AT) Distanz	43
4.2.2.2 Winkel.....	44
4.2.2.2.1 AT-OPT	44
4.2.2.2.2 CVT-FH.....	46
4.2.2.2.3 OPT-FH.....	47
4.2.2.2.4 AT-FH	48
5. Diskussion	50
5.1 Patientencharakteristika	50
5.2 Gesichtsschädelparameter	51
5.2.1 Sagitale Analyse.....	51
5.2.2 Vertikale Messungen	52
5.2.3 Wachstumsmuster- Summenwinkel nach Björk.....	53
5.2.4 Zusammenfassung der Gesichtsschädelergebnisse	54
5.3 HWS Parameter	55
5.3.1 Strecken.....	55
5.3.2 Winkel	58
5.3.3 Zusammenfassung der HWS Ergebnisse.....	60
5.4 Schlussfolgerung.....	60
6. Literaturverzeichnis	62
7. Danksagung	68
8. Lebenslauf.....	69

Abkürzungsverzeichnis

A	A-Punkt
AA	Am weitesten anterior gelegener Punkt des Atlas
ANS	Spina nasalis anterior
AP	Am weitesten posterior gelegener Punkt des Atlas
Ar	Artikuläre
AT	Atlastranversale
B	B-Punkt
BWS	Brustwirbelsäule
C1	Erster Halswirbel-Atlas
C2	Zweiter Halswirbel-Axis
C3	Dritter Halswirbel
C4	Vierter Halswirbel
CCK	Craniocervikaler Komplex
CMD	Craniomandibuläre Dysfunktion
CVT	Cervical Tangent
FH	Frankfurter Horizontale
FRS	Fernröntgenseitenbild
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
M.	Musculus
Me	Menton
ML	Mandibularlinie
Mm.	Musculi
N.	Nervus
N.	Nasion
NSL	Schädelbasislinie
O	Orbitale
OPT	Odontoid Process Tangent
P	Porion
pC2	Am weitesten posterior und kaudal gelegener Punkt des zweiten Halswirbelkörpers
pC4	Am weitesten posterior und kaudal gelegener Punkt des vierten Halswirbelkörpers
PE	Palatinalebene
PNS	Spina nasalis posterior
R.	Ramus
RL	Ramuslinie
Rr.	Rami
S	Sella
SD	Standardabweichung
spC2	Am weitesten superior und posterior gelegener Punkt des zweiten Halswirbelkörpers
T1	Erster Untersuchungszeitpunkt
Tp1	Ramustangentenpunkt
T2	Zweiter Untersuchungszeitpunkt
Tp2	Corpustangentenpunkt
TMG	Temporomandibular-Gelenk
vs.	Versus

1. Zusammenfassung

In den letzten Jahren hat in Deutschland die unzureichend definierte Thematik „Craniomandibuläre Dysfunktion“ bei Kindern und Erwachsenen stark an Beachtung gewonnen. Ungefähr 8% der deutschen Bevölkerung zeigen Symptome aus diesem Beschwerdenformenkreis, wobei die Befundkriterien momentan nicht standardisiert sind. Eines der Hauptsymptome ist die Dysfunktion in den Kopfgelenken, der Halswirbelsäule und der funktionell beteiligten Muskulatur. Als Auslöser werden u.a. Veränderungen und Störungen der Okklusion diskutiert. Der an dieser Stelle ansetzende Einfluss der Kieferorthopädie erscheint wenig untersucht, wirkt unklar und wird kontrovers diskutiert. Insbesondere die Frage, ob es verschiedene Lebensabschnitte gibt, in denen sich eine kieferorthopädische Behandlung besonders auf die Stellung und Anatomie der Halswirbelsäule auswirkt, ist bisher unzureichend analysiert worden. In der vorliegenden retrospektiven Analyse wurden an Hand von Röntgenbildern einer kieferorthopädischen Praxis morphologische Veränderungen und daraus resultierend Stellungsänderungen der oberen Anteile der Halswirbelsäule und der Kopfgelenke unter dem Einfluss der Verwendung von festsitzenden Apparaturen während kieferorthopädischen Behandlungen überprüft.

Es wurden insgesamt 49 Probanden in eine Erwachsenenengruppe (n=22; $24,6 \pm 14,7$ Jahre) und in eine Jugendlichengruppe (n=27; $12,7 \pm 1,8$ Jahre) mit ausgeglichener Alters- und Geschlechtsverteilung eingeteilt. Alle Personen konnten zu Behandlungsbeginn kephalometrisch dem orthognathen Gesichtstyp mit einer skelettalen Klasse II zugeordnet werden. Zur Analyse der Veränderungen wurde ein erstes Fernröntgenseitenbild im Rahmen des Anfangsbefundes und ein zweites Bild nach Abschluss der Behandlung unter standardisierten Bedingungen angefertigt und zu beiden Zeitpunkten definierte Strecken und Winkel des Gesichtschädels und der HWS ermittelt und verglichen. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich im Mittel über $14,3 \pm 5,2$ Monate.

Bei den Erwachsenen kam es im untersuchten zeitlichen Verlauf zu einer statistisch signifikanten Veränderung der vertikalen Kieferrelation durch eine Vergrößerung der Divergenz der Kieferbasen (Basiswinkel: $22,0 \pm 5,2$ Grad vs. $23,8 \pm 5,9$ Grad; $p=0,02$).

Auch zeigte sich eine statistisch signifikante Verlängerung der Cervical Tangent Distance von $68,5\pm 6,1$ mm auf $69,9\pm 6,0$ mm ($p=0,03$).

In der Jugendlichengruppe nahm die sagittale Kieferrelation (ANB-Winkel: $4,9\pm 2,4$ Grad vs. $5,6\pm 2,0$ Grad; $p=0,028$) und die Cervical Tangent Distance ($61,2\pm 5,7$ mm vs. $64,4\pm 6,1$ mm; $p=0,001$) statistisch signifikant zu. Zusätzlich zeigte sich eine Winkelverkleinerung zwischen Cervical Tangent und der Frankfurter Horizontalen von $87,3\pm 8,2$ Grad auf $85,1\pm 7,5$ Grad mit einem statistischen Trend ($p=0,07$).

Im Gesamtkollektiv kam es somit zu einer statistisch signifikanten Entlordosierung in den oberen Abschnitten der Halswirbelsäule. Die in der Literatur beschriebene kombinierte Reklinationstendenz in den oberen Kopfgelenken fand sich ebenfalls in der vorliegenden Arbeit wieder, wobei diese Extension bei Kindern deutlicher als bei Erwachsenen aufgezeigt wurde.

Kieferorthopädische Behandlungen ziehen in der vorliegenden Untersuchung Stellungsänderungen in der Halswirbelsäule und den Kopfgelenken bei Kindern und Erwachsenen nach sich, die im untersuchten Kollektiv aber als gering einzustufen sind. Die ausgeprägteren Winkel- und Streckenänderungen der Jugendlichen stehen in enger Verbindung mit dem physiologischen Wachstum dieser Altersgruppe. Insgesamt ergibt sich kein Anhalt dafür, dass sich die Kieferorthopädie bei dental kompensierbaren Malokklusionen weder bei Kindern noch bei Erwachsenen klinisch relevant auf die Stellung und die Anatomie der Halswirbelsäule und des oberen Kopfgelenkes auswirkt. Folglich können kieferorthopädische Behandlungen unabhängig vom Alter der Patienten nicht als obligater Auslöser für Symptome des „Craniomandibuläre Dysfunktion“-Formenkreises, die in Beziehung zu der Stellung der oberen Anteile der Halswirbelsäule und der Kopfgelenke stehen, bezeichnet werden.

1.1 Summary

In recent years, the inadequately defined subject of "craniomandibular dysfunction" in children and adults has gained significant attention in Germany. Approximately 8% of the German population demonstrates symptoms of this spectrum of disorders for which the diagnostic criteria are not currently standardized.

One of the main symptoms is dysfunction in the atlanto-occipital and atlanto-axial joints, the cervical spine, and the functionally involved musculature. Occlusal changes and disorders, among others, have been mentioned as triggers. It appears that the influence of orthodontics in this case has not been well investigated, has an unclear impact, and is the subject of controversy. In particular, the question of whether there are different stages in life in which orthodontic treatment has a particular effect on the position and anatomy of the cervical spine has been inadequately analyzed to date.

In the present retrospective analysis, morphological changes and the resultant changes in the position of the upper portions of the cervical spine and the atlanto-occipital and atlanto-axial joints as influenced by the use of fixed hardware during orthodontic treatments were examined using X-ray images from an orthodontic practice.

A total of 49 study subjects were divided into an adult group ($n=22$; 24.6 ± 14.7 years) and an adolescent group ($n=27$; 12.7 ± 1.8 years) with an equal age and sex distribution. All persons were able to be cephalometrically classified at the start of treatment as having an orthognathic facial type of skeletal class II. To analyze the changes, an initial lateral X-ray within the scope of the initial findings and a second image after completion of the treatment were taken under standardized conditions and at both points in time, defined segments and angles of the viscerocranium and the cervical spine were determined and compared. On average, the examination time period extended over 14.3 ± 5.2 months.

In the adults, there was a statistically significant change over the time period investigated in the vertical jaw relation through an enlargement of the divergence of the bases of the jaw (base angle: 22.0 ± 5.2 degrees vs. 23.8 ± 5.9 degrees; $p=0.02$). There

was also a statistically significant elongation in the cervical tangent distance from 68.5 ± 6.1 mm to 69.9 ± 6.0 mm ($p=0.03$).

In the adolescent group, the sagittal jaw relation (ANB angle: 4.9 ± 2.4 degrees vs. 5.6 ± 2.0 degrees; $p=0.028$) and the cervical tangent distance (61.2 ± 5.7 mm vs. 64.4 ± 6.1 mm; $p=0.001$) increased in a statistically significant manner. In addition, there was an angle reduction between the cervical tangent and the Frankfort horizontal from 87.3 ± 8.2 degrees to 85.1 ± 7.5 degrees with a statistical trend ($p=0.07$).

In the entire collective, there was therefore a statistically significant delordosing in the upper sections of the cervical spine. The combined reclination tendency in the atlanto-occipital joints described in the literature was likewise found in the present work; this extension was demonstrated to be greater in the case of children and in adults.

In the present investigation, orthodontic treatments involve changes in the position of the cervical spine and the atlanto-occipital and atlanto-axial joints in children and adults; however these are to be classified as minor in the collective examined. The more pronounced angle and segment changes in adolescents are strongly associated with the physiological growth of this age group.

Overall, there is no indication that orthodontics have a clinically relevant effect on the position and anatomy of the cervical spine and the atlanto-occipital joint in the case of malocclusions in either children or adults which can be dentally compensated.

Accordingly, orthodontic treatments, independent of the age of the patient, cannot be identified as the corresponding trigger of symptoms of the “craniomandibular dysfunction” spectrum of disorders which are correlated to the position of the upper sections of the cervical spine and the atlanto-occipital and atlanto-axial joints.

2. Einleitung

2.1 Einführung in die Thematik und Fragestellung

In Deutschland häuft sich seit einigen Jahren die Thematik um Kiefergelenkgeräusche, Schmerzen in der Kaumuskulatur und im Kiefergelenk. Dieser Komplex aus Symptomen und Schmerzen im Kiefergelenksbereich, der unter dem Namen „craniomandibulären Dysfunktion“ (CMD) zusammengefasst wird, nimmt einen immer größeren Raum im klinischen Alltag von Zahnärztinnen und Zahnärzten ein. Dadurch macht sich eine deutliche Zunahme zu diesem Thema in der zahnärztlichen Fachliteratur bemerkbar³⁷, jedoch wird die Bezeichnung CMD als weitläufiger Begriff verwendet, der in vielen Publikationen unzureichend definiert ist⁸.

In jüngster Zeit wurde mehrfach der Verdacht geäußert, dass es sich bei der CMD um ein Beschwerdebild mit multifaktoriellem Charakter handeln könnte^{55, 79}. Störungen der Okklusion, sowohl morphologischer als funktioneller Art, Bruxismus, craniofaciale Traumata mit Beteiligung der Kiefer und Kiefergelenke und psychosozialer Stress werden als auslösende Komponenten diskutiert³¹. Kernsymptome manifestieren sich aber nicht nur im Bereich des Kiefergelenks, sondern zeigen sich auch als muskuloskelettale Dysfunktionen mit der Folge von Kopf- und Nackenschmerzen¹², wobei die ätiologische Rolle der Okklusion nicht ausgeschlossen werden kann⁸. Untersuchungen zeigten, dass künstlich veränderte Bissverhältnisse an gesunden Probanden Auswirkungen auf das craniocervikale System hatten. Es traten nicht nur Probleme in der Kiefergelenksregion, sondern auch in Nacken- und weiterlaufenden Wirbelsäulenbereichen auf²⁰.

Heutzutage sind kieferorthopädische Behandlungen nicht mehr nur den Heranwachsenden vorbehalten. Für Erwachsene ist die dominierende Behandlungsmotivation das gestiegene ästhetische Bewusstsein und die Erwartung der Gesellschaft an ein makellostes dentales Erscheinungsbild²². In der folgenden Arbeit soll dem möglichen CMD-Auslöser Okklusion nachgegangen werden und welchen Einfluss kieferorthopädische Veränderungen der Kieferrelation auf die Statik der Halswirbelsäule zeigen. Beispielsweise spricht Lippold bei einer vergleichenden Untersuchung zwischen Rumpfstatik und Gesichtschädelparametern der Stellung der Mandibula einen großen

beeinflussenden Effekt auf den Habitus zu⁴⁴. Deshalb wird in den folgenden Zusammenhängen das Schlagwort CMD als Synonym für einen Beschwerdekomples aus Kiefergelenks-, Kopfschmerzen und Nacken- bzw. HWS- Problemen verwendet.

Bereits 1934 erwähnte Costen Beschwerden im Nacken und HWS- Bereich, die scheinbar im Zusammenhang mit unzureichenden prothetischen Arbeiten der Zahnheilkunde standen¹¹. Schon seit den 60er Jahren werden Zusammenhänge zwischen Gebissanomalien und daraus entstehenden Veränderungen der Halswirbelsäule diskutiert¹⁰. 1961 beschrieb Müller-Wachendorf auffällige Zusammenhänge zwischen Gebissanomalien und Skoliosen im Kindesalter⁵². Da das Kindes- und Jugendalter in der Ätiologie von orofacialen Problemen eine große Rolle zu spielen scheint²⁸, ist es auch ein Ziel der Arbeit, einen Beitrag zur Erkennung von iatrogen ausgelösten Veränderungen zu leisten und den damit möglicherweise verbunden statischen Veränderungen der HWS entgegen zu wirken.

Wirbelkörper können in der Entwicklung auf Stellungsänderungen und den daraus resultierenden Druckspitzen mit Formveränderungen reagieren⁶⁶, wie es aus der Keilwirbelbildung in der BWS bei Morbus Scheuermann bekannt ist. Nicht umsonst wird das Synonym Adoleszenzkyphose verwendet. Durch diese engen funktionellen und anatomischen Zusammenhänge wird eine Kooperation zwischen Orthopäden und Kieferorthopäden gewünscht⁴⁰.

Die CMD führt nicht nur zu starken Beschwerden mit Funktionseinschränkungen, sondern auch zu deutlichen Einschränkungen der Lebensqualität⁴². Von psychologischen Beeinträchtigungen wie Somatisierung und Angst bis hin zu depressiven Episoden sind auch Rückläufigkeiten von sozialen Kontakten, Produktivität und allgemeinen Aktivitäten zu beobachten³⁴. John untersuchte mit einem einheitlichen Studiendesign die Häufigkeit von Funktionsstörungen des Kausystems in Deutschland³⁴. Bei Erhebung der Anamnese traten bei 25% der Kinder und Jugendlichen, bei 33% der Erwachsenen und bei 16% der Senioren klinische Symptome auf. Abgesehen vom Leidensdruck der betroffenen Personen und der damit steigenden medizinischen Bedeutung dieses Krankheitsbildes, sind die Ausgaben für diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen bezüglich dieses Beschwerdekomples für das Sozialsystem in Deutschland erheblich. Hirsch und John schätzen

die jährlichen Gesamtausgaben im zahnärztlichen Behandlungsspektrum auf ca. 200 bis 300 Millionen Euro²⁹.

Diese umfassende Datenlage verdeutlicht, dass einer konsequenten Früherkennung ein großer Stellenwert eingeräumt werden sollte. Egermark und Thilander zeigen in ihrer Untersuchung, dass Kinder mit Malokklusionen nach abgeschlossener kieferorthopädischer Behandlung weniger Symptome aus dem CMD Formenkreis zeigten als unbehandelte Probanden¹⁸. Da die moderne Kieferorthopädie in fast allen Lebensabschnitten reproduzierbar und berechenbar in Okklusionsverhältnisse eingreifen kann⁴⁶, sollten zum einen Kinder bei längeren kieferorthopädischen Behandlungen auf cervikale Dysfunktionen untersucht und kontrolliert werden⁴⁹, aber auch Erwachsene bei kieferorthopädischen Behandlungen manualtherapeutisch unterstützt werden, um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen. Der Körper wird als komplexes System bei der Gewöhnung an andere Okklusionsverhältnisse und den damit einhergehenden statischen Veränderungen der HWS unterstützt⁹.

Da nicht nur die Kieferorthopädie, sondern auch die zahnärztliche Prothetik und die konservierende Zahnheilkunde Einfluss auf okklusale Verhältnisse haben, sind Zusammenhänge kinematischer Ketten für alle Fakultäten relevant. Abschließend soll noch einmal betont werden, dass die Häufigkeit der CMD-Symptome mit ihren Problematiken im zahnärztlichen Alltag immer mehr Platz einnimmt³⁷ und deshalb präventiv in allen Altersgruppen eine Provokation von möglichen auslösenden Faktoren vermieden werden sollte. In der vorliegenden Untersuchung wurde insbesondere auf folgende Fragestellungen eingegangen:

- Welchen Einfluss hat die Kieferorthopädie auf kephalometrische Parameter und wie ändern sich folglich die damit zusammenhängenden ausgewählten Parameter der HWS?
- Gibt es Unterschiede zwischen Heranwachsenden und Ausgewachsenen?
- Ergeben sich für Kinder und Erwachsene Hinweise, dass kieferorthopädische Behandlungen eine Problematik im craniocervicalen-Komplex auslösen können?

2.2 Verbindungen zwischen Kiefergelenk und Wirbelsäule

2.2.1 Muskuläre Zusammenhänge

Die im Folgenden erläuterten muskulären strukturellen Zusammenhänge sollen dem Verständnis einer geschlossenen kinematischen Kette dienen. Bei morphologischen Änderungen, Störungen oder Fehlfunktionen eines einzelnen Elementes kann dies Auswirkungen auf die gesamte Kiefersystem-HWS-Kette⁶⁷ zur Folge haben, die folgend als cranio-cervicaler Komplex (CCK) bezeichnet wird. Dieser CCK besteht aus dem Kiefergelenk mit den knöchernen Partnern Mandibula und Os temporale, der Halswirbelsäule mit Ligamenten und Disci intervertebrales, Os hyoideum und dem Schultergürtel insbesondere mit Clavicula, Sternum und oberem Scapula- Rand. Um funktionelle Beziehungen zu verdeutlichen, betrachtet man die wichtigsten muskulären Verbindungen der Glieder des CCK von cranial nach caudal und von ventral nach dorsal, da sie die einzelnen knöchernen Strukturen wie in Abb. 1 gezeigt, miteinander verbinden.

Zahlreiche Studien^{71, 78, 81} belegen, dass Änderungen in der Gesichtsschädelmorphologie Einfluss auf die Stellung der HWS haben. Diesbezüglich berichteten auch Gale et al. von Änderungen im Krümmungsverhalten der HWS nach monognathen Umstellungsosteotomien der Mandibula²³. Neuhuber bemerkt hierzu, dass iatrogene Veränderungen der Okklusion durchaus einen Beitrag zur Problementstehung in der Region der HWS und des Nackens mit der dort inserierenden Muskulatur leisten können⁵⁴.

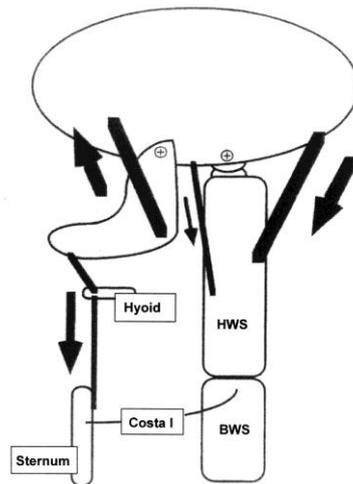


Abb. 1: Kinematische Kette Kiefersystem- HWS⁶⁷

Schupp bezeichnet das Kiefergelenk als „oberstes Kopfgelenk“⁶⁸. Das Temporomandibulargelenk (TMG) unterscheidet sich von anderen menschlichen Gelenken insofern, dass das Ende des Bewegungsumfanges nicht muskulär, sondern durch Okklusion und dentoalveoläre Zusammenhängen bestimmt wird³⁹. Für Bewegungen des Unterkiefers sind die eigentlichen Kaumuskeln M. masseter, M. temporalis, M. pterygoideus medialis und M. pterygoideus lateralis und der suprahyoidale Anteil der Zungenbeinmuskulatur mit M. stylohyoideus, M. digastricus, M. mylohyoideus und M. geniohyoideus verantwortlich. Dieser obere Anteil fungiert als akzessorische Kaumuskulatur bei der Mundöffnung, wenn das Os hyoideum durch die untere Zungenbeinmuskulatur, M. sternohyoideus, M. sternothyroideus, M. thyrohyoideus und M. omohyoideus in seiner Lage stabilisiert und als *punctum fixum* dient⁴³.

Das Os hyoideum selbst ist ein 2-3 cm großer, U-förmiger Knochen, der im Bereich des Mundbodens unterhalb der Zunge liegt. Als einziger Knochen des Menschen ist er nicht mit dem restlichen Skelett verbunden und wird durch beide Anteile der Zungenbeinmuskulatur im Schädelbasisbereich fixiert. Die Unterseite des Zungenbeins dient als Aufhängung für Larynx und Trachea. Somit wird die Atmung, der Schluckakt und die Sprachfunktion bewegungsoptimierend unterstützt⁶⁰.

In ihrer Gesamtheit werden beide Anteile der hyoidalen Muskulatur zu den Muskeln des Halses und des Kopfes gerechnet und können bei Co-Aktivierung die Neigung des Kopfes nach vorne unterstützen.

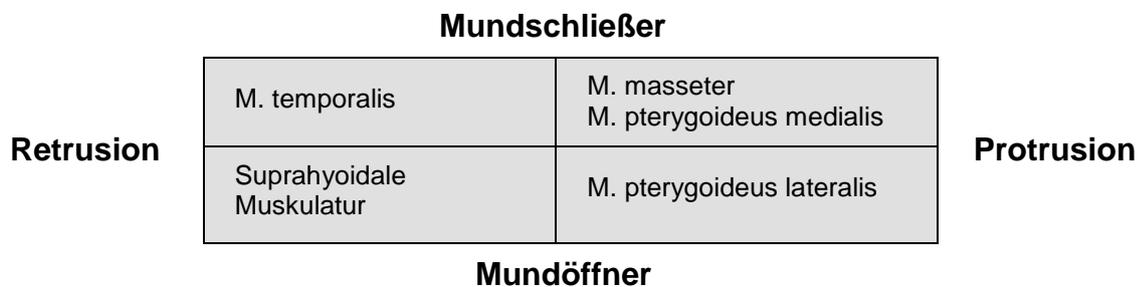


Abb. 2: Kaumuskulatur und Unterkieferbewegungen⁴³

Der Hals spielt in seiner Gesamtheit eine Vermittlerrolle zwischen Kopf und Rumpf. Da die meisten Bewegungen kombinierte Bewegungen um mehrere Achsen sind, werden durch Kontraktionen der am Kopf ansetzenden Muskeln Bewegungen der gesamten Halswirbelsäule und der Kopfgelenke ermöglicht¹. Die große Anzahl der bewegungsbestimmenden Muskeln nimmt ihren Ursprung in unterschiedlichen Körperregionen. Durch dieses funktionelle Zusammenspiel von Kraftentwicklung und -übertragung entstehen Kräfte innerhalb dieser Körperpartien. Sicher und Du Brul heben hervor, dass eine Stabilisierung in den Kopfgelenken durch kompensatorische Anspannung in der Nackenmuskulatur nötig ist, wenn Bewegungen im Kiefergelenk bei statischer Kopfhaltung erfolgen sollen. Ist das Ziel eine Reklination des Kopfes bei geschlossenem Mund, muss die Kaumuskulatur zeitgleich zur Fixation aktiviert werden⁶⁷.

Die Nackenmuskulatur kann unterschieden werden in die suboccipitalen Muskelgruppen mit ihrer isolierten Wirkung auf die Kopfgelenke, als Mm. nuchae profundae und M. rectus capitis lateralis und in die allgemeinen Muskeln der Halswirbelsäule, die aus unterschiedlichen Systemen stammen³⁸.

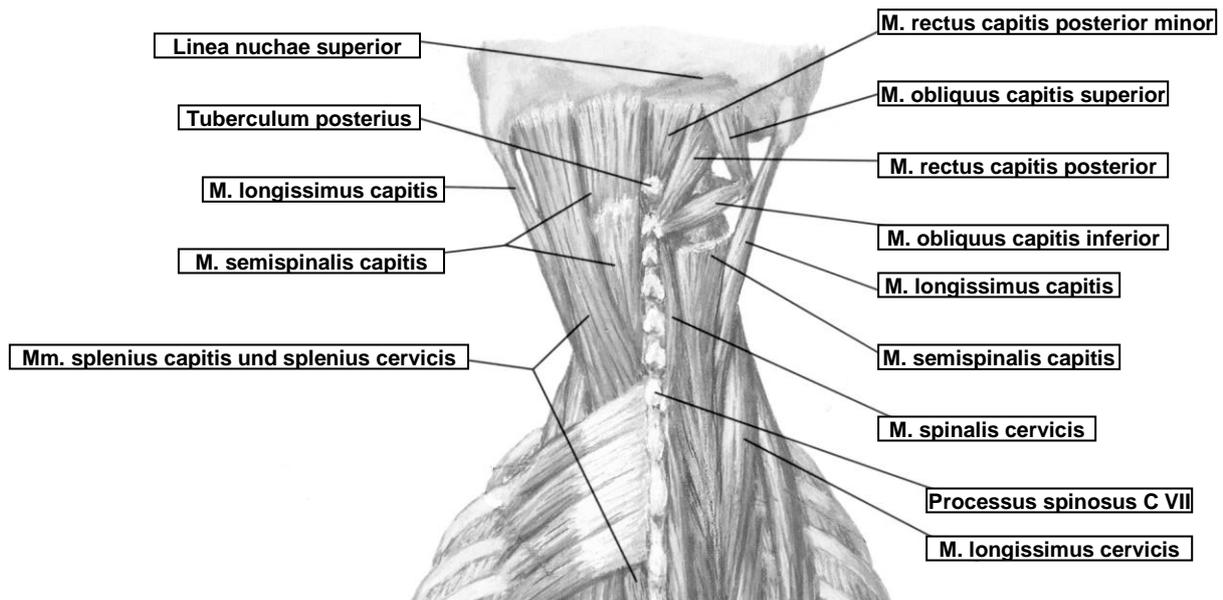


Abb. 3: Rückenmuskulatur: Mittlere Schicht⁵³

Einen entscheidenden Anteil an Kopfbewegungen haben die Rückenmuskeln M. semispinalis capitis, M. splenius capitis, M. longissimus capitis, M. rectus capitis lateralis und die kurzen Nackenmuskeln M. rectus capitis posterior major, M. rectus capitis posterior minor, M. obliquus capitis inferior und dem M. obliquus capitis superior. Sie alle haben die Funktion, den Kopf nach dorsal zu neigen und je nach Zugrichtung entweder zur gleichen oder zu entgegengesetzten Seite zu rotieren bzw. zu flektieren.

Prävertebral befindet sich die gleichnamige Gruppe bestehend aus M. longus colli, M. longus capitis und M. rectus capitis anterior. Sie unterstützt die Seitwärtsneigung des Kopfes und beteiligt sich an der Ventralflexion des Kopfes. Die Skalenusgruppe besteht aus dem M. scalenus anterior, medius und posterior. Sie dient dazu, die Halswirbelsäule zur gleichen Seite zu neigen. Ebenfalls wird der M. sternocleidomastoideus und zu den Muskeln des Halses und des Kopfes gezählt. Erstgenannter neigt den Kopf bei einseitiger Aktivierung zur gleichen Seite und dreht ihn zur Gegenseite. Bei beidseitiger Kontraktion kippt der Kopf nach hinten⁵⁹. Abschließend beteiligen sich im Schultergürtelbereich als Anteile der Schultergürtelmuskulatur sich bei fixierter Scapula der M. trapezius mit seinem pars descendens an einer Extension und Lateralflexion der Halswirbelsäule. Auch der M. levator scapulae

extendiert bei festgestelltem Schultergürtel die Halswirbelsäule und kann sie seitwärts neigen.

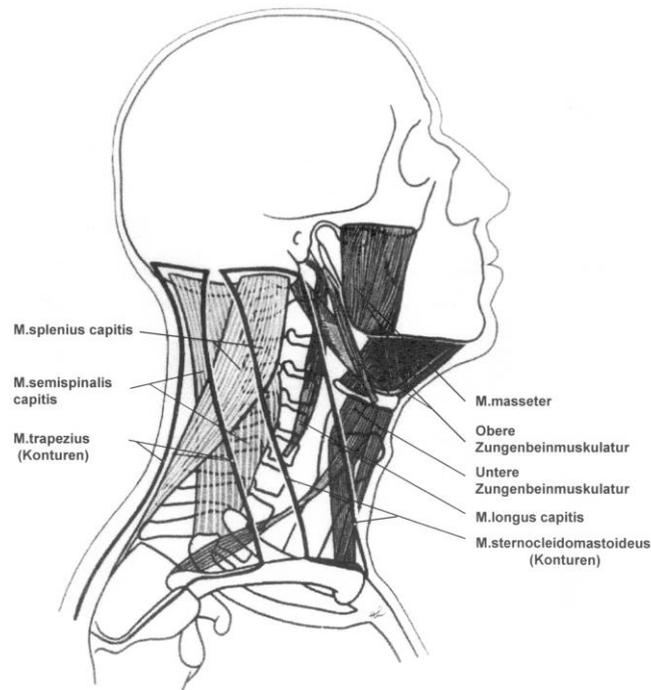


Abb. 4: Schemazeichnung der Halsmuskulatur⁸⁰

2.2.2 Neuroanatomische Zusammenhänge

Die folgende Neuroanatomie soll aufzeigen, warum der CCK muskulär in besonderer Art und Weise auf Positionsveränderungen des TMG reagiert. Nach dem Stand der heutigen Forschung erfolgt die Verknüpfung der einzelnen Elemente des stomathognathen Systems mit dem CCK über einen kybernetischen Regelkreis²⁵. Neuhuber weist hier speziell auf die cervico-trigemurale Konvergenz hin⁵⁴. Die Hauptkaumuskulatur, das Kiefergelenk und die Dura mater cranialis werden vom N. mandibularis, dem Unterkieferast des N. Trigemini innerviert. Die oberflächlichen und tiefen somatischen Afferenzen des fünften Hirnnervs laufen einerseits zu ihren eigenen mesenzephalen Abschnitten, aber auch zu spinalen Kernen in der Medulla oblongata, wo sie sich nach kaudal bis auf die Ebene C2 des Rückenmarkes erstrecken⁸². In den dorsalen medullären Abschnitten dieser Rückenmarkshöhe kommt es zu einer Verzahnung der Trigeminafferenzen mit den Rr. cutanei der Cervicalregion C2 und

C3, die sensible Informationen aus dem Bereich des seitlichen Ohrs, der Ohrmuschel und dem seitlichen Teil des Hinterkopfes enthalten. Gleichzeitig kommt es zu einer Verknüpfung der tiefen somatischen Afferenzen auf Höhe von C1 bis C3, die unter anderem die Afferenzen der Muskelspindeln der Kopfgelenksmuskulatur und der Dura enthalten⁶³.

Somit erfolgt eine komplette Verschaltung der Afferenzen aus dem Gebiet des N. trigeminus mit den oberflächlichen und tiefen Afferenzen aus der Cervikalregion⁷⁰. Diese Informationskonvergenz hat reflektorischen Einfluss auf den motorischen Trigeminskern und das motorische Vorderhorn des Rückenmarks speziell im Rückenmarksegment von C1 bis C3. Da in diesen Segmenten Teile der oben genannten Muskulatur des CCK teilweise ihren motorischen Ursprung haben, kann es zu einer reaktiven Beeinflussung der ganzen bereits beschriebenen Funktionskette kommen. Auch konnten neuroanatomische Verbindungen der tiefen somatischen Afferenzen der oberen Halswirbelsäule zu den spinalen Trigeminskernen inklusive des Nucleus motorius nachgewiesen werden³². Somit kommt es zu einer Efferenzbeeinflussung der Kaumuskulatur über den N. masticatorius⁵⁰ als motorischen Anteil des N. mandibularis.

2.3 Das Fernröntgenseitenbild

Um eine kieferorthopädische Behandlung zu planen und zu überwachen, ist das Fernröntgenseitenbild (FRS) neben Modellen, Gesichtsfotos und Panoramaschichtaufnahmen ein wichtiges diagnostisches Verfahren. Das FRS wurde 1931 von Hofrath und Broadbent eingeführt und ist seit dem aus der kieferorthopädischen Diagnostik nicht mehr weg zu denken^{7, 30}. Durch die Standardisierung des technischen Ablaufes können Aufbau und Veränderungen des Gesichtschädels auch im Laufe des Wachstums unter Berücksichtigung des Weichgewebsprofils, skelettalen und dentoalveolären Anteilen dokumentiert werden. Um unterschiedliche Gewebstypen mit variierender Dichte darzustellen, werden Verlaufsfolien und Filter eingesetzt, um die Röntgenstrahlung unterschiedlich bedarfsgerecht zu modifizieren.



Abb. 5: Fernröntgenseitenbild

Um eine normierte Röntgenposition im Profil mit anteriorem Weichteilverlauf⁷² zu gewährleisten, wird eine spezielle Kopfhalterung, das sog. Kephalostat verwendet. Mit Hilfe einer Dreipunktstützung wird erreicht, dass Bewegungen während der Bildgebung minimiert werden. Zusätzlich sind metrische Kalibrierungshilfen angebracht, um den Vergrößerungsfaktor zu berechnen. Für die kephalometrische Auswertung werden möglichst eindeutig definierte und gut reproduzierbare Messpunkte verwendet¹⁶. Die zeichnerische Darstellung der anatomischen Strukturen und deren Auswertung mit der resultierenden Fernröntgen-Analyse gibt wertvolle Hinweise zur Planung einer kieferorthopädischen Behandlung.

Pionierarbeit lieferte Björk, der 1955 versuchte, Referenzbereiche einzuführen, die keinen wachstumsbedingten Veränderungen unterlagen. Es wurden Implantate an Stellen inseriert³, die vermeintlich während des Wachstums lagestabil waren und somit ihre Position im zeitlichen Verlauf zwischen der Anfertigung zweier Aufnahmen nicht nennenswert änderten. Durch die Überlagerung in zeitlich unterschiedlichen Aufnahmen konnten Referenzpunkte mit daraus resultierenden Winkeln und Strecken definiert werden. Neben der Abbildung des Gesichtskeletts sind auch das Os hyoideum und der obere Anteil der HWS dargestellt, was in der vorliegenden Untersuchung direkte Vergleiche zwischen Schädel, craniocervikalen und HWS-Strukturen zulässt.

Da das FRS ein dreidimensionales Objekt auf eine zweidimensionale Wiedergabe reduziert, müssen röntgentechnische Projektionsfehler und Identifikationsfehler von definierten Strukturen beachtet und minimiert werden.

3. Patienten und Methoden

3.1 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien

Von Oktober 2006 bis Mai 2009 wurden 49 unselektierte Patienten einer kieferorthopädischen Praxis mit einer Indikation für eine feststehende kieferorthopädische Apparatur erfasst. Die kieferorthopädischen Fehlstellungen konnten auf Grund der schriftlichen Befund- und Behandlungsdokumentation, intra- und extraoraler Fotos, sowie Situationsmodellen als dental kompensierbar eingestuft werden. Bezüglich des Geschlechts und des Alters bestanden bei der Patientenauswahl keine Einschränkungen. Ein erstes Fernröntgenseitenbild wurde im Rahmen des Anfangsbefundes vor Behandlungsbeginn, ein zweites nach Abschluss der Behandlung angefertigt. Als Ausschlusskriterien galten nicht eindeutig interpretierbare röntgenologische Messpunkte und technisch bedingte Artefakte.

Die Probanden wurden in zwei Gruppen, noch im Wachstum befindend und ausgewachsen, eingeteilt. Auf die Einbeziehung unbehandelter Kontrollgruppen, die die Aussagekraft der Ergebnisse erhöhen würden, kann in dieser Untersuchung nicht zurück gegriffen werden, denn es verbietet sich aus Strahlenschutzgründen gemäss Röntgenverordnung eine Untersuchung zu Screeningzwecken. Generell muss unnötige Strahlenexposition vermieden werden und der unmittelbare gesundheitliche Nutzen des Einzelnen hat im Vordergrund zu stehen⁶⁴.

3.2. Röntgenaufnahmen

Die Fernröntgenseitenbilder der behandelten Gruppen wurden mit dem Gerät "Sirona Orthophos" (Sirona Dental Systems, Bensheim, Deutschland) angefertigt. Die anschließende bildgebende digitale Verarbeitung erfolgte mit der Software "dental Vision" (Computer Forum, Elmshorn, Deutschland). Die Positionierung und Vermessung der kephalometrischen und HWS-spezifischen Messpunkte und Strecken erfolgte mit dem Programm "dental Vision" (Computer Forum, Elmshorn, Deutschland), die zur Vermeidung der Summation von Auswertungsfehlern von nur einer Person durchgeführt wurde. Die Maßstäbe konnten anhand der Normierungsskala kalibriert werden.

Zur Erfassung der folgend aufgeführten Strecken konnten die Distanzen direkt am digitalen FRS nach vorheriger Kalibrierung mit Hilfe der erwähnten Software in mm mit einer Dezimalstelle gemessen werden. Alle Strecken wurden dreimal gemessen, wobei der daraus errechnete Mittelwert für die weiteren statistischen Auswertungen verwendet wurde. Die Auswertung der kephalometrischen Winkel erfolgte ebenfalls mit "dental Vision". Um die HWS spezifischen Winkel zu erfassen, mussten die Röntgenbilder ausgedruckt, die Bezugseben eingezeichnet und die entsprechenden Winkel ermittelt werden. Auch hier wurden die Messungen von nur einer Person durchgeführt.

3.3. Erhobene Parameter

Die erhobenen Parameter setzten sich zum einem aus den Basisparametern Alter, Geschlecht und Beobachtungszeitraum zusammen. Weiterhin wurden ausgewählte spezifische Vermessungspunkte der Kephalmetrie und HWS verwendet, aus denen wiederum kephalometrische und die HWS betreffenden Strecken und Winkel resultierten. Die Messpunkte waren eindeutig definiert und reproduzierbar, um präzise Winkel und Streckenmessungen vornehmen zu können. Waren Doppelkonturen vorhanden, wurde die Konturlinie gemittelt und dort der Messpunkt positioniert. Nachfolgend sind die kephalometrischen und HWS- spezifischen Messpunkte, Bezugslinien, Strecken und Winkel definiert.

3.3.1 Messpunkte der Kephalometrie und HWS

3.3.1.1 Kephalometrische Messpunkte

Messpunkt	Definition
Sella (S)	Mittelpunkt der Sella turcica
Nasion (N)	Übergang des Os frontale in das Os nasale an der Sutura nasofrontalis
A-Punkt (A)	tiefste Einziehung der ventralen Kontur der Maxilla
B-Punkt (B)	tiefste Einziehung der ventralen Kontur der Mandibula
Orbitale (O)	der am weitesten kaudal gelegene Punkt des knöchernen Infraorbitalrandes
Porion (P)	der am weitesten kranial gelegene Punkt des Forus acusticus externus
Spina nasalis anterior (ANS)	anteriore Begrenzung des knöchernen Nasenbodens an der Spitze der Spina nasalis anterior
Spina nasalis posterior (PNS)	dorsale Begrenzung des knöchernen Nasenbodens an der Spitze der Spina nasalis posterior
Artikulare (Ar)	Schnittpunkt der unteren Kontur des Os temporale mit dem dorsalen Rand des Processus articularis mandibulae
Menton (Me)	der am weitesten kaudal gelegene Punkt der Unterkiefersymphyse
Ramustangentenpunkt (Tp1)	dorsale Begrenzung des Ramus mandibulae im Angulus mandibulae
Corpustangentenpunkt (Tp2)	kaudale Begrenzung des Corpus mandibulae im Angulus mandibulae

Tab.1: kephalometrische Messpunkte

3.3.1.2 Messpunkte der HWS

Messpunkt	Definition
pC2	der am weitesten posterior und kaudal gelegene Punkt des zweiten Halswirbelkörpers
pC4	der am weitesten posterior und kaudal gelegene Punkt des vierten Halswirbelkörpers
spC2	der am weitesten superior und posterior gelegene Punkt des zweiten Halswirbelkörpers
AP	der am weitesten posterior gelegene Punkt des Atlas
AA	der am weitesten anterior gelegene Punkt des Atlas

Tab. 2: Messpunkte der HWS

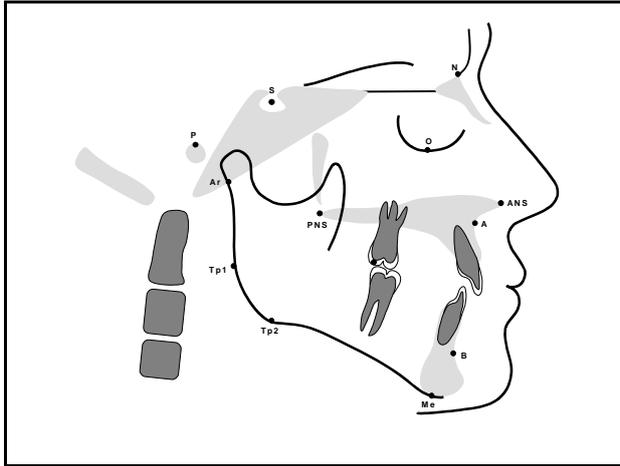


Abb. 6: Kephalemtrische Messpunkte

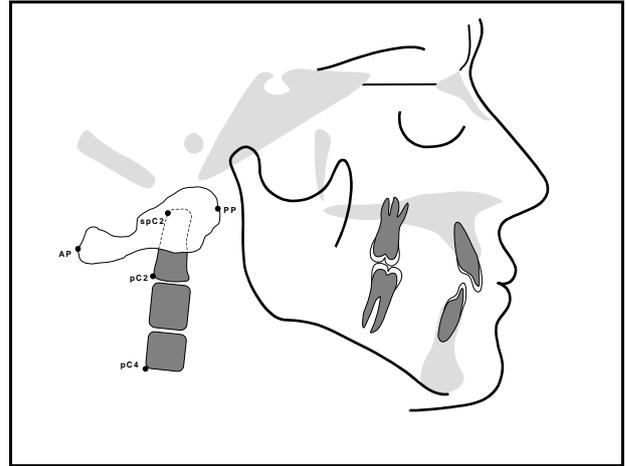


Abb. 7: Messpunkte der HWS

3.3.2 Bezugslinien der Kephalemtrie und HWS

3.3.2.1 Kephalemtrische Bezugslinien

Ebene	Definition
Frankfurter Horizontale (FH)	verlängerte Verbindung der Punkte Porion (P) und Orbitale (O)
Schädelbasislinie (NSL)	Gerade zwischen den Punkten Sella (S) und Nasion (N)
Palatinalenebene (PE)	verlängerte Verbindung zwischen Spina nasalis anterior (ANS) und Spina nasalis posterior (PNS)
Mandibularlinie (ML)	Ausgleichsgerade zwischen dem Punkt Menton (Me) und dem Ramustangentialpunkt (Tp2)
Ramuslinie (RL)	verlängerte Verbindung zwischen Corpustangentialpunkt (Tp1) und dem Punkt Artikulare (Ar)

Tab. 3: kephalemtrische Bezugslinien

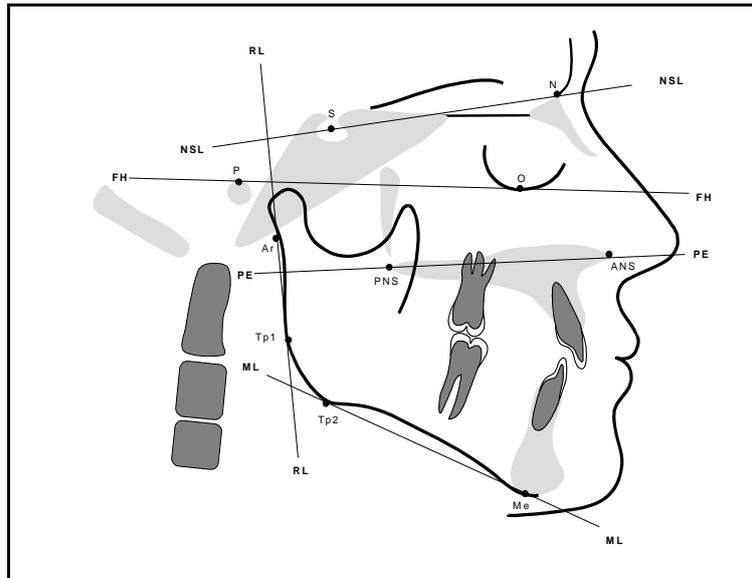


Abb. 8: Kephalemtrische Bezugslinien

3.3.2.2 Bezugslinien der HWS

Ebene	Definition
Odontoid Process Tangent (OPT)	Linie durch den am weitesten superior und posterior gelegenen Punkt des zweiten Halswirbelkörpers (spC2) und des am weitesten posterior und kaudal gelegenen Punkt des zweiten Halswirbelkörpers (pC2)
Cervical Tangent (CVT)	Linie durch den am weitesten superior und posterior gelegenen Punkt des zweiten Halswirbelkörpers (spC2) und den am weitesten posterior und kaudal gelegenen Punkt des vierten Halswirbelkörpers (pC4)
Atlastranversale (AT)	Linie durch den am weitesten anterior gelegenen Punkt des Atlas (AA) und den am weitesten posterior gelegenen Punkt des Atlas (AP)

Tab. 4: Bezugslinien der HWS

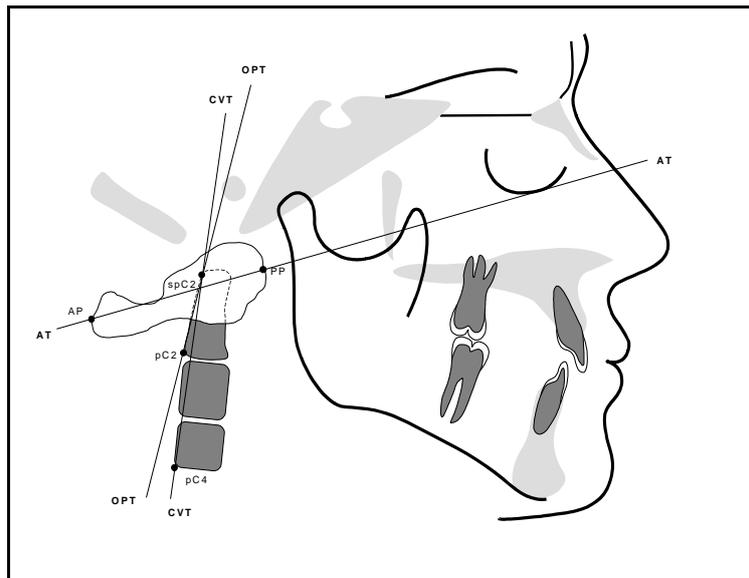


Abb. 9: Bezugslinien der HWS

3.3.3 Strecken der HWS

Strecke	Definition
Odontoid Process Tangent (OPT) Distance	Strecke vom weitesten superior und posterior gelegenen Punkt des zweiten Halswirbelkörpers (spC2) zum am weitesten posterior und kaudal gelegenen Punkt des zweiten Halswirbelkörpers (pC2)
Cervical Tangent (CVT) Distance	Strecke vom am weitesten superior und posterior gelegenen Punkt des zweiten Halswirbelkörpers (spC2) zum am weitesten posterior und kaudal gelegenen Punkt des vierten Halswirbelkörpers (pC4)
Atlastranversale (AT) Distanz	Strecke vom am weitesten anterior gelegenen Punkt des Atlas (AA) zum am weitesten posterior gelegenen Punkt des Atlas (AP)

Tab. 5: Strecken der HWS

Odontoid Process Tangent (OPT) Distance

Die OPT gibt Auskünfte über die vertikale Dimension des zweiten Halswirbels. Bei Änderungen dieses Parameters kann von strukturellen Veränderungen des Axis ausgegangen werden.

Cervical Tangent (CVT) Distance

Die CVT enthält Informationen über Positionsveränderungen des oberen Anteils der HWS. Veränderungen können sich in vermehrter Flexion bzw. Extension zeigen, auch wäre ein Höhengewinn oder -verlust durch Volumenänderungen der Bandscheiben nachvollziehbar.

Atlastranversale (AT) Distanz

Die AT spiegelt bei Veränderungen strukturelle Auswirkungen auf die horizontale Dimension des ersten Halswirbels wider.

3.3.4 Winkel der Kephalemtrie und HWS

3.3.4.1 Kephalemtrische Winkel

Winkel	Definition
SNA	Winkel zwischen vorderer Schädelbasis (SN) und der tiefsten Einziehung der ventralen Kontur der Maxilla (A).
SNB	Winkel zwischen vorderer Schädelbasis und der tiefsten Einziehung der ventralen Kontur der Mandibula (B)
ANB	Differenz von SNA und SNB Winkel
Summenwinkel nach Björk (N-S-Ar + S-Ar-Go + Ar-Go-Me)	Summe des Sella-, Articulare-, und Gonion- Winkels. Gonion (Go) resultiert aus dem Schnittpunkt der Mandibularlinie (ML) zur Ramuslinie (RL).
Basiswinkel (PE zu ML)	Winkel zwischen Palatinalene (PE) und Mandibularlinie (ML).

Tab. 6: Kephalemtrische Winkel

Winkel Sella-Nasion-A-Punkt (SNA)

Der SNA-Winkel gibt Auskunft über die sagittale Position der Maxilla in Relation zur anterioren Schädelbasis. Als klinischer Richtwert kann nach Segner und Hasund^{48, 69} ein Winkel zwischen 79 und 85 Grad angenommen werden. Diesem Referenzbereich ist der orthognathe Gesichtstyp zugeordnet. Verkleinert sich dieser Messwert und unterschreitet den Richtwert, spricht dies für eine retrognathe Einlagerung des Oberkiefers. Kommt es zu einer Vergrößerung des Winkels mit Überschreitung der Referenz resultiert eine Prognathie. Dem entsprechend definiert sich der retrognathe und prognathe Gesichtstyp.

Winkel Sella-Nasion-B-Punkt (SNB)

Der SNB-Winkel gibt Informationen über die sagittale Relation der Mandibula zur vorderen Schädelbasis. Der orthognathe Gesichtstyp wird dem klinischen Richtwert von 77 bis 83 Grad zugeordnet. Bei einer Verkleinerung dieses Messwertes unter den klinischen Richtwert spricht man von einer retrognathen Einlagerung der Mandibula mit einem resultierenden retrognathen Gesichtstyp, bei einer Überschreitung des Richtwertes zu einer prognathen Lage der Mandibula mit prognathem Gesichtstyp.

Winkel A-Punkt-Nasion-B-Punkt (ANB)

Der ANB-Winkel vermittelt Auskünfte über die sagittale Position der Maxilla in Relation zur Mandibula und somit den basalen sagittalen Trend. Als klinischer Richtwert für eine neutrale Kieferbasenrelation wird im orthognathen Gesichtstyp ein Messintervall zwischen 0 und 4 Grad festgelegt. Liegt der A-Punkt vor der NB Linie sind die Messwerte positiv. Bei Unterschreitung der Grenze resultiert ein mesialer sagittaler basaler Trend mit einer skelettalen Klasse III. Kommt es zu einer Vergrößerung des Winkels mit Überschreitung der Referenz, resultiert ein distaler sagittaler basaler Trend mit einer skelettalen Klasse II. Jedoch kann über den ANB-Winkel keine Aussage getroffen werden, welcher Kiefer eine mögliche vorhandene mesiale oder distale Diskrepanz verursacht.

Summenwinkel nach Björk

Der Summenwinkel nach Björk kann zur Beurteilung des Wachstumsmusters herangezogen werden. Bei einem Winkel von 394 ± 6 Grad deutet sich ein neutrales Wachstum an, wobei bei kleineren Winkel ein horizontales und bei größeren Winkeln ein vertikales Wachstum zu erwarten ist.

Basiswinkel

Der Basiswinkel gibt Auskunft über die Stellung der Kieferbasen und deren Divergenz zueinander. Somit kann eine Aussage über die vertikale basale Relation getroffen werden, die ihren Richtwert bei $23,5 \pm 3$ Grad findet. Vergrößert sich dieser Messwert, zeigt sich ein skelettal offener Biss, bei Verkleinerung ergibt sich ein skelettaler Tiefbiss.

3.3.4.2 Winkel der HWS

AT-OPT	Winkel zwischen der Atlastranversalen (AT) und der Odontoid Process Tangent (OPT).
OPT-FH	Winkel zwischen der Odontoid Process Tangent (OPT) und der Frankfurter Horizontalen (FH).
CVT-FH	Winkel zwischen der Cervical Tangent (CVT) und der Frankfurter Horizontalen (FH).
AT-FH	Winkel zwischen Atlastranversale (AT) und der Frankfurter Horizontalen (FH).

Tab. 7: Winkel der HWS

Winkel Atlastranversale und Odontoid Process Tangent (AT-OPT)

Der AT-OPT beschreibt den Winkel des unteren Kopfgelenkes zwischen den Wirbelkörpern Atlas und Axis. Bei einer Vergrößerung des Winkels kommt es zu einer Extension, bei einer Verkleinerung zu einer Flexion im unteren Kopfgelenk.

Winkel Odontoid Process Tangent und Frankfurter Horizontale (OPT-FH)

Der Winkel OPT-FH gibt Auskunft über die obere Halswirbelsäule, die das obere und untere Kopfgelenk beinhaltet. Bei einer Vergrößerung der Messwerte kann von einer verstärkten Inklination im oberen Kopfgelenk und einer verstärkten Flexion im unteren Kopfgelenk ausgegangen werden. Folglich kommt es bei einer Verkleinerung der Messwerte zu einer Dorsalextension in der oberen HWS.

Winkel Cervical Tangent und Frankfurter Horizontale (CVT-FH)

Der Winkel CVT-FH informiert über die Stellung des oberen Abschnittes der HWS bis C4 zu einer horizontalen kephalometrischen Bezugslinie. Bei Lordosierung oder Kyphosierung der Halswirbel resultieren Winkelveränderungen, ebenso bei Reklination und Inklination des Schädels in den beiden Kopfgelenken. Änderungen der Messwerte sind in diesem Fall mehrgelenkig und können so von anderen Wirbelsäulenabschnitten kompensiert oder verstärkt werden.

Winkel Atlastranversale und Frankfurter Horizontale (AT-FH)

Der Winkel AT-FH informiert isoliert über die Stellung des oberen Kopfgelenkes zwischen Atlas und Os occipitale. Bei einer Vergrößerung der Messwerte kommt es zu einer verstärkten Inklination, bei einer Verkleinerung des Winkels zu einer Reklination des Schädels.

3.4. Datenvollständigkeit

Bei allen erhobenen Parametern lag eine 100%ige Datenvollständigkeit vor.

3.5 Statistische Methoden und grafische Darstellung

Die statistischen Auswertungen wurden mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 17.0 (SPSS Inc., U.S.A.) durchgeführt. Die Darstellung der kontinuierlichen Variablen erfolgte als Mittelwerte, während als Streumaße die Standardabweichungen gewählt wurden.

Die kontinuierlichen Variablen wurden mittels des Shapiro-Wilk-Tests hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft. Während einige der getesteten Variablen keine Normalverteilung aufwiesen (Shapiro-Wilk-Test: $p < 0,05$), konnte für andere Variablen eine Normalverteilung berechnet werden (Shapiro-Wilk-Test: $p \geq 0,05$). Bei den Vergleichen der Stichproben wurden daher Tests für normalverteilte Stichproben und nichtparametrische Tests für nicht normalverteilte Stichproben herangezogen.

Beim Vergleich von zwei unabhängigen, normalverteilten Stichproben wurde der t-Test verwendet. Dabei wurde vorher zur Überprüfung der Homogenität der Varianzen der Levene-Test durchgeführt. Bei nachgewiesener Homogenität der Varianzen wurde der Student t-Test durchgeführt, während bei fehlender Gleichheit der Varianzen der Welch-Test als Modifikation des t-Tests durchgeführt wurde. Bei nicht normalverteilten Stichproben wurde der Mann-Whitney-U-Test als nichtparametrisches Verfahren angewendet. Zwei verbundene, normalverteilte Stichproben wurden mittels des t-Tests für gepaarte Stichproben verglichen, dagegen wurden zwei verbundene, nicht normalverteilte Stichproben durch den Wilcoxon-Test überprüft.

Die kategorisierten Daten dagegen wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests, bzw. des exakten Tests nach Fisher ausgewertet. Bei Verwendung des Chi-Quadrat-Tests wurden die erforderlichen Testvoraussetzung erfüllt, so dass bei allen Tests weniger als 20% der erwarteten Häufigkeit kleiner 5 war. Bei allen durchgeführten Tests erfolgte

eine zweiseitige Signifikanzüberprüfung, wobei für alle statistischen Tests ein p-Wert $< 0,05$ als statistisch signifikant angenommen wurde.

In den grafischen Darstellungen wurden zur Veranschaulichung der Mittelwerte bei normalverteilten Stichproben Fehlerbalken verwendet, wobei als Streumaß aufgrund der großen Streubreite die Standardfehler aufgeführt wurden. Zur Veranschaulichung der Mediane und Quartilsabstände bei nicht normalverteilten Stichproben wurden Boxplots verwendet. Während in den Boxen der Median sowie die 25.-75. Perzentile aufgetragen sind, entsprechen die T-Balken dem kleinsten und größten Wert, sofern diese keine Ausreißer bzw. Extremwerte sind. Die Ausreißer sind dabei Werte, die zwischen eineinhalb und drei Boxlängen außerhalb der Box liegen und sind in den Grafiken als Kreise dargestellt, während Extremwerte, die mehr als drei Boxlängen außerhalb der Box gemessen wurden, als Kreuzchen aufgetragen sind. Die Verteilung von Variablen wurde durch Histogramme dargestellt.

3.6 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche erfolgte zur Aufarbeitung der wissenschaftlichen Diskussion zu dem Thema "Einfluss von festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen auf die HWS". Dabei wurde einerseits der aktuelle Stand der Forschung als auch die Entwicklung der Thematik im Verlauf der letzten Jahrzehnte verfolgt. Die Literaturrecherche erstreckte sich daher über den Zeitraum von 1931 bis 2010 und umfasste systematische Reviews, Metaanalysen sowie experimentelle, anatomische, neurophysiologische und klinische Studien an Tier und Mensch.

Schwerpunkt der Literaturrecherche waren deutschsprachige, amerikanische sowie europäische Publikationen, wobei insbesondere Erstbeschreibungen, Multicenterstudien und Metaanalysen bei der Auswahl berücksichtigt wurden. Die Recherche erfolgte über die Datenbank PubMed. Diese englisch-sprachige textbasierte Meta-Datenbank mit medizinischen Artikeln wird als Service der U.S. National Library of Medicine kostenfrei angeboten. PubMed ist eine bibliografische Referenzdatenbank mit Zugriff auf ca. 17 000 000 Zitate, die 5200 Zeitschriften zuzuordnen sind.

Die Literaturrecherche erfolgte unter Verwendung des Literatur-Verwaltungsprogramms Endnote X3[®], wobei mittels Endnote die Erstellung eigener Bibliotheken ermöglicht wurde. Diese dienten über eine Verknüpfung mit Word zum Zitieren und Erstellen des Literaturverzeichnisses. Bei der Formatierung der Zitate wurde entsprechend den offiziellen Vorgaben der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes vorgegangen.

Als Suchbegriffe wurden folgende Stichwörter bzw. Themenkomplexe ausgewählt: craniomandibular disorders, craniomandibular dysfunction, temporomandibular dysfunction, temporomandibular disorders, craniocervical dysfunction. Insbesondere wurden dabei unter den Treffern jene ausgesucht, welche in engem Zusammenhang mit den Veränderungen der HWS während zahnärztlichen bzw. kieferorthopädischen Behandlungen standen. Hieraus resultierte ein umfassender Überblick über den aktuellen Wissenstand hinsichtlich des Einflusses von festsitzenden kieferorthopädischen Versorgungen auf die HWS.

4. Ergebnisse

4.1 Patientencharakteristika

4.1.1 Gruppeneinteilung

Es erfolgte eine Einteilung des Kollektivs in zwei Gruppen, wobei in der einen die noch wachsenden (n= 27; 55,1%) und in der anderen die erwachsenen Patienten (n =22; 44,9%) zusammengefasst waren.

	Häufigkeit	(%)
ausgewachsen	22	44,9
wachsend	27	55,1
Gesamt	49	100,0

Tab. 8: Gruppenverteilung

4.1.2 Alter

Gruppe	Mittelwert±SD	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	24,6±14,7	3,1	16,1	22
wachsend	12,7±1,8	0,3	12,5	27
Insgesamt	18,0±11,5	1,6	13,6	49

Tab. 9: Alter in den beiden Gruppen

Die noch wachsenden Patienten waren im Mittel 12,7±1,8 Jahre alt, während die Gruppe der Erwachsenen mit 24,6±14,7 Jahren annähernd doppelt so alt war.

4.1.3 Geschlecht

	Häufigkeit	(%)
männlich	24	49,0
weiblich	25	51,0
Gesamt	49	100,0

Tab. 10: Geschlechterverteilung im Gesamtkollektiv

			Gruppe		
			ausge- wachsen	wachsend	Gesamt
Geschlecht	männlich	Anzahl	12	12	24
		% von Geschlecht	50,0	50,0	100,0
		% von Gruppe	54,5	44,4	49,0
	weiblich	Anzahl	10	15	25
		% von Geschlecht	40,0	60,0	100,0
		% von Gruppe	45,5	55,6	51,0
Gesamt	Anzahl	22	27	49	
	% von Geschlecht	44,9	55,1%	100,0	
	% von Gruppe	100,0	100,0	100,0	

Tab. 11: Geschlechterverteilung in beiden Gruppen

Von den untersuchten 49 Patienten waren 25 weiblich, so dass mit 51% Frauenanteil eine annähernd ausgeglichene Geschlechterverteilung bestand. Beim Vergleich der Verteilung der Geschlechter in den beiden Gruppen wurde ein etwas höherer Anteil an weiblichen Patienten in der Gruppe der Heranwachsenden nachgewiesen (55,6% vs. 45,5%), wobei sich hinsichtlich dieses mäßigen Unterschiedes keine statistische Signifikanz berechnen ließ (Fisher Test; $p=0,6$).

4.1.4 Beobachtungszeitraum

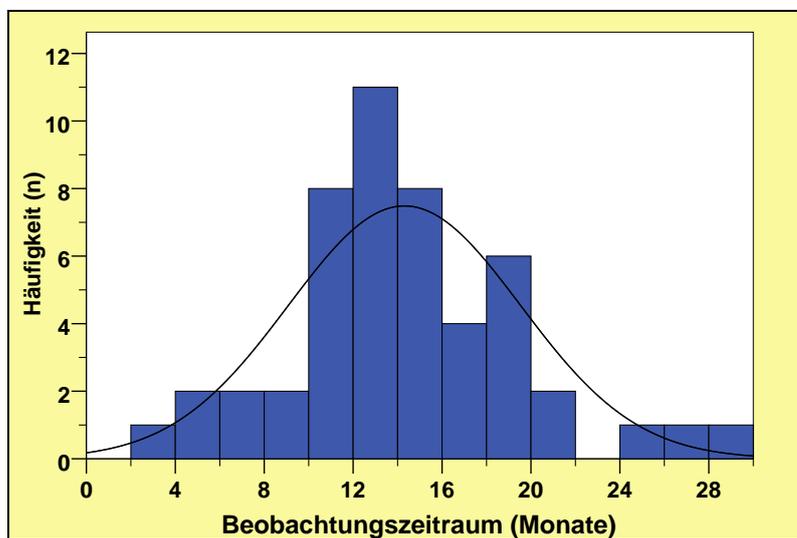


Abb. 10: Beobachtungszeitraum

Der Beobachtungszeitraum der 49 Probanden, der zwischen dem ersten und zweiten angefertigtem FRS lag, erstreckte sich im Mittel über $14,3 \pm 5,2$ (Median 13,8) Monate. Das kürzeste Beobachtungsintervall betrug zwei Monate, das längste dagegen 29 Monate.

N gültig	49	
Mittelwert±SD	14,3±5,2	
Median	13,8	
Minimum	2	
Maximum	29	
Perzentile	25	11,2
	50	13,8
	75	17,5

Tab. 12: Beobachtungszeitraum

4.2 Vergleich der Parameter zwischen ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im zeitlichen Therapierahmen

4.2.1 Gesichtsschädelparameter

4.2.1.1 kephalometrische Winkel

4.2.1.1.1 SNA

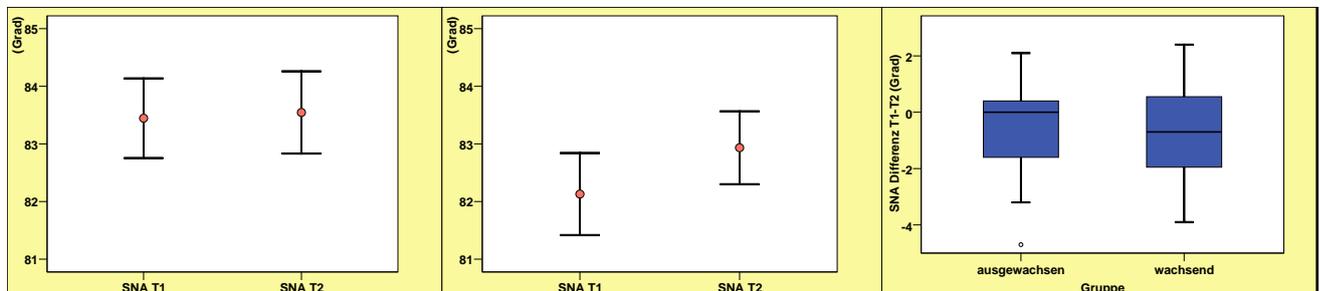


Abb. 11a: SNA im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 11b: SNA im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 11c: Vergleich SNA Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

n=49	ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
	SNA T1 [Grad]	SNA T2 [Grad]	SNA T1 [Grad]	SNA T2 [Grad]
Mittelwert±SD [Grad]	83,4±3,2	83,5±3,3	82,1±3,7	82,9±3,3
Standardfehler des Mittelwertes	0,7	0,7	0,7	0,6
Median	83,6	83,5	82,2	83,3
Minimum	78,0	78,1	74,8	77,6
Maximum	88,7	89,6	90,7	90,2
Perzentile				
25	81,2	81,2	79,2	80,6
50	83,6	83,5	82,2	83,3
75	86,7	85,4	84,4	85,6

Tab. 13: SNA bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [Grad]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	-0,1±2,6	0,6	0,0	22
wachsend	-0,8±1,9	0,4	-0,7	27
Insgesamt	-0,5±2,3	0,3	-0,3	49

Tab. 14: SNA Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Die Gruppe der ausgewachsenen untersuchten Personen zeigte im Verlauf bezüglich des Sella-Nasion-A-Punkt-Winkels keine signifikanten Veränderungen (T1 vs. T2: 83,4±3,2 Grad vs. 83,5±3,3 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,9). Bei den noch Wachsenden jedoch zeigten sich im Gegensatz hierzu signifikante Änderungen bzgl. dieses Winkels (T1 vs. T2: 82,1±3,7 Grad vs. 82,9±3,3 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,039). Bei weiterem Vergleich der Veränderung dieses Winkels bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten zu den Zeitpunkten T1 und T2 konnte keine statistisch signifikante Änderung der Differenz nachgewiesen werden (-0,1±2,6 Grad vs. -0,8±1,9 Grad; Mann-Whitney-U-Test: p=0,6).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass beide Gruppen eine Vergrößerung des Winkels zeigten, wobei die Wachsenden eine etwas deutlichere Winkelzunahme verzeichneten.

4.2.1.1.2 SNB

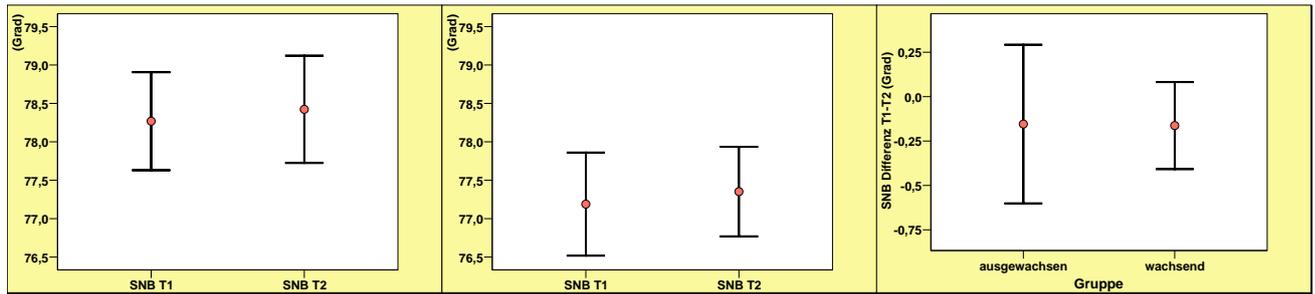


Abb. 12a: SNB im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 12b: SNB im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 12c: Vergleich SNB Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

	ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
	SNB T1 [Grad]	SNB T2 [Grad]	SNB T1 [Grad]	SNB T2 [Grad]
n=49				
Mittelwert±SD [Grad]	78,3±3,0	78,4±3,3	77,2±3,5	77,4±3,0
Standardfehler des Mittelwertes	0,6	0,7	0,7	0,6
Median	78,8	79,2	76,6	78,2
Minimum	70,4	69,7	70,3	71,7
Maximum	82,1	82,9	86,4	83,8
Perzentile				
25	76,9	76,1	74,7	74,8
50	78,8	79,2	76,6	78,2
75	81,2	80,8	78,8	79,5

Tab. 15: SNB bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [Grad]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	-0,1±2,1	0,5	0,2	22
wachsend	-0,2±1,3	0,2	-0,3	27
Insgesamt	-0,2±1,7	0,2	-0,1	49

Tab. 16: SNB Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Bei Betrachtung der Veränderung des SNB-Winkels im zeitlichen Verlauf zeigten sich weder bei der Gruppe der ausgewachsenen (T1 vs. T2: 78,3±3,0 Grad vs. 78,4±3,3 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,7) noch bei der wachsenden Gruppe statistisch signifikante Veränderungen (T1 vs. T2: 77,2±3,5 Grad vs. 77,4±3,0 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,5). Auch wies die Statistik auf keine signifikanten

Änderungen bzgl. der Differenz dieses Winkels im Zeitintervall T1-T2 bei Ausgewachsenen vs. Wachsenden hin. ($-0,1 \pm 2,1$ Grad vs. $-0,2 \pm 1,3$ Grad; t-Test; $p=1,0$).

Bei beiden Gruppen kam es zu einer minimalen Winkelzunahme.

4.2.1.1.3 ANB

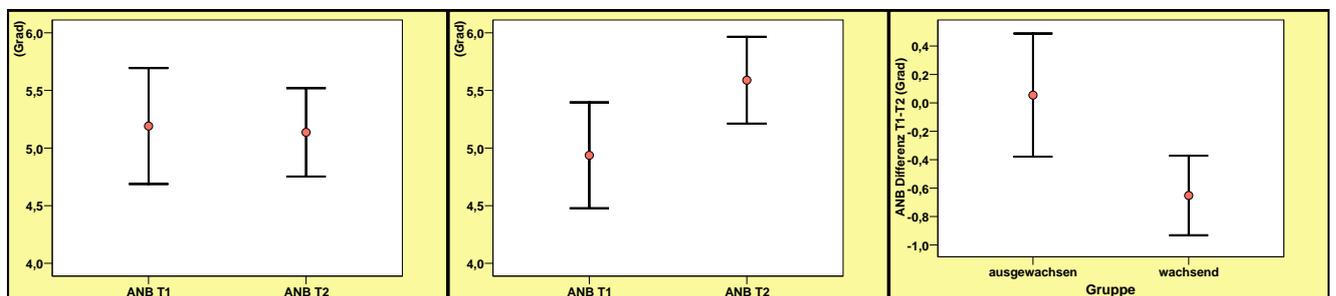


Abb. 13a: ANB im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 13b: ANB im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 13c: Vergleich ANB Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

	ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
n=49	ANB T1 [Grad]	ANB T2 [Grad]	ANB T1 [Grad]	ANB T2 [Grad]
Mittelwert±SD [Grad]	5,2±2,4	5,1±1,8	4,9±2,4	5,6±2,0
Standardfehler des Mittelwertes	0,5	0,4	0,5	0,4
Median	5,4	4,9	5,4	5,7
Minimum	0,9	2,3	0,1	1,6
Maximum	9,1	8,3	8,6	9,0
Perzentile				
25	3,5	3,8	3,5	4,4
50	5,4	4,9	5,4	5,7
75	7,0	6,4	6,6	7,1

Tab. 17: ANB bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [Grad]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	0,1±2,0	0,4	0,1	22
wachsend	-0,7±1,5	0,3	-0,6	27
Insgesamt	-0,3±1,8	0,3	-0,3	49

Tab. 18: ANB Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Bei der Beobachtung des Winkels zwischen den Punkten A, Nasion und B hatte sich dieser während des zeitlichen Verlaufs bei den ausgewachsenen Probanden statistisch nicht signifikant verändert (T1 vs. T2: 5,2±2,4 Grad vs. 5,1±1,8 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,9). Bei der noch wachsenden Gruppe hingegen zeigte sich eine statistisch signifikante Vergrößerung des Parameters (T1 vs. T2: 4,9±2,4 Grad vs. 5,6±2,0 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,028).

Zwischen den beiden Altersgruppen konnten keine signifikante Winkeländerung aufgezeigt werden, dennoch zeichnete sich im Kollektiv der Wachsenden eine tendenzielle größere Winkelzunahme und bei den Ausgewachsenen eine geringe, nicht signifikante Winkelverkleinerung ab (ausgewachsen vs. wachsend: 0,1±2,0 Grad vs. -0,7±1,5 Grad; t-Test; p=0,2).

4.2.1.1.4 Summenwinkel nach Björk

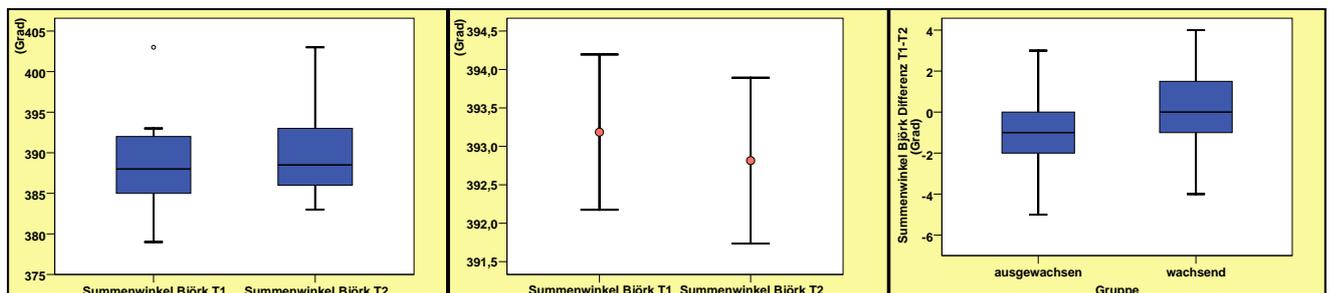


Abb. 14a: Summenwinkel nach Björk im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 14b: Summenwinkel nach Björk im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 14c: Vergleich Summenwinkel nach Björk Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

		ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
n=49		SuWi T1 [Grad]	SuWi T2 [Grad]	SuWi T1 [Grad]	SuWi T2 [Grad]
Mittelwert±SD [Grad]		388,3±5,2	389,6±4,6	393,2±5,2	392,8±5,6
Standardfehler des Mittelwertes		1,1	1,0	1,0	1,1
Median		388,0	388,5	391,0	392,0
Minimum		379,0	383,0	384,0	385,0
Maximum		403,0	403,0	404,0	404,0
Perzentile	25	385,0	386,0	389,0	388,0
	50	388,0	388,5	391,0	392,0
	75	392,3	393,3	398,0	398,0

Tab. 19: Summenwinkel nach Björk bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [Grad]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	-1,4±2,9	0,6	-1,0	22
wachsend	0,4±2,0	0,4	0,0	27
Insgesamt	-0,4±2,5	0,4	0,0	49

Tab. 20: Summenwinkel Björk Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Der Summenwinkel nach Björk zeigte im zeitlichen Verlauf bei der Gruppe der erwachsenen untersuchten Patienten statistisch signifikante Winkelveränderungen (T1 vs. T2: 388,3±5,2 Grad vs. 389,6±4,6 Grad; Wilcoxon-Test; p= 0,023). Bei den noch wachsenden Patienten kam es zu keinen statistisch signifikanten Veränderungen (T1 vs. T2: 393,2±5,2 Grad vs. 392,8±5,6 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,3).

Beim Vergleich der Differenzen bzgl. der Zeitpunkte T1 und T2 zeichneten sich zwischen den beiden Altersgruppen statistisch signifikante Änderungen ab, wobei die Gruppe der Ausgewachsenen größere Winkelveränderungen im Sinne einer Winkelzunahme, die Gruppe der noch wachsenden eine diskrete Winkelverkleinerung verzeichnete (ausgewachsen vs. wachsend: -1,4±2,9 Grad vs. 0,4±2,0 Grad; Mann-Whitney-U-Test: p< 0,03).

4.2.1.1.5 Basiswinkel

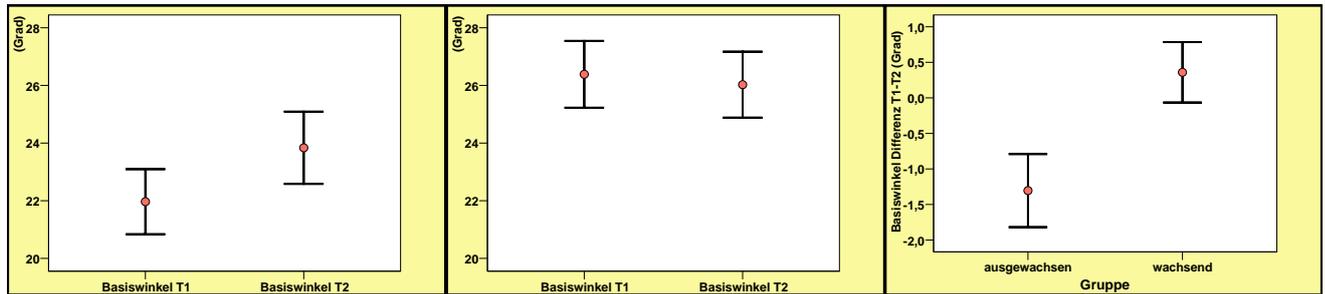


Abb. 15a: Basiswinkel im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 15b: Basiswinkel im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 15c: Vergleich Basiswinkel Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

	ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
	BaWi T1 [Grad]	BaWi T2 [Grad]	BaWi T1 [Grad]	BaWi T2 [Grad]
n=49				
Mittelwert±SD [Grad]	22,0±5,2	23,8±5,9	26,4±6,0	26,0±5,9
Standardfehler des Mittelwertes	1,1	1,3	1,2	1,1
Median	22,3	23,8	26,2	24,1
Minimum	11,3	13,2	16,3	14,9
Maximum	33,3	35,7	39,1	37,9
Perzentile				
25	18,7	21,5	23,1	22,3
50	22,3	23,8	26,2	24,1
75	25,1	26,5	30,8	31,3

Tab. 21: Basiswinkel bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [Grad]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	-1,3±2,4	0,5	-1,2	21
wachsend	0,4±2,2	0,4	0,5	27
Insgesamt	-0,4±2,4	0,3	-0,3	48

Tab. 22: Basiswinkel Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Beim Basiswinkel konnte im zeitlichen Verlauf eine statistisch signifikante Veränderungen bei der Erwachsenengruppe verzeichnet werden (T1 vs. T2: $22,0 \pm 5,2$ Grad vs. $23,8 \pm 5,9$ Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: $p=0,02$). Bei den Jugendlichen kam es dagegen zu keinen statistisch signifikanten Änderungen (T1 vs. T2: $26,4 \pm 6,0$ Grad vs. $26,0 \pm 5,9$ Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: $p=0,4$). Der Vergleich innerhalb der Alterskategorien im Beobachtungszeitraum zeigte signifikante Änderungen der Differenzen der beiden Gruppen in Bezug auf eine Winkelveränderung (ausgewachsen vs. wachsend: $-1,3 \pm 2,4$ Grad vs. $0,4 \pm 2,2$ Grad; t-Test: $p < 0,001$).

Bei den Erwachsenen resultierte eine Winkelvergrößerung, bei den noch Wachsenden dagegen eine Winkelverkleinerung.

4.2.2 HWS-Parameter

4.2.2.1 Strecken

4.2.2.1.1 Odontoid Process Tangent (OPT) Distance

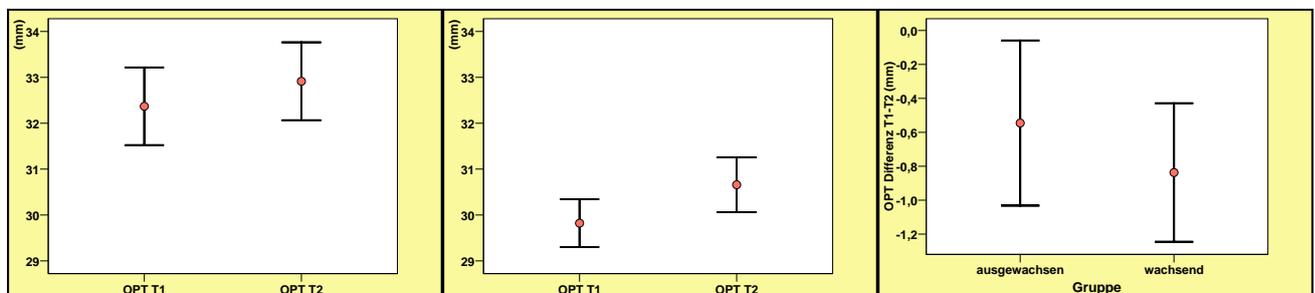


Abb. 16a: OPT Distance im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 16b: OPT Distance im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 16c: Vergleich OPT Distance Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

		ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
		OPT Distance T1 [mm]	OPT Distance T2 [mm]	OPT Distance T1 [mm]	OPT Distance T2 [mm]
n=49					
Mittelwert±SD [mm]		32,4±4,0	32,9±4,0	29,8±2,7	30,7±3,1
Standardfehler des Mittelwertes		0,8	0,8	0,5	0,6
Median		32,8	33,2	30,2	30,8
Minimum		22,3	25,8	24,8	25,0
Maximum		40,5	42,9	34,3	38,2
Perzentile					
	25	29,7	29,4	27,2	28,7
	50	32,8	33,2	30,2	30,8
	75	34,9	35,4	32,2	32,5

Tab. 23: OPT Distance bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [mm]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	-0,5±2,3	0,4	-1,2	22
wachsend	-0,8±2,1	0,4	-0,9	27
Insgesamt	-0,7±2,2	0,3	-1,1	49

Tab. 24: OPT Distance Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Bei Betrachtung der Odontoid Process Tangent Distance zeigte sich im Kollektiv der Erwachsenen keine statistisch signifikante Änderung der Strecke (T1 vs. T2: 32,4±4,0 mm vs. 32,9±4,0 mm; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,3). In der Jugendlichengruppe hingegen zeigte sich eine Veränderung mit einer grenzwertigen Signifikanz (T1 vs. T2: 29,8±2,7 mm vs. 30,7±3,1 mm; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,05). Der Vergleich der ausgewachsenen vs. der noch wachsenden Gruppe ergab keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich dieser Messgröße (ausgewachsen vs. wachsend: -0,5±2,3 mm vs. -0,8±2,1 mm; t-Test: p=0,7).

In beiden Alterskategorien resultierte eine diskrete Streckenvergrößerung.

4.2.2.1.2 Cervical Tangent (CVT) Distance

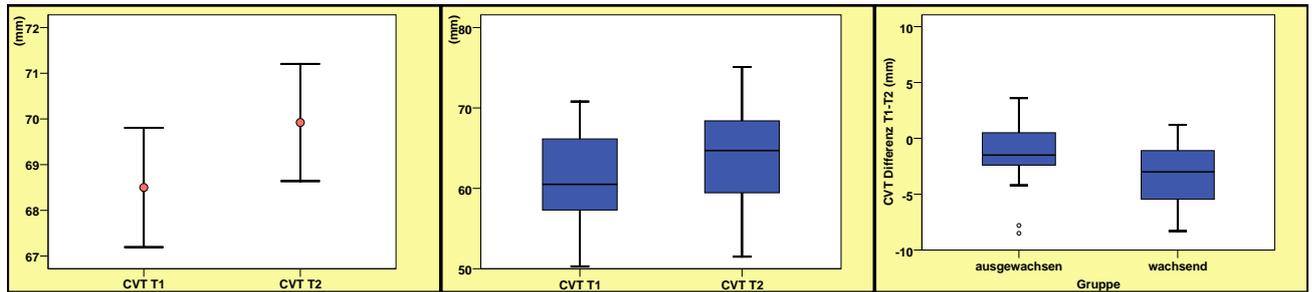


Abb. 17a: CVT Distance im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 17b: CVT Distance im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 17c: Vergleich CVT Distance Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

	ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
	CVT Distance T1 [mm]	CVT Distance T2 [mm]	CVT Distance T1 [mm]	CVT Distance T2 [mm]
n=49				
Mittelwert±SD [mm]	68,5±6,1	69,9±6,0	61,2±5,7	64,4±6,1
Standardfehler des Mittelwertes	1,3	1,3	1,1	1,2
Median	68,6	70,1	60,5	64,7
Minimum	58,7	59,5	50,3	51,5
Maximum	82,0	83,6	70,8	75,1
Perzentile				
25	63,50	65,3	56,6	58,9
50	68,6	70,1	60,5	64,7
75	72,3	72,9	65,8	68,9

Tab. 25: CVT Distance bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [mm]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	-1,4±2,9	0,6	-1,5	22
wachsend	-3,2±2,8	0,5	-3,0	27
Insgesamt	-2,4±3,0	0,4	-2,1	49

Tab. 26: CVT Distance Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Sowohl bei der statistischen Auswertung der Cervical Tangent Distance aller Probanden im zeitlichen Verlauf (ausgewachsen T1 vs. T2: 68,5±6,1 mm vs. 69,9±6,0 mm; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,03, noch wachsend T1 vs. T2: 61,2±5,7 mm

vs. $64,4 \pm 6,1$ mm; Wilcoxon-Test: $p=0,001$), als auch beim Vergleich zwischen den Differenzen beider Altersgruppen zeigten sich statistische Signifikanzen (ausgewachsen vs. wachsend: $-1,4 \pm 2,9$ mm vs. $-3,2 \pm 2,8$ mm; Mann-Whitney-U-Test: $p=0,04$).

Bei beiden Gruppen kam es zu einer Vergrößerung der Messstrecke, die bei den Jugendlichen deutlicher ausfiel.

4.2.2.1.3 Atlastransversale (AT) Distanz

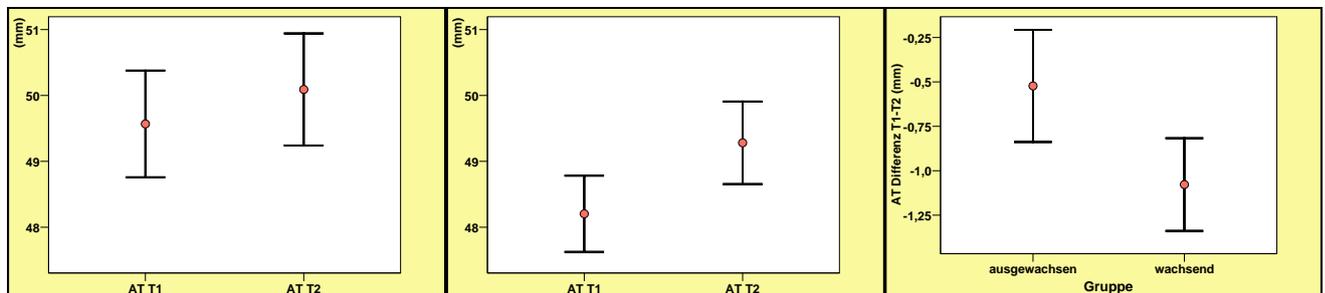


Abb. 18a: AT Distanz im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 18b: AT Distanz im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 18c: Vergleich AT Distanz Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

	ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
	AT Distanz T1 [mm]	AT Distanz T2 [mm]	AT Distanz T1 [mm]	AT Distanz T2 [mm]
n=49				
Mittelwert \pm SD [mm]	$49,6 \pm 3,8$	$50,1 \pm 4,0$	$48,2 \pm 3,0$	$49,3 \pm 3,3$
Standardfehler des Mittelwertes	0,8	0,9	0,6	0,6
Median	49,2	50,3	48,2	49,3
Minimum	43,1	42,3	42,1	42,4
Maximum	56,4	56,2	53,4	56,5
Perzentile				
25	46,3	46,5	45,7	46,6
50	49,2	50,3	48,2	49,3
75	52,7	53,1	50,2	51,6

Tab. 27: AT Distanz bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [mm]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	-0,5±1,5	0,3	-0,7	22
wachsend	-1,1±1,4	0,3	-1,0	27
Insgesamt	-0,8±1,4	0,2	-1,0	49

Tab. 28: AT Distanz Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Die Betrachtung des Verlaufs der atlastransversalen Distanz ergab bei der Gruppe der Ausgewachsenen keine statistische Signifikanz (T1 vs. T2: 68,5±6,1 mm vs. 50,1±4,0 mm; t-Test bei gepaarten Stichproben: $p=0,1$). Die Gruppe der Kinder hingegen verzeichnete eine statistisch signifikante Streckenänderung (T1 vs. T2: 48,2±3,0 mm vs. 49,3±3,3 mm; t-Test bei gepaarten Stichproben: $p<0,001$). Die Betrachtung der Differenz der Strecke im Betrachtungszeitraum lässt einen statistischen Trend dieses Parameters erkennen (ausgewachsen vs. wachsend: -0,5±1,5 mm vs. -1,1±1,4 mm; t-Test: $p=0,2$).

Bei beiden Testgruppen kam es zu einer Vergrößerung dieser Strecke, wobei die noch Wachsenden die ausgeprägtere Streckenänderung aufwiesen.

4.2.2.2 Winkel

4.2.2.2.1 AT-OPT

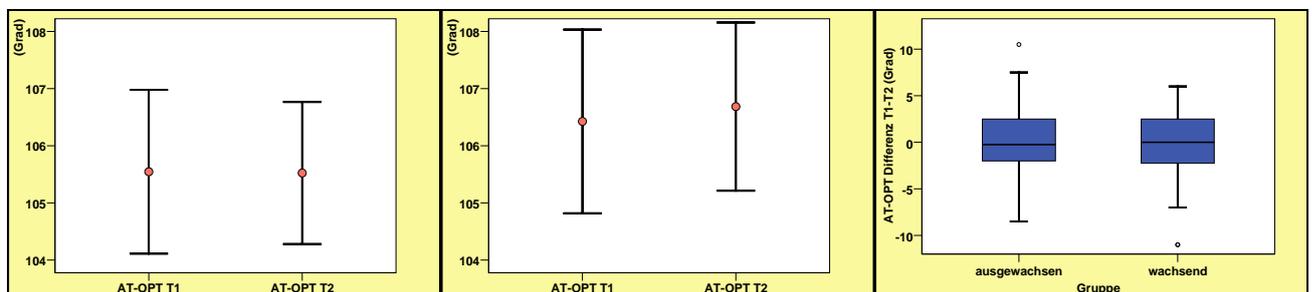


Abb. 19a: AT-OPT im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 19b: AT-OPT im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 19c: Vergleich AT-OPT Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

		ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
n=49		AT-OPT T1 [Grad]	AT-OPT T2 [Grad]	AT-OPT T1 [Grad]	AT-OPT T2 [Grad]
Mittelwert±SD [Grad]		105,5±6,7	105,5±5,8	106,4±8,4	106,7±7,6
Standardfehler des Mittelwertes		1,4	1,2	1,6	1,5
Median		105,5	106,8	106,5	107,0
Minimum		91,5	91,5	90,0	87,0
Maximum		117,0	113,0	127,0	121,0
Perzentile	25	101,9	101,8	102,0	104,0
	50	105,5	106,8	106,5	107,0
	75	109,9	110,0	111,5	112,0

Tab. 29: AT-OPT bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [Grad]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	0,0±4,4	0,9	-0,3	22
wachsend	-0,3±4,2	0,8	0,0	27
Insgesamt	-0,1±4,3	0,6	0,0	49

Tab. 30: AT-OPT Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Bei Betrachtung der Veränderung des AT-OPT Winkels im zeitlichen Verlauf zeigte sich weder bei der Gruppe der ausgewachsenen (T1 vs. T2: 105,5±6,7 Grad vs. 105,5±5,8 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=1,0) noch bei der wachsenden Gruppe statistisch signifikante Veränderungen (T1 vs. T2: 106,4±8,4 Grad vs. 106,7±7,6 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,8). Auch ergab sich bei einem weiteren Vergleich der Veränderung dieses Winkels zwischen den beiden Altersgruppen im beobachteten Zeitraum T1-T2 keine statistische Signifikanz (ausgewachsen vs. wachsend: 0,0±4,4 Grad vs. -0,3±4,2 Grad; Mann-Whitney-U-Test: p= 0,8).

Bei den Erwachsenen kam es zu keiner Winkelveränderung, bei der Gruppe der Jugendlichen zu einer minimalen Winkelzunahme.

4.2.2.2.2 CVT-FH

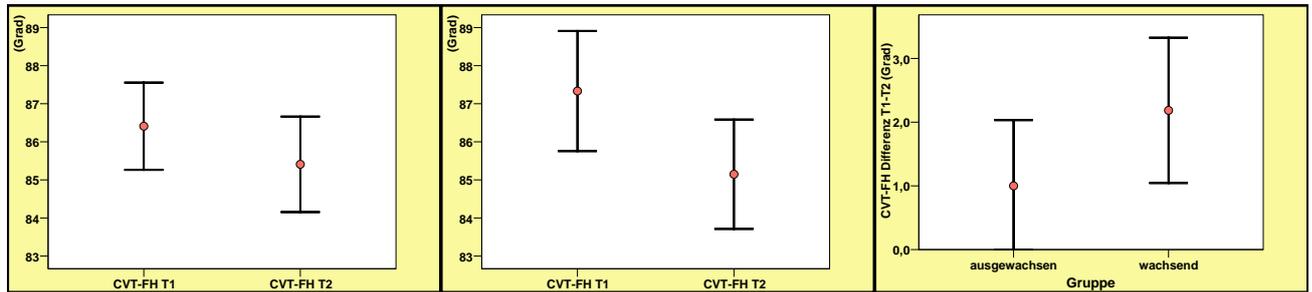


Abb. 20a: CVT-FH im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 20b: CVT-FH im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 20c: Vergleich CVT-FH Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

	ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
	CVT-FH T1 [Grad]	CVT-FH T2 [Grad]	CVT-FH T1 [Grad]	CVT-FH T2 [Grad]
n=49				
Mittelwert±SD [Grad]	86,4±5,4	85,4±5,9	87,3±8,2	85,1±7,5
Standardfehler des Mittelwertes	1,1	1,3	1,6	1,4
Median	87,3	86,5	89,0	86,0
Minimum	77,0	73,0	72,0	69,0
Maximum	97,0	95,0	107,0	98,0
Perzentile				
25	82,8	79,5	83,0	82,0
50	87,3	86,5	89,0	86,0
75	89,1	88,9	92,0	89,5

Tab. 31: CVT-FH bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [Grad]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	1,0 ±4,8	1,0	0,8	22
wachsend	2,2±5,9	1,1	2,0	27
Insgesamt	1,7±5,4	0,8	1,0	49

Tab. 32: CVT-FH Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Bei Betrachtung des Winkels zwischen der Cervical Tangent und der Frankfurter Horizontalen zeigte sich im Kollektiv der Erwachsenen keine statistisch signifikante Änderung der Strecke (T1 vs. T2: 86,4±5,4 Grad vs. 85,4±5,9 Grad; t-Test bei gepaarten

Stichproben: $p=0,3$). In der Jugendlichengruppe zeigte sich dagegen eine Veränderung mit einem statistischer Trend (T1 vs. T2: $87,3\pm 8,2$ Grad vs. $85,1\pm 7,5$ Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: $p=0,07$). Der Vergleich zwischen den Altersgruppen ergab keine signifikanten Unterschiede im zeitlichen Intervall T1-T2 im Hinblick auf diese Messgröße.

Bei beiden Testgruppen war eine mäßige Winkelverkleinerung nachzuweisen (ausgewachsen vs. wachsend: $1,0\pm 4,8$ Grad vs. $2,2\pm 5,9$ Grad; t-Test: $p=0,5$), die bei den Jugendlichen deutlicher ausfiel.

4.2.2.2.3 OPT-FH

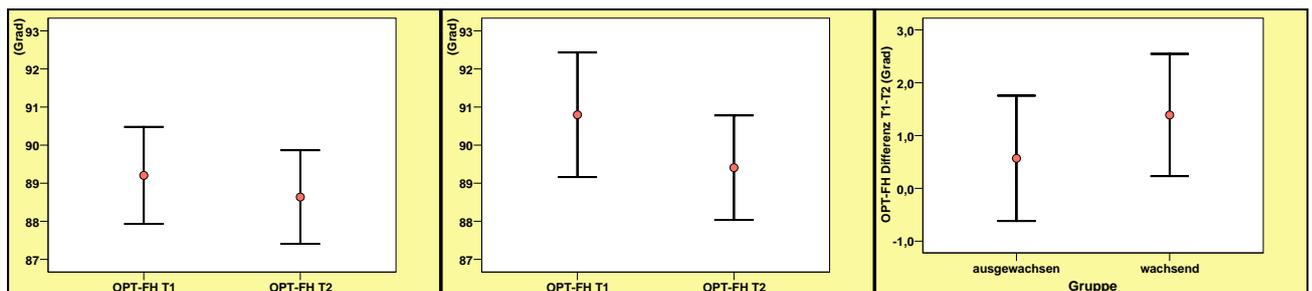


Abb. 21a: OPT-FH im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 21b: OPT-FH im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 21c: Vergleich OPT-FH Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

	ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
	OPT-FH T1 [Grad]	OPT-FH T2 [Grad]	OPT-FH T1 [Grad]	OPT-FH T2 [Grad]
n=49				
Mittelwert \pm SD [Grad]	89,2 \pm 6,0	88,6 \pm 5,8	90,8 \pm 8,5	89,4 \pm 7,1
Standardfehler des Mittelwertes	1,3	1,2	1,6	1,4
Median	88,8	88,3	93,0	90,0
Minimum	79,0	77,5	72,0	75,0
Maximum	103,0	99,5	108,0	101,0
Perzentile				
25	84,8	85,0	85,0	85,5
50	88,8	88,3	93,0	90,0
75	91,5	92,5	96,0	95,0

Tab. 33: OPT-FH bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [Grad]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	0,6 ±5,6	1,2	1,0	22
Wachsend	1,4 ±6,0	1,2	0,0	27
Insgesamt	1,0 ±5,8	0,8	1,0	49

Tab. 34: OPT-FH Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

In Bezug auf den Winkel zwischen der Odontoid Process Tangent und der Frankfurter Horizontalen zeichneten sich keine signifikanten Unterschiede im Verlauf weder bei den ausgewachsenen (T1 vs. T2: 89,2±6,0 Grad vs. 88,6±5,8 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,6) noch bei den noch wachsenden Probanden (T1 vs. T2: 90,8±8,5 Grad vs. 89,4±7,1 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,2) ab.

Bei Betrachtung der Differenz dieses Winkels zwischen Ausgewachsenen vs. Wachsenden wurde bei beiden Gruppen tendenziell eine Verkleinerung des Winkels verzeichnet, jedoch waren die Differenzen zwischen T1 und T2 nicht signifikant (ausgewachsen vs. wachsend: 0,6 ±5,6 Grad vs. 1,4 ±6,0 Grad; t-Test: p=0,6).

4.2.2.2.4 AT-FH

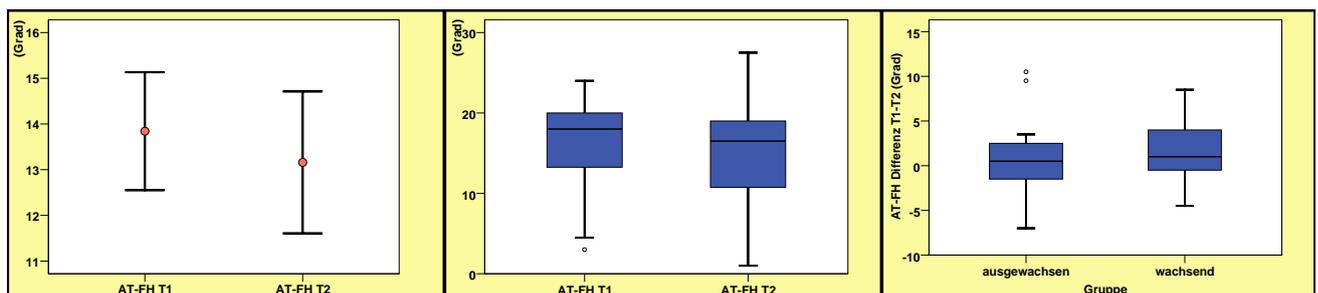


Abb. 22a: AT-FH im Verlauf bei ausgewachsenen Patienten

Abb. 22b: AT-FH im Verlauf bei noch wachsenden Patienten

Abb. 22c: Vergleich AT-FH Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

		ausgewachsen n=22		noch wachsend n=27	
n=49		AT-FH T1 [Grad]	AT-FH T2 [Grad]	AT-FH T1 [Grad]	AT-FH T2 [Grad]
Mittelwert±SD [Grad]		13,8±6,1	13,2±7,3	16,3±6,0	14,8±6,7
Standardfehler des Mittelwertes		1,3	1,6	1,1	1,3
Median		13,3	13,8	18,0	16,5
Minimum		3,5	0,0	3,0	1,0
Maximum		25,0	29,0	24,0	27,5
Perzentile	25	9,5	7,4	13,0	10,0
	50	13,3	13,8	18,0	16,5
	75	20,1	18,6	20,0	19,0

Tab. 35: AT-FH bei ausgewachsenen und noch wachsenden Patienten im Verlauf

Gruppe	Mittelwert±SD [Grad]	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
ausgewachsen	0,7 ±4,1	0,9	0,5	22
wachsend	1,5 ±3,6	0,7	1,0	27
Insgesamt	1,1 ±3,8	0,5	1,0	49

Tab. 36: AT-FH Differenz T1-T2 bei ausgewachsenen vs. noch wachsenden Patienten

Der Vergleich des Winkels zwischen der Atlastransversalen und der Frankfurter Horizontalen ergab keine statistische Signifikanz bei der Verlaufsbeobachtung der ausgewachsenen Patienten (T1 vs. T2: 13,8±6,1 Grad vs. 13,2±7,3 Grad; t-Test bei gepaarten Stichproben: p=0,4). Bei den noch Wachsenden hingegen zeigte sich ein statistischer Trend (T1 vs. T2: 16,3±6,0 Grad vs. 14,8±6,7 Grad; Wilcoxon-Test: p=0,06).

Die Analyse der Differenzen zwischen T1 und T2 ergab keine statistische Signifikanz. Dennoch ließ sich im Gruppenvergleich beobachten, dass es bei beiden Gruppen zu einer Winkelverkleinerung kam, die sich aber in der Gruppe der Wachsenden tendenziell ausgeprägter zeigte (ausgewachsen vs. wachsend: 0,7 ±4,1 Grad vs. 1,5 ±3,6 Grad; Mann-Whitney-U-Test: p= 0,4).

5. Diskussion

5.1 Patientencharakteristika

In der vorliegenden Studie wurden die Probanden nach Alter und Geschlecht eingeteilt, was Vergleichbarkeit und Zweckmäßigkeit gewährleisten sollte. Hieraus resultierten zwei Gruppen, nämlich die der Heranwachsenden und die der Ausgewachsenen. Im Gesamtkollektiv lag eine ausgeglichene Geschlechterverteilung vor, geringfügige Abweichungen im Gruppenvergleich waren statistisch nicht signifikant. Auch in anderen Studien, die morphologische Verknüpfungen zwischen Gebiss und topographischen Veränderungen der HWS untersuchten⁷³, wurde auf ausgeglichene Alters- und Geschlechterverteilung Wert gelegt. Das Altersintervall der Untersuchten erstreckte sich hier von 6 bis 13 Jahren, was unserer Gruppe der Heranwachsenden mit durchschnittlich $12,7 \pm 1,8$ Jahren entsprach. Der Altersmittelwert der Ausgewachsenen mit $24,6 \pm 14,7$ Jahren war mit anderen radiologischen HWS-Untersuchungen an Erwachsenen vergleichbar, die beispielsweise mit Werten von $24,5$ Jahren³⁵ und $28,9 \pm 3,2$ Jahren¹⁵ arbeiteten.

Der Beobachtungszeitraum der Bildgebung von im Mittel $14,3 \pm 5,2$ Monaten war entsprechend der empfohlenen indikationsspezifischen Dauer für festsitzende kieferorthopädische Apparaturen im Rahmen von Ausgangs-, End- und Zwischenkontrollen gewählt⁴⁷.

In einer zusammenfassenden Beurteilung wies das vorliegende Patientenkollektiv die in anderen Studien beschriebenen Charakteristika auf, so dass eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Auch der Beobachtungszeitraum ist als repräsentative und sinnvoll gewählte Zeitspanne anzusehen.

5.2 Gesichtsschädelparameter

Zur Erstellung einer kephalometrischen Analyse und der entsprechenden Interpretation wurde auf Grund der ermittelten Messwerte, etablierten Referenzpunkte und -linien und Normen nach den Methoden von Segner, Hasund und McNamara zurückgegriffen und vorgegangen^{48, 69}.

5.2.1 Sagittale Analyse

Bezüglich des SNA Winkels bewegte sich die Gruppe der Erwachsenen im zeitlichen Untersuchungsintervall zwischen $83,4 \pm 3,2$ Grad und $83,5 \pm 3,3$ Grad und konnten somit dem orthognathen Gesichtstyp zugeordnet werden, dessen Referenzbereich für den Oberkiefer sich zwischen 79 und 85 Grad befindet. Auch die noch wachsende Gruppe befand sich zu beiden Untersuchungszeitpunkten innerhalb des orthognathen Referenzbereiches (T1 $82,1 \pm 3,7$ Grad, T2 $82,9 \pm 3,3$ Grad), wobei es hier zu einer statistisch signifikanten Vergrößerung dieses Winkels um $0,8 \pm 1,9$ Grad kam. Berücksichtigt werden sollte jedoch, dass sich die Gruppe der Heranwachsenden nach der Studie von Tanner 1962⁷⁷ im adoleszenten Wachstumsspur befinden und es zu lokalen Wachstumsvorgängen des naso-maxillären Komplexes mit Verlagerung des Oberkiefers nach anterior und zur Verlängerung der Schädelbasis kommt⁷⁵. Der A- Punkt ist also nicht lagestabil. Auch ist festzuhalten, dass Umbauvorgänge des Oberkiefers nach der Pubertät deutlich in den Hintergrund treten². Zusätzlich haben festsitzende kieferorthopädische Apparaturen Einfluss auf den Frontzahnbereich und damit auch auf die Stellung der Schneidezähne, die den kephalometrischen Bezugspunkt beeinflussen können¹⁶. Schon McNamara⁴⁸ machte darauf aufmerksam, dass es durch weiter labial gelegene Wurzeln und die damit verbundene Auftreibung des Alveolarknochen in der definierten Region des A-Punktes zu einer Vergrößerung des SNA Winkels kommen kann.

Bei Betrachtung des SNB Winkels war das gesamte Kollektiv von Behandlungsbeginn bis –ende dem orthognathen Gesichtstyp mit dem entsprechend definiertem Referenzbereich von 77-83 Grad für den Unterkiefer zugeordnet. Die ausgewachsenen Gruppe bewegte sich zeitlich zwischen $78,3 \pm 3,0$ Grad und $78,4 \pm 3,3$ Grad, die Jugendlichen zwischen

77,2±3,5 und 77,4±3,0 Grad. Folglich kam es zu keinen nennenswerten Winkeländerungen dieses Parameters im Behandlungszeitraum.

Der resultierende ANB Winkel bewegte sich im zeitlichen Verlauf bei den Erwachsenen zwischen 5,2±2,4 Grad zum Zeitpunkt T1 und 5,1±1,8 Grad zum Zeitpunkt T2. Die Jugendlichen zeigten Ausgangswerte von 4,9±2,4 Grad und Abschlusswerte von 5,6±2,0 Grad. Da alle Probanden wie bereits erwähnt dem orthognathen Gesichtstyp zuzuordnen sind, legt Segner⁶⁹ die neutrale sagittale Position der Maxilla in Relation zur Mandibula für diesen Gesichtstyp zwischen 0-4 Grad fest. Alle Personen wiesen zu allen Zeiten einen ANB Winkel größer 4 Grad auf, also eine Überschreitung der neutralen Referenz, woraus ein distaler sagittaler basaler Trend mit einer skelettalen Klasse II resultiert.

In der Gruppe der Jugendlichen kam es zu einer statistisch signifikanten Winkelvergrößerung dieses Parameters um 0,7±1,5 Grad. Diese Entwicklung deckt sich mit der bereits festgestellten Vorverlagerung des A-Punktes im Oberkiefer und der damit verbundenen Winkelvergrößerung um 0,8±1,9 Grad.

5.2.2 Vertikale Messungen

Alle Probanden zeigten vor und nach der untersuchten kieferorthopädischen Behandlung ein neutrales vertikales Verhalten der Kieferbasen, da der klinische Richtwert von 23,5±3 Grad für NL-ML nicht über- oder unterschritten wurde. Die Gruppe der Kinder bewegte sich zwischen 26,4±6,0 Grad und 26,0±5,9 Grad von T1 bis T2 und wies somit eine Tendenz zum skelettalen offenen Biss auf. Die Ausgewachsenen bewegten sich im Rahmen der beiden Messungen von 22,0±5,2 Grad bis 23,8±5,9 Grad. Bei der vertikalen Analyse zeigte sich eine signifikante Vergrößerung des Basiswinkels von 1,3±2,4 Grad in der Gruppe der Erwachsenen, woraus eine verstärkte Divergenz der Kieferbasen resultierte.

Da die Kieferbasen in enger Beziehung zur Okklusionsebene stehen, können diese durch kieferorthopädische Behandlungen beeinflusst werden. Bei Heranwachsenden hat das physiologische Wachstum bei Dysgnathiekorrekturen einen wesentlichen Einfluss auf den Therapieverlauf, während bei Erwachsenen die Neigung der Okklusionsebene oft verstärkt

werden muss, um das geplante kieferorthopädische Ziel zu erreichen¹⁷. Außerdem können solche Veränderungen im Rahmen der Kieferorthopädie ein Ziel, aber auch einen Nebeneffekt darstellen⁶.

Da der Toleranzbereich für die Einteilung in das neutrale Wachstumsmuster relativ breit ist, sollte der Übergang in andere Wachstumsrichtungen bzw. die Annäherung an Definitionsgrenzen nicht absolut betrachtet werden³³. Bei Probanden, die sich an den jeweiligen Maximal- oder Minimalgrenzen befinden, kann eine geringe Veränderung des gemessenen Wertes einen möglichen Wechsel in ein anderes skelettales Muster bewirken. Dem gegenüber steht, dass auch deutliche Positionsveränderungen keine Auswirkung auf die Einteilung nach sich ziehen können, wenn sie sich innerhalb des Referenzintervalls bewegen.

5.2.3 Wachstumsmuster– Summenwinkel nach Björk

Mit Hilfe des Summenwinkels nach Björk⁴ können Einstufungen in definierte Wachstumstypen berechnet werden. Bei der Analyse bewegten sich alle Probanden im vorgegeben neutralen Wachstumsbereich von 394 ± 6 Grad. Gemäss der Definition wäre bei Unterschreitung der Referenz ein horizontales, bei Überschreitung ein vertikales Wachstum zu erwarten. Bei Erwachsenen ist das Wachstum abgeschlossen^{21, 5} und deshalb sind keine Veränderungen in Folge von physiologischen Umbauvorgängen zu erwarten. Dennoch kam es in dieser Gruppe zu einer signifikanten Winkelvergrößerung von $1,4 \pm 2,9$ Grad im Laufe des Beobachtungszeitraumes. Dieser Wert entspricht der bereits erläuterten Vergrößerung des Basiswinkels um $1,3 \pm 2,4$ Grad und der damit verbundenen Zunahme der Divergenz der Kieferbasen. Somit lässt sich feststellen, dass die Zunahme des Summenwinkels bei den untersuchten Erwachsenen nicht wachstums-, sondern kieferorthopädisch bedingt ist.

Diese Tatsache könnte bei der Interpretation der HWS-Parameter möglicherweise Rückschlüsse erlauben, ob iatrogene vertikale Veränderungen der Kieferbasen Einfluss auf die Morphologie der Wirbelsäule haben, da die Untersuchung von¹⁵ Zusammenhängen zwischen der Stellung der Halswirbelsäule und einer Divergenz der Mandibula zeigte.

Die Messungen in der Kindergruppe befanden sich ebenfalls zu allen Untersuchungszeitpunkten im Rahmen des neutralen Wachstums und unterlagen keinen statistisch signifikanten Veränderungen. Die Ergebnisse schwankten zeitlich zwischen $393,2 \pm 5,2$ und $392,8 \pm 5,6$ Grad. Die Beurteilung des Wachstumsmusters mit Hilfe des Summenwinkels sollte kritisch betrachtet werden⁴⁵, dennoch ist es in der vorliegenden Untersuchung hilfreich, mit Hilfe dieses Parameters die beiden untersuchten Gruppen vergleichbar zu gestalten.

5.2.4 Zusammenfassung der Gesichtsschädelergebnisse

Bei der Auswertung der rein knöchernen kephalometrischen Ergebnisse kristallisierte sich heraus, dass sich die Vergleichsgruppen hervorragend auf altersspezifische, strukturelle Veränderungen der HWS im Zusammenhang von orthodontischen Maßnahmen untersuchen lassen, da alle Probanden einen orthognathen Gesichtstyp im Ober- und Unterkiefer, eine skelettale Klasse II, einen neutralen Basiswinkel und ein neutrales Wachstumsmuster in Anlehnung an den Summenwinkel nach Björk aufwiesen. Trotz der homogenen Einteilung zeigten sich im zeitlichen Verlauf signifikante Veränderungen bei den Jugendlichen in der sagittalen und bei den Erwachsenen in der vertikalen Kieferrelation.

5.3 HWS Parameter

5.3.1 Strecken

Bei der Auswertung der Odontoid Process Tangent Distance konnten in der Erwachsenengruppe keine erwähnenswerten Streckenänderungen im Untersuchungszeitraum verzeichnet werden. In der Jugendlichengruppe kam es dagegen zu einer grenzwertig signifikanten Vergrößerung der Strecke um $0,8 \pm 2,1$ mm. Diese Veränderung ist auf Grund der Definition des genannten Parameters ausschließlich dem zweiten Halswirbelkörper zuzuschreiben. Die Kinder befinden sich im vorliegenden Kollektiv mit 6 bis 13 Jahren im Wachstum. Während dieser Phase gewinnen die Wirbelkörper proportional an Höhe, was Hellsing 1991 bei seiner Untersuchung an 8-12 jährigen und 15-jährigen Kinder zeigte²⁷. Auch wiesen Gandini et al. auf den Zusammenhang zwischen der strukturellen Entwicklung der Wirbelkörper und dem Körperlängenwachstum hin²⁴. Die radiologische Interpretation der Wirbelkörper 2 bis 4 ist genauso geeignet wie die Handröntgenmethode, um das skelettale Alter zu bestimmen, woraus sich eine Prognose hinsichtlich des Wachstums und des puberalen Wachstumsschubs ableiten lässt⁵⁶. Auf Grund des dominanten Wachstumseinflusses in der Gruppe der Heranwachsenden ist es unwahrscheinlich, dass ausschließlich die kieferorthopädische Behandlung für die Höhenzunahme des C2 verantwortlich ist. Geuecke beschreibt eine ausgeprägte Distanzzunahme des zweiten HWK bei Mädchen zwischen dem 11. und 15. Lebensjahr mit einem Längenzuwachs von 9 mm und Jungen zwischen 13 und 17 Jahren mit 13 mm vertikaler Anhebung²⁶. Zusätzlich kommen in den aufgeführten Lebensjahren geschlechtsspezifische Endlängen zum Vorschein.

In der vorliegenden Studie war das Alter in der Gruppe der Kinder im Mittel $12,7 \pm 1,8$ Jahre und der Anteil der weiblichen Probanden in der heranwachsenden Gruppe mit 55,6% leicht überrepräsentiert. Demnach ist in unserem Kollektiv das maximale altersbedingte Wachstum noch zu erwarten, dennoch lässt sich ein Entwicklungstrend nachvollziehen. Außerdem können die absoluten Ergebnisse der Streckenmessungen nicht unmittelbar miteinander verglichen werden, da Geuecke die anteriore kaudale Kante und wir die posterior kaudale Kante des Axis (Messpunkt pC2) verwendeten.

Bei der Auswertung Cervical Tangent Distance zeigten beide untersuchten Gruppen im Zeitintervall eine signifikante Streckenzunahme. Bei den Erwachsenen resultierte ein Höhengewinn von $1,4 \pm 2,9$ mm, bei den Kindern $3,2 \pm 2,8$ mm. In der Gruppe der Jugendlichen scheint auch bei dieser Messung das Wachstum entscheidenden Einfluss auf die Änderung zu haben.

Bei der Methode nach San Roman werden bei der Einteilung der Form die HWK C3 und C4 zur Altersbestimmung anhand der Entwicklung der Halswirbel betrachtet, die auch bei der Bestimmung der CVT Distance zwei von drei untersuchten WK ausmachen⁶⁵. Im Laufe des Alterungsprozesses vollziehen diese eine morphologische Veränderung. Von einer rechteckigen Form mit einer langen Basis entwickelt sich ein quadratisches Aussehen bis hin zu einem Rechteck mit einer schmalen Basis (Höhe ist größer als Breite), was im beschriebenen zeitlichen Verlauf mit einer Höhenzunahme einhergeht. Auch bei der Methode nach Lamparski wird die Form der Wirbelkörper nach Abschluss des Wachstums so beschrieben⁷⁴.

Als weitere mögliche Einflussquelle auf die Länge der HWS können neben dem vertikalen Wachstum der Wirbelkörper Veränderungen der Bandscheibe in Betracht gezogen werden. Bei Kindern ist eine wachstumsbedingte Dickenzunahme der Bandscheiben vorstellbar, was eine Streckenverlängerung begünstigen kann. Bei Erwachsenen ist eher von einer Abnahme der Höhe der Disci intervertebrales auf Grund der bradytrophen Stoffwechselsituation, axialen Belastungen und Haltungskonstanz im Alltag mit druckabhängiger Flüssigkeitsverschiebung auszugehen⁴¹. Folglich würde es durch diese Mechanismen eher zu einer Abnahme der Körpergröße kommen. Auch San Roman et al. verweisen in ihrer Studie auf die Faktoren Druck, körperliche Position und Krankheit, die die Wirbelkörperhöhe beeinflussen können⁶⁵. In unserem Erwachsenenkollektiv war das nicht der Fall, da es zu einer signifikanten Streckenvergrößerung gekommen ist. Als Erklärung kann eine Entlordosierungsbewegung der HWS als weiterlaufende Bewegung aller sieben Halswirbelkörper, die sich bei der CVT Distance definitionsgemäß in der Veränderung von C2 bis C4 ausdrückt, angenommen werden.

D'Attilio et al. zeigten 2005 in ihrer Untersuchung Unterschiede in der Ausprägung der HWS-Lordose bei unterschiedlichen skelettalen Klassen¹⁴. Klasse III-Patienten zeigten weniger Lordose im cervicalen Bereich als Probanden der Klasse I und II. Da in unserem

Kollektiv der Jugendlichen der sagittale basale Trend eher in Richtung Klasse II verstärkt wurde (siehe ANB), kann auch eine Entlordosierungstendenz zusätzliche Streckenverlängerung in Addition zum Wachstum bedeuten. Diese Vermutung deckt sich mit den Ergebnissen von Cuccia, der bei Kindern mit Mundatmung einen größeren ANB-Winkel als in der normal atmenden Vergleichsgruppe misst. Bei der Betrachtung der oberen HWS zeigten sich eine vermehrte Reklination und eine rückläufige cervicale Lordosierung¹³.

Zusätzlich kommt D'Attilio zu dem Ergebnis, dass die Stellung der HWS auch stark mit den vertikalen Strukturen des Gesichtschädels assoziiert zu sein scheint. Moya et al. unterstreichen dieses Ergebnis durch Röntgenkontrollen mit und ohne Aufbissschiene im Oberkiefer⁵¹. Auch wenn man in diesem Fall die okklusale Beziehung außer Acht lässt, kommt es durch die herstellungsbedingte Materialstärke zu einer Bissperrung, die eine Erhöhung der Vertikalen induziert. Bei getragener Schiene zeigt sich eine Abschwächung der HWS- Lordose im ersten, zweiten und dritten HWS-Segment. Diese Folgerung deckt sich mit der signifikanten Änderung der vertikalen Relation und der daraus erfolgten Vergrößerung der CVT-Distance bei den Erwachsenen in der vorliegenden Untersuchung. Tallgren et al. zeigten an Hand ihrer kephalometrischen und HWS-spezifischen Messungen an Zahnlosen, dass es in Folge der Kieferkammatrophy zu einer Abnahme der vertikalen Kieferrelation kam, die Lordose der HWS verstärkt wurde und es zusätzlich zu einer Inklination der oberen Halswirbelsäule kam⁷⁶. Diese Aussage korreliert mit der vorliegenden Studie insofern, dass hier in der Gruppe der Erwachsenen eine Bisserrhöhung genau umgekehrte Winkelveränderungen der HWS auslöste.

Einen altersgruppenübergreifenden Hinweis gibt Miralles. Er stellte fest, dass sich bei Heranwachsenden die Halswirbelsäule in Folge einer vertikalen Erhöhung durch herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen entlordosierte. Diese Ergebnisse entsprechen denen der Erwachsenen bei vertikalen Veränderungen in unserer Untersuchung⁴⁹. Die atlas transversale Distanz unterlag bei den Ausgewachsenen keiner statistisch signifikanten Veränderung, bei den Kindern kam es jedoch zu einer sagittalen Streckenvergrößerung von $1,1 \pm 1,4$ mm. Auch bei diesem Parameter kommt das bereits erwähnte Wachstum zu Geltung. Bedingt durch das Wachstum des Neurocraniums, welches sich im Säuglings- und Kleinkindalter überproportional entwickelt, ist der

Wirbelkanal beim Kleinkind annähernd so groß wie beim Erwachsenen⁵⁸. Es findet zum Wirbelkanal hin kein Tiefenwachstum statt und bleibt somit eine rein anteriore-posteriore Vergrößerung.

5.3.2 Winkel

Die in der vorliegenden Studie untersuchten Winkel sollen zeigen, in welchen Abschnitten der HWS beim Patientenkollektiv Bewegung stattfindet. Es soll eine Unterscheidung vorgenommen werden, ob es sich um Stellungsänderungen im funktionellen Komplex der oberen HWS mit den Kopfgelenken oder um kombinierte Bewegungen der oberen HWS und des oberen Anteils der unteren HWS handelt⁶².

Der Winkel CVT-FH schließt alle gelenkigen Verbindungen zwischen C4 und Os occipitale ein. Bei den Kindern zeigt sich ein statistischer Trend mit einer Winkelverkleinerung im zeitlichen Vergleich von $2,2 \pm 5,9$ Grad, bei den Erwachsenen kam es zu keinen statistisch signifikanten Veränderungen, aber trotzdem zu einer Verkleinerung des beobachteten Parameters. Diese Ergebnisse sprechen für eine Aufrichtung der WS im Sinne einer Entlordosierung in beiden Altersgruppen. C4 ist als Scheitelpunkt der HWS- Lordose anzusehen³⁶. Wandert der Messpunkt pC4 nach dorsal, zieht dies eine Winkelverkleinerung nach sich. Dieses Resultat deckt sich mit der Verlängerung der bereits erwähnten gemessenen Strecke der CVT Distance.

Bei den Erwachsenen war weniger Höhenzuwachs auszugleichen ($1,4 \pm 2,9$ mm) als bei den Jugendlichen ($3,2 \pm 2,8$ mm), was sich in der Berechnung der Winkeländerung widerspiegeln kann. Jedoch können bei dieser Winkelmessung die Kopfgelenke der oberen HWS die Ergebnisse beeinflussen, je nachdem ob es dort zu einer Re- oder Inklination kommt. Dieser Frage wird bei der Betrachtung der folgenden einzelgelenkspezifischen Winkelmessungen nachgegangen. Bei der Auswertung des Winkels zwischen der Atlastransversalen und der Frankfurter Horizontalen werden Stellungsänderungen im oberen Kopfgelenk deutlich.

Die Ergebnisse zeigten im zeitlichen Verlauf bei den Erwachsenen keine signifikanten Veränderungen, jedoch zeigte sich eine Winkelverkleinerung. In der Gruppe der Kinder wurde ein statistischer Trend deutlich. Hier kam es zu einem Rückgang des AT-FH Winkels um $1,5 \pm 3,6$ Grad. Dieses Resultat stellt eine Reklination im oberen Kopfgelenk dar. Panjabi et al. und Fielding beschrieben Werte von 3,5 Grad Flexion bis maximal 35 Grad Extension anhand von Untersuchungen an Leichen¹⁹. Durch dieses enorme Bewegungsausmaß in Richtung Reklination scheint das obere Kopfgelenk für einen Winkelausgleich in der Sagittalen prädestiniert zu sein.

Die Winkelmessungen zwischen AT-OPT betreffen das untere Kopfgelenk. Diese gelenkige Verbindung ist hauptsächlich an Rotationsbewegungen des Kopfes beteiligt⁸³. Auf Grund anatomischer Besonderheiten sind jedoch zusätzlich sagittale Bewegungen mit einem Bewegungsausmaß von ca. 22-30 Grad bei extrem endgradigen HWS-Bewegungen möglich⁵⁷, die die oben genannten kompensatorische Bewegungen unterstützen können. Bei den gelenkbezüglichen Messungen konnten zu keinem Zeitpunkt in irgendeiner Gruppe nennenswerte Änderungen gemessen werden. Bei den Erwachsenen resultierte im Mittel überhaupt keine Bewegung im Untersuchungszeitraum ($0,0 \pm 4,4$ Grad).

Durch die anatomisch besondere knöchernerne und ligamentäre Beziehung der Kopfgelenke⁶¹ wirken beide funktionell synergetisch. Aufgabe dieses Gelenkkomplexes ist, neben statischen Funktionen, gewünschte Bewegungsrichtungen einzuhalten und die Orientierung im Raum mit einer horizontalen Augenausrichtung zu gewährleisten. Außerdem erfordern Seh-, Hör- und Geruchssinn schnelle und multidirektionale Bewegungen des Kopfes. Bei den OPT-FH Messungen, die die Stellung dieses Gelenkkomplexes beschreiben, kam es bei beiden untersuchten Gruppen im zeitlichen Intervall zu keinen nennenswerten Winkelveränderungen.

5.3.3 Zusammenfassung der HWS Ergebnisse

Bei der Auswertung der HWS-Parameter zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 zeigte sich in beiden Altersgruppen eine deutliche Zunahme der CVT Distance mit Entlordosierungstendenz. Bei den Jugendlichen muss neben der kieferorthopädischen dentalen Manipulation das Wachstum stark mit Form- und Strukturveränderungen in Verbindung gebracht werden.

Bei den resultierenden Vermessungswinkeln konnten keine signifikanten Änderungen beobachtet werden, dennoch liess sich ein Trend im Sinne einer Reklination im oberen Kopfgelenk zum Ausgleich der Winkeländerung ableiten. Das untere Kopfgelenk war in unserer Untersuchung keinen Winkelveränderungen unterworfen.

5.4 Schlussfolgerung

Bei der vorliegenden Untersuchung war es wichtig, die untersuchten, kephalometrisch homogenen Altersgruppen auf extreme Abweichungen zu sondieren und mögliche Zusammenhänge zwischen vertikalen und sagittalen kieferorthopädischen Beeinflussungen und deren eventuellen Einfluss auf Stellungsänderungen der HWS aufzudecken. Betrachtet man die Gruppe der Erwachsenen, zeigt sich eine kieferorthopädische Beeinflussung der vertikalen Kieferrelation, die mit einer diskreten Stellungsänderung der HWS einherging. Bei den Kindern wurde die sagittale Kieferrelation orthodontisch verändert und dadurch die Kopfgelenks- und HWS-Stellung beeinflusst.

Inwieweit man die Ergebnisse mit Hinblick auf die Änderung der Wirbelsäulenstellung innerhalb der Altersgruppen übertragen kann, bleibt in dieser Untersuchung offen.

Da bei Jugendlichen das Wachstum und die Körperhaltung während der Entwicklung eine wesentliche Rolle spielen, sollte bei langandauernden und eingeschränkt prognostizierbaren kieferorthopädischen Behandlungen ein interdisziplinäres Handeln zwischen Kieferorthopädie, Orthopädie und Physiotherapie angestrebt werden.

Die Frage, ob Veränderungen der Okklusion und der Kieferrelation zu vorhersagbaren funktionellen Störungen der HWS- und Cervikalregion führen, wird weiterhin Stoff für anregende und oft gegensätzliche Diskussionen geben.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden morphologische Veränderungen aufgedeckt und nachgewiesen, aber über das Ausmaß der klinischen Relevanz und der funktionellen Wertigkeiten der Veränderungen kann in diesem Rahmen keine Stellung bezogen werden. In der vorliegenden Untersuchung ist die Anzahl der Probanden für definitive Aussagen zu klein und um die sich abzeichnenden Ergebnisse zu evaluieren, werden weitere Studien erforderlich sein. Der Blick sollte zudem auf das wichtige Thema Früherkennung gerichtet sein, um bei auftretenden Problemen die Möglichkeit der Stellungsveränderungen der Wirbelsäule in Betracht zu ziehen und rechtzeitig intervenieren zu können.

6. Literaturverzeichnis

1. Bartsch C (2007) Morphologische Funktionsanalyse des oberen Kopfgelenkes mittels CT- Osteoabsorptiometrie. München, Univ, Diss
2. Baumrind S, Korn EL, Ben-Bassat Y, West EE (1987) Quantitation of maxillary remodeling. 2. Masking of remodeling effects when an "anatomical" method of superimposition is used in the absence of metallic implants. Am J Orthod Dentofacial Orthop 91:463-74
3. Björk A (1955) Facial growth in man; x-ray studies with implanted metal indicators. Tandlaegebladet 59:55-66
4. Björk A (1969) Prediction of mandibular growth rotation. Am J Orthod 55:585-99
5. Björk A, Skieller V (1972) Facial development and tooth eruption. An implant study at the age of puberty. Am J Orthod 62:339-83
6. Braun S, Legan HL (1997) Changes in occlusion related to the cant of the occlusal plane. Am J Orthod Dentofacial Orthop 111:184-8
7. Broadbent B (1931) A new x-ray technique and its application to orthodontia. Angle Orthod 1:45-66
8. Celar AG, Bantleon HP (2004) Kраниomандибулäre Dysfunktion: Review und Analyse. Inf Orthod Kieferorthop 36:1,8
9. Chinappi AS Jr, Getzoff H (1995) The dental-chiropractic cotreatment of structural disorders of the jaw and temporomandibular joint dysfunction. J Manipulative Physiol Ther 18:476-81
10. Clausnitzer R (2002) Kieferorthopädische Grundlagen für Logopäden und Sprachtherapeuten. Modernes Lernen, Dortmund
11. Costen J (1934) Syndrom of ear and sinus symptoms dependent on disturbed function of the temporomandibular joint. Ann Otol Rhin Laryng 43:1-15
12. Coy RE, Flocken JE, Adib F (1991) Musculoskeletal etiology and therapy of craniomandibular pain and dysfunction. Cranio clinics international 1:163-73
13. Cuccia AM, Lotti M, Caradonna D (2008) Oral breathing and head posture. Angle Orthod 78:77-82
14. D'Attilio M, Caputi S, Epifania E, Festa F, Tecco S (2005) Evaluation of cervical posture of children in skeletal class I, II, and III. Cranio 23:219-28

15. D'Attilio M, Epifania E, Ciuffolo F, Salini V, Filippi MR, Dolci M, Festa F, Tecco S (2004) Cervical lordosis angle measured on lateral cephalograms; findings in skeletal class II female subjects with and without TMD: a cross sectional study. *Cranio* 22:27-44
16. Drescher D (2000) Fernröntgenanalyse. In: Diedrich P (ed) *Kieferorthopädie I*. Urban Fischer, München, pp 261-91
17. Dyer GS, Harris EF, Vaden JL (1991) Age effects on orthodontic treatment: adolescents contrasted with adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 100:523-30
18. Egermark I, Thilander B (1992) Craniomandibular disorders with special reference to orthodontic treatment: an evaluation from childhood to adulthood. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 101:28-34
19. Fielding JW (1957) Cineröntgenography of the normal cervical spine. *J Bone Joint Surg Am* 39-A:1280-8
20. Fink M, Tschernitschek H, Wähling K, Stiesch-Scholz M (2004) Einfluss okklusaler Veränderungen auf die Funktion der Wirbelsäule. *ZWR* 113:314,321
21. Fleischer-Peters A, Baycan C, Prestele H (1978) Untersuchungen zur Dauer der Reifestadien der Hand. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* 39:77-86
22. Fuhrmann R (2008) Interdisziplinäre Kieferorthopädie beim Erwachsenen. *Zahnmedizin up2date* 2:41,52
23. Gale A, Kilpelainen PV, Laine-Alava MT (2001) Hyoid bone position after surgical mandibular advancement. *Eur J Orthod* 23:695-701
24. Gandini P, Mancini M, Andreani F (2006) A comparison of hand-wrist bone and cervical vertebral analyses in measuring skeletal maturation. *Angle Orthod* 76:984-9
25. Gernet W, Rammelsberg P (2000) In: Schwenzer N, Ehrenfeld M (eds) *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Bd 3*. Thieme, Stuttgart New York, pp 263-67
26. Geuecke R (2010) Vertikale Lage der Mandibula zu den Halswirbeln. Marburg an der Lahn, Univ, Diss
27. Helsing E (1991) Cervical vertebral dimensions in 8-, 11-, and 15-year-old children. *Acta Odontol Scand* 49:207-13
28. Hirsch C, John M (2003) Prävalenz kranio-mandibulärer Dysfunktionen (CMD) bei Kindern und Jugendlichen. *DZZ* 58:589-92

29. Hirsch C, John M (2005) Szenarien zu Krankheitskosten in der Diagnostik und Therapie kranio-mandibulärer Dysfunktionen in Deutschland. DZZ 60:108-11
30. Hofrath H (1931) Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie 1:232-58
31. Huang GJ, LeResche L, Critchlow CW, Martin MD, Drangsholt MT (2002) Risk factors for diagnostic subgroups of painful temporomandibular disorders (TMD). J Dent Res 81:284-8
32. Hülse M, Neuhuber W, Wolff HD, Neuhuber WL (2005) Die obere Halswirbelsäule. Springer, Berlin
33. Janson I, Röhl M (1974) Variationen der neutralen Bißlage. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie 35:163-74
34. John M, Hirsch C, Reiber T (2001) Häufigkeit, Bedeutung und Behandlungsbedarf kranio-mandibulärer Dysfunktionen (CMD). Journal of Public Health 9:136-55
35. Johnson GM (1998) The correlation between surface measurement of head and neck posture and the anatomic position of the upper cervical vertebrae. Spine 23:921-7
36. Kapandji IA (1999) Funktionelle Anatomie der Gelenke. Hippokrates, Stuttgart
37. Kares H (2010) Kranio-mandibuläre Dysfunktionen auf Grundlage der evidenzbasierten Zahnmedizin. ZWR 119:80,86
38. Knese KH (1948) Kopfgelenk, Kopfhaltung und Kopfbewegungen des Menschen. Z Anat Entwicklungsgesch 114:67-107
39. Körber K (1995) Zahnärztliche Prothetik. Thieme, Stuttgart New York
40. Korbmacher H, Eggert-Stroeder G, Koch L, Kahl-Nieke B (2004) Correlations between Anomalies of the Dentition and Pathologies of the Locomotor System- a Literature Review. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie 65:190-203
41. Krämer J, Wilcke A, Krämer R (2005) Wirbelsäule und Sport. Deutscher Ärzteverlag, Köln
42. Lechner KH (2008) Kritische Betrachtungen zur Therapie von CMD-Patienten. Manuelle Medizin 46:386-8
43. Lehmann K, Hellwig E (1998) Einführung in die restaurative Zahnheilkunde. Urban & Schwarzenberg, München

44. Lippold C, Danesh G, Hoppe G, Drerup B, Hackenberg L (2006) Sagittal spinal posture in relation to craniofacial morphology. *Angle Orthod* 76:625-31
45. Lux CJ, Conradt C, Stellzig A, Komposch G (1999) Evaluation of the predictive impact of cephalometric variables. Logistic regression and ROC curves. *J Orofac Orthop* 60:95-107
46. Maino BG (2000) Die kieferorthopädische Behandlung als Teil der modernen Parodontaltherapie. *Inf Orthod Kieferorthop* 32:99,999
47. McNamara JA Jr (1984) Dentofacial adaptations in adult patients following functional regulator therapy. *Am J Orthod* 85:57-71
48. McNamara JA Jr (1984) A method of cephalometric evaluation. *Am J Orthod* 86:449-69
49. Miralles R, Moya H, Ravera MJ, Santander H, Zuniga C, Carvajal R, Yazigi C (1997) Increase of the vertical occlusal dimension by means of a removable orthodontic appliance and its effect on craniocervical relationships and position of the cervical spine in children. *Cranio* 15:221-8
50. Moll KJ, Moll M (1992) *Winterthur Anatomie Atlas*. Jungjohann, Neckarsulm Stuttgart
51. Moya H, Miralles R, Zuniga C, Carvajal R, Rocabado M, Santander H (1994) Influence of stabilization occlusal splint on craniocervical relationships. Part I: Cephalometric analysis. *Cranio* 12:47-51
52. Müller-Wachendorff R (1961) Untersuchungen über die Häufigkeit des Auftretens von Gebißanomalien in Verbindung mit Skelettdeformitäten unter besonderer Berücksichtigung der Skoliosen. *Fortschr Kieferorthop* 22:399-403
53. Netter FH (2000) *Atlas der Anatomie des Menschen*. Thieme, Stuttgart New York
54. Neuhuber W (2007) Anatomie und funktionelle Neuroanatomie der oberen Halswirbelsäule. *Manuelle Medizin* 45:227-31
55. Nilner M (1983) Relationships between oral parafunctions and functional disturbances in the stomatognathic system among 15- to 18-year-olds. *Acta Odontol Scand* 41:197-201
56. Pancherz H, Szyska M (2000) Analyse der Halswirbelkörper statt der Handknochen zur Bestimmung der skelettalen und somatischen Reife. *Inf Orthod Kieferorthop* 32:151,161

57. Panjabi M, Dvorak J, Duranceau J, Yamamoto I, Gerber M, Rauschnig W, Bueff HU (1988) Three- dimensional movements of the upper cervical spine. Spine 13:726-30
58. Pfeil J (2002) Wachstum der Wirbelsäule unter normalen und krankhaften Bedingungen. Der Orthopäde 31:2-10
59. Platzer W (1991) Taschenatlas der Anatomie Bd 1. dtv, München
60. Platzer W (1991) Taschenatlas der Anatomie Bd 2. dtv, München
61. Putz R (1992) The detailed functional anatomy of the ligaments of the vertebral column. Ann Anat 174:40-7
62. Putz R (1981) Funktionelle Anatomie der Wirbelgelenke. Thieme, Stuttgart
63. Riedlinger K (2008) Der Zusammenhang zwischen Temporomandibulärer Dysfunktion und Schmerzen im Bewegungssystem. München, Univ, Diss
64. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2003) Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen. Beuth, Berlin
65. San Roman P, Palma JC, Oteo MD, Nevado E (2002) Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development. Eur J Orthod 24:303-11
66. Scheier HJG (1969) Behandlung des Morbus Scheuermann. Sozial- und Präventivmedizin/Social and Preventive Medicine 14:147-55
67. Schmidt H (1994) Kopf und Hals. In: Drenkhan D, Zenker W (eds) Benninghoff Anatomie Bd 1. Urban & Schwarzenberg, München
68. Schupp W (2001) Gesichtsschmerz aus Sicht der Kieferorthopädie. Manuelle Medizin 39:327-36
69. Segner D, Hasund A (1998) Individualisierte Kephalmetrie. Dr D Segner Verlag, Hamburg
70. Simons DG, Travell J (1981) Myofascial trigger points, a possible explanation. Pain 10:106-9
71. Solow B, Tallgren A (1976) Head posture and craniofacial morphology. Am J Phys Anthropol 44:417-35
72. Sonnenabend E, Benz C (1997) Röntgentechnik in der Zahnheilkunde. Urban & Schwarzenberg, München
73. Sterzik G, Grasshoff H, Lenschow B (1992) The morphological relations of eugnathia and class-II/1 and class-III malocclusions to the changes in the topography of the cervical spine in the lateral teleroentgenogram. Fortschr Kieferorthop 53:69-76

74. Stiehl J, Müller B, Dibbets J (2009) The Development of the Cervical Vertebrae as an Indicator of Skeletal Maturity: Comparison with the Classic Method of Hand-wrist Radiograph. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* 70:327-35
75. Stöckli PW (1994) Postnataler Wachstumsverlauf, Gesichts- Kieferwachstum und Entwicklung der Dentition. In: Stöckli PW, Ben-Zur ED (eds) *Zahnmedizin bei Kindern und Jugendlichen*. Thieme, Stuttgart
76. Tallgren A, Lang BR, Walker GF, Ash MM Jr (1983) Changes in jaw relations, hyoid position, and head posture in complete denture wearers. *J Prosthet Dent* 50:148-56
77. Tanner J (1962) *Growth and adolescence*. Blackwell Scientific Publications, Oxford
78. Tecco S, Festa F (2007) Cervical spine curvature and craniofacial morphology in an adult Caucasian group: a multiple regression analysis. *Eur J Orthod* 29:204-9
79. Vanderas AP, Papagiannoulis L (2002) Multifactorial analysis of the aetiology of craniomandibular dysfunction in children. *Int J Paediatr Dent* 12:336-46
80. Waldeyer A (1987) *Anatomie des Menschen für Studierende und Ärzte*. De Gruyter, Berlin
81. Wenzel A, Williams S, Ritzau M (1989) Changes in head posture and nasopharyngeal airway following surgical correction of mandibular prognathism. *Eur J Orthod* 11:37-42
82. Wolff HD (1996) *Neurophysiologische Aspekte des Bewegungssystems*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio
83. Wolff HD (1997) The vertebral motor segment C2–3 is also a transitional region. *Manuelle Medizin* 35:59-62

7. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Jörg Lisson für die Überlassung des Themas. Seine intensive und motivierende Betreuung trugen zum Erfolg dieser Arbeit bei.

Ein ebenso großer Dank gebührt Herrn Dr. Björn Ludwig für die freundliche Unterstützung und stete kollegiale Hilfsbereitschaft bei allen Fragen sowie für den Zugriff auf Studienmaterial aus seiner kieferorthopädischen Praxis in Traben-Trarbach, ohne welches die Bearbeitung des Themas nicht möglich gewesen wäre.

Frau Dr. Tanja Kottmann danke ich für die Hilfestellung bei der statistischen Auswertung sowie für hilfreiche Tipps bei der Erstellung der Arbeit.

Abschließend bedanke ich mich bei meinen Eltern und meiner Frau Nina für den unermüdlichen Rückhalt, die Unterstützung bei allen Entscheidungen und für die bei Sorgen jederzeit offenen Ohren.

8. Lebenslauf

Rainer Hanke-Anderl

geboren am 28.07.1972 in Bamberg

verheiratet

Schulbildung

1976 – 1982 Kunigundenschule Bamberg

1982 – 1991 Dientzenhofer- Gymnasium Bamberg, Abitur

Hochschulbildung

11/1991 - 09/1993 Studium für das Lehramt Gymnasium; FAU Erlangen
(Sport- und Wirtschaftswissenschaften)

11/2002 – 02/2008 Studium der Zahnmedizin, LMU München

Bundeswehr

10/1993 – 09/1994 Grundwehrdienst

Berufsausbildung

10/1994 – 03/1997 Ausbildung zum Sport- und Gymnastiklehrer/
Sporttherapeuten, Berufskolleg Waldenburg

04/1997 – 09/1999 Ausbildung zum Physiotherapeuten, Berufskolleg Waldenburg

Berufliche Tätigkeit

11/1999 – 09/2002 Physiotherapeut, Reha- Zentrum Valznerweiher, Nürnberg

03/2008 – 03/2010 Vorbereitungsassistent bei Fr. Dr. med. dent. M. Drotleff,
Geretsried

seit 03/2010 Angestellter Zahnarzt