

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
der Universität Würzburg
Direktorin: Prof. Dr. med. dent. A. Stellzig-Eisenhauer

**Einflüsse des Herbstscharniers auf das Viszerokranium und den
Rachenraum bei Jugendlichen**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg
vorgelegt von
Dr. med. Boris Alexander Herzlieb
aus Göttingen

Braunschweig, Februar 2013

Referentin: Prof. Dr. med. dent. A. Stellzig-Eisenhauer

Korreferent: PD Dr. med. Dr. med. dent. J. Bill

Dekan: Prof. Dr. med. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung:

Der Promovend ist Arzt und Zahnarzt.

Dem Dackel Leopold und dem Border Collie Corry.

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
der Universität Würzburg
Direktorin: Prof. Dr. med. dent. A. Stellzig-Eisenhauer

**Einflüsse des Herbstscharniers auf das Viszerokranium und den
Rachenraum bei Jugendlichen**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg
vorgelegt von
Dr. med. Boris Alexander Herzlieb
aus Göttingen

Braunschweig, Februar 2013

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Therapie mit dem Herbstscharnier	1
1.1.1	Historische Entwicklung	1
1.1.2	Aufbau des Herbstscharniers	1
1.1.3	Behandlungsindikation und Therapie mit dem Herbstscharnier	2
1.2	Retrognathie und Angle-Klasse II	5
1.3	Der pharyngeale Raum	6
1.4	Das obstruktive Schlafapnoesyndrom	9
1.5	Fragestellung und Ziel der Untersuchung	14
2.	Material und Methodik	16
2.1	Probanden und Aufbau der Herbstapparatur	16
2.2	FRS-Analyse	18
2.2.1	Röntgenologische Bildgebung	18
2.2.2	Aufnahmezeitpunkte	18
2.2.3	Kephalometrie	18
2.2.3.1	Kephalometrische Bezugspunkte	19
2.2.3.2	Referenzlinien und metrische Parameter	23
2.2.3.3	Referenzwinkel	26
2.2.4	FRS-Analyse der skelettalen Veränderungen des Gesichtsschädels	28
2.2.5	FRS-Analyse der Veränderungen im pharyngealen Raum	33
2.3	Statistik	34
3.	Ergebnisse	37
3.1	Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten	37

3.2	Reliabilität der Messungen	38
3.3	Sagittale Parameter	41
3.4	Vertikale Parameter	42
3.5	Dentale Parameter	43
3.6	Metrische Parameter	45
3.7	Hyoidverlagerung	45
3.8	Pharyngeale Parameter	46
3.9	Korrelationen zwischen den Meßwerten	47
4.	Diskussion	49
4.1	Diskussion der Demographie	49
4.2	Diskussion von Methode und statistischer Auswertung	50
4.3	Diskussion der skelettalen und dentalen Veränderungen	51
4.4	Diskussion der hyoidalen und pharyngealen Veränderungen	56
5.	Schlußfolgerung	61
6.	Zusammenfassung	63
7.	Literaturverzeichnis	65
8.	Abbildungsverzeichnis	73
9.	Tabellenverzeichnis	74
	Danksagung	
	Lebenslauf	

1. Einleitung

1.1 Therapie mit dem Herbstscharnier

1.1.1 Historische Entwicklung

Das Herbstscharnier ist ein 1909 von Emil Herbst eingeführtes kieferorthopädisches Gerät, das auf die Lage- und Dimensionsänderung des Unterkiefers nach ventral abzielt. In seinem Buch „Praxis des Retentionsscharniers und der automatischen Regulierung“ wies Herbst 1935 auf die sofort nach dem Einsetzen entstehende veränderte Lage von Zunge, Lippen und Wange hin. Herbst folgte damit dem von Roux beschriebenen Prinzip der funktionellen Anpassung, wonach veränderte Muskelzüge zu Knochenumbauvorgängen im Bereich der Kiefer und der Kiefergelenke genutzt werden können. Nachdem das Herbstscharnier dann in Vergessenheit geraten war, erfuhr es durch Hans Pancherz 1979 eine Renaissance und wird seitdem wieder weltweit zur Korrektur der Distalbißlage eingesetzt [47]. In einer Übersichtsarbeit beschrieben Aelbers und Dermaut 1996 das Herbstscharnier als das einzige kieferorthopädische Gerät, welches klinisch sichtbaren Einfluß auf das Unterkieferwachstum habe [2]. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existieren über 2600 veröffentlichte medizinische Studien zur Herbstapparatur.

1.1.2 Aufbau des Herbstscharniers

Das Herbstscharnier stellt eine zahnverankerte gelenkige Verbindung zwischen Ober- und Unterkiefer dar. Die Verbindung geschieht über ein an den Oberkieferverankerungselementen kugelgelenkig befestigtes Metallrohr, das die Aufnahme für ein zweites zum Unterkieferverankerungselement führendes Metallrohr bildet, die Metallrohre greifen also teleskopartig ineinander. Die Länge des Teleskopsteges sperrt die vormals habituelle Distalbewegung beim Mundschluß und führt so den Unterkiefer statisch und dynamisch nach ventral. Es handelt sich um ein festsitzendes kieferorthopädisches Gerät. Im Oberkiefer erfolgt die Verankerung in der Regel am ersten Molaren und am ersten Prämolaren, im Unterkiefer erfolgt die Verankerung am Eckzahn oder am ersten Prämolaren sowie dem ersten Molaren. Vorteile für die Verankerung am Eckzahn gegenüber dem ersten Prämolaren des Unterkiefers sind die lange Wurzel und die konische Krone. Ferner entsteht durch die den weiter mesial

liegenden Eckzahn ein verlängerter Steg, wodurch die mögliche Laterotrusion des Unterkiefers merklich gesteigert wird, was wiederum den Tragekomfort erhöht. Eine vergleichende Untersuchung zu verschiedenen Verankerungsformen im Unterkiefer von Weschler und Pancherz ergab in diesem Zusammenhang, dass gegossene Verankerungselemente (Verankerung von Eckzähnen bis zum zweiten Molaren) gegenüber einer Bänderverankerung an Prämolaren oder an Prämolaren in Kombination mit Molaren keinen Vorteil erbrachten, der Verankerungsverlust wurde dabei durch die Proklination der Schneidezähne und die Anteriorbewegung von Molaren und Schneidezähnen bewertet [67]. Von Bremen et al. beschrieben in einer ähnlichen Untersuchung, dass die vollständige Verankerung von Molar bis Eckzahn im Vergleich zur Befestigung an Prämolaren und Eckzahn zu einer geringeren Proklination aber größeren Protrusion der Unterkieferfront führte [7]. Bezüglich des Verankerungsverlusts ist es also nicht von Vorteil, möglichst viele Zähne in die Verankerung einzubeziehen. Weiterhin besteht bei der Verankerung am ersten Prämolaren des Unterkiefers die Gefahr der Intrusion, da der Hauptvektor der vom Oberkiefer übertragenen Kraft deutlich vertikaler verläuft als bei der Verankerung am weiter mesial liegenden Eckzahn. Zudem befindet sich ein Teil der Patienten noch in der zweiten Phase des Wechselgebisses. Die Durchbruchreihenfolge (Eckzahn - erster Prämolare - zweiter Prämolare) spricht demnach ebenfalls für die Befestigung am Eckzahn, da der erste Prämolare mitunter noch gar nicht durchgebrochen ist und die Extrusion desselben somit ungehindert stattfinden kann. Die vorgenannte therapieinduzierte Proklination der Unterkieferfront führt in der Regel nicht zur Ausbildung von gingivalen Rezessionen: Ruf et al. fanden unter 392 untersuchten Unterkieferfrontzähnen von Jugendlichen nur bei drei Prozent neue Rezessionen oder eine Zunahme von vorbestehenden Gewebsdefekten [52].

1.1.3 Behandlungsindikation und Therapie mit dem Herbstscharnier

Hauptbehandlungsindikation für das Herbstscharnier (HS) ist der im Vergleich zum Oberkiefer im Wachstum zurückgebliebene Unterkiefer und die daraus resultierende skelettale Klasse II. Meist geht diese Retrognathie mit einer Angle-Klasse II (s.u.) einher. Die Therapie führt durch den oben beschriebenen Verankerungsmechanismus immer zu geringfügigen Zahnwanderungen im Knochen, mittelbar kommt es durch Kraftübertragung auf den umgebenden

Knochen und den daraus resultierenden Zug auf Bänder und Muskeln oder Druck auf den Knochen zu Apposition und Resorption. Auf diese Weise ist einerseits eine Ventralverlagerung der gesamten Mandibula inklusive der vorhandenen Bezahnung möglich, andererseits kommt es vor allem im Wachstum zu sagittalen und vertikalen Dimensionänderungen, die abhängig von ihrem Ort ebenfalls zu dentalen Lageänderungen führen. Weiterhin ist durch die Therapie auch eine isolierte Korrektur der Angle-Klasse II bei Patienten möglich, die bezüglich der skelettalen Parameter einen grenzwertig prognathen Einbau beider Kieferbasen aufweisen, ohne das Gesichtsprofil negativ zu beeinflussen [4].

Die Förderung der Ventralentwicklung der Mandibula durch die Herbstapparatur geschieht abhängig vom Alter des Patienten auf drei Arten: Während der Hauptwachstumsphase geschieht die Längenzunahme des Copus mandibulae über eine Remodellation des Ramus ascendens, dessen dorsokraniale Knochenapposition mittelbar zu einer Verlängerung des horizontalen Astes führt (anatomisch gesehen überschneiden sich der horizontale und der aufsteigende Ast im Bereich des Kieferwinkels). Am Ende des pubertären Wachstums kommt es vor allem zu einer Stimulation des kondylären Wachstums, hierbei kommt es durch Zug im Bereich der bilaminären Zone zu Knochenanbau am dorsokranielen Teil des Capitulum und am gegenüberliegenden Teil der Gelenkgrube. Über den Kieferwinkel führt diese vertikale Längenzunahme des Ramus ascendens dann zu einer Ventralverlagerung des horizontalen Astes. Die kondyläre Wachstumsstimulation konnte von Paulsen et al. tierexperimentell und durch dreidimensionale Bildgebung bewiesen werden [49]. Enlow beschreibt den avaskulären Faserknorpel der Kondylen wegen nicht linearer Anordnung der benachbarten Zellen als in alle Richtungen proliferationsfähig, woraus die hohe Fähigkeit zu Remodellation und Reparation resultiert [12]. Nach Abschluß des Wachstums kommt es zu einem sogenannten Fossa shift. Hierbei finden die Umbauvorgänge nicht mehr am Capitulum des Unterkiefers statt, sondern nur noch an der umgebenden Gelenkgrube: Ventral des Kiefergelenkköpfchens kommt es unter Druck zu Knochenabbau, am dorsalen Anteil der Fossa articularis kommt es unter Zug des posterioren Ligaments zu Knochenapposition, die Articulatio temporomandibularis wandert also insgesamt nach anterior. Die

Existenz des Fossa shifts konnte von Woodside et al. sowohl im Tierexperiment als auch durch Röntgen- und MR-Bildgebung nachgewiesen werden [70]. Mittelbar führt der Fossa shift also zu einer Verlagerung des gesamten Unterkiefers nach ventral. In MRT-Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass sich die Therapie nicht schädlich auf die Kiefergelenke auswirkte: Studien von Haas und Richter konnten zeigen, dass die Relation von Fossa und Kondylus sowie die physiologische Diskuslage unverändert blieb, bei Patienten mit Diskusverlagerung erfolgte teilweise sogar eine Rückverlagerung des Diskus in die physiologische Position [17].

Neben den vorgenannten Auswirkungen auf Kiefergelenk und Ramus ascendens wirkt sich die Herbstscharniertherapie positiv auf den Nasolabialwinkel und die Abstützung der Oberlippe aus, wenn durch die Ventralentwicklung des Unterkiefers und die Verringerung der sagittalen Stufe eine Extraktion der ersten Oberkieferprämolaren vermieden werden kann. Während des Wachstums kommt es ohnehin zu einer Vergrößerung des Nasolabialwinkels. Stellzig et al. konnten in einer Longitudinalstudie bei Klasse II/2-Patienten zeigen, dass die Prämolarenextraktion im Vergleich zur unbehandelten Kontrollgruppe zu einem signifikant stärkeren Zurückweichen der Oberlippe führte [65]. Mittelbar wirkt sich die HS-Therapie also positiv auf den Nasolabialwinkel aus, wenn so Extraktionen im Oberkiefer vermieden werden können.

Um durch ein herausnehmbares funktionskieferorthopädisches Gerät eine Veränderung von Unterkiefer und Kiefergelenk zu erreichen ist eine minimale Tragedauer von acht bis zwölf Stunden täglich notwendig. Dies ist grundsätzlich auch mit dem von Andresen und Häupl entwickelten Aktivator möglich, Nachteil dieses und anderer herausnehmbarer funktionskieferorthopädischer Geräte ist jedoch die Abhängigkeit von der Compliance des Patienten. Das Herbstscharnier ist ein festsitzendes funktionskieferorthopädisches Gerät.

Die Eingliederung des HS gliedert sich in mehrere Schritte: Um die sagittale Vorverlagerung der Mandibula möglich zu machen, werden zunächst transversale Hindernisse der Seitenzähne beseitigt und die Frontzahnachsen korrigiert. Danach werden diejenigen Zähne separiert, an denen die Verankerungselemente befestigt werden sollen, um eine Anpassung der Bänder möglich zu machen. Nach temporärer Einbringung der Bänder,

Abformung und Konstruktionsbissnahme erfolgt die zahntechnische Fertigstellung der Apparatur. Bis zum definitiven Einsetzen des HS bleiben die Verankerungszähne weiter separiert. Die Tragedauer liegt in der Regel bei sechs Monaten. Nach Herausnahme der Apparatur ist zur Nivellierung der Okklusion in der Regel eine abschließende Multibandtherapie notwendig. Pancherz betonte in einer Übersichtsarbeit zur Herbstapparatur die Notwendigkeit eines Retentionsgerätes, um Rezidive zu vermeiden [43], als Hauptgründe für auftretende Rezidive nach Abschluß der Therapie führt der Autor die instabile Verzahnung und fortbestehende Zungendysfunktionen an [46].

1.2 Retrognathie und Angle-Klasse II

Angle beschrieb 1907 die sagittalen Okklusionsverhältnisse anhand der Verzahnung der Sechsjahresmolaren, diese sogenannte Bißstellung ließ jedoch die Tatsache unberücksichtigt, dass Zähne wandern oder durch dystope Keimlagen eine Stellungsanomalie aufweisen können. Die Verzahnung der ersten Molaren und die daraus resultierende Angle-Klassifikation ist also nicht geeignet, um die Lagebeziehung des zahntragenden Unterkiefers zum bezahnten Oberkiefer zu beschreiben. Um die Okklusionsverhältnisse als Grundlage für die wirkliche Lagebeziehung zwischen Unter- und Oberkiefer nutzen zu können, müssen Wanderungen der Molaren zurückgerechnet werden. Diese Rekonstruktion nach Grünberg beschreibt dann die sogenannte Bißlage (skelettale Klasse) der Kiefer [60]. Die skelettale Klasse II beschreibt einen im Vergleich zum Oberkiefer dorsal liegenden Unterkiefer. Die vorgenannte Berechnung der Bißlage geschieht bei der Modellanalyse anhand von Ober- und Unterkiefergipsmodellen in habitueller Okklusion und lässt somit trotz Rückrechnung der Zahnwanderungen die knöchernen Gegebenheiten der Kiefer unberücksichtigt. Bei der FRS-Analyse wird die Lagebeziehung von Ober- und Unterkiefer über den individualisierten ANB-Winkel (Referenzpunkt ist das Nasion) und den Wits-Wert (Referenzfläche ist das Okklusionsplanum) bestimmt.

1.3 Der pharyngeale Raum

Die oberen Luftwege bestehen aus Nasenhöhle und Rachen, Kehlkopf und Lunge stellen die unteren Luftwege dar. Untersuchungsgegenstand dieser Untersuchung waren unter anderem Teile der oberen Luftwege (sogenannter nasopharyngealer Raum), welche sich aus Nasenhöhle und Rachen zusammensetzen. Der Begriff nasopharyngealer Raum ist somit vom Begriff Nasopharynx abzugrenzen, der nur einen Teil dieser anatomischen Entität darstellt. Zum besseren Verständnis erfolgt nun eine Beschreibung der anatomischen Besonderheiten von Nasenhöhle und Rachen.

Die Nasenhöhle (Cavum nasi) ist ein pyramidenförmiger Hohlraum innerhalb der Nase, der durch die Nasenscheidewand in zwei Räume geteilt wird. Anterior wird die Nasenhöhle durch den Nasenvorhof begrenzt, kaudal der Nasenhöhle finden sich Hartgaumen und Oberkiefer. Die kraniale Begrenzung geschieht durch die Siebbeinzellen, die Stirnhöhlen und das Nasenbein, nach dorsal geht das Cavum nasi in den unten beschriebenen Nasopharynx über, wobei die dorsalen Enden der unteren und mittleren Nasenmuscheln (Conchae nasales mediae et inferiores) als hintere Begrenzung anzusehen sind. Lateral der Nasenhöhle finden sich die Kieferhöhlen (Sinus maxillares) und die Augenhöhlen (Orbitae). Dieser knöchernen Begrenzung hängen die drei Nasenmuscheln (Conchae nasales) an, die jeweils die kraniale Grenze des zugehörigen Nasengangs darstellen. In den unteren Nasengang (Meatus nasi inferior) mündet der Tränennasengang (Ductus nasolacrimalis), in den mittleren Nasengang (Meatus nasi medius) münden die Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales) mit Ausnahme der Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis) und der hinteren Siebbeinzellen, die in den oberen Nasengang münden. Hier findet sich außerdem das Riechorgan als Verlängerung des ersten Hirnnerven (N. olfactorius).

Der Rachen oder Pharynx ist ein bei Erwachsenen etwa 12-15 cm langer Schlauch aus Muskulatur und Bindegewebe. Die kraniale Begrenzung ist die Schädelbasis, die kaudale Begrenzung ist der Beginn der Speiseröhre in Höhe des sechsten Halswirbels. Seiten- und Hinterwände des Schlauchs sind geschlossen, die Vorderwand zeigt drei Öffnungen, die den Pharynx in drei Bereiche gliedern. Kranial findet sich der Epipharynx (Pars nasalis pharyngis

oder Nasopharynx), hier besteht eine Verbindung zur Nasenhaupthöhle. In der Mitte findet sich der Mesopharynx (Pars oralis pharyngis oder Oropharynx), der eine Verbindung zur Mundhöhle darstellt. Kaudal findet sich der Hypopharynx (Pars laryngea pharyngis oder Laryngopharynx), der ventral einen Eingang zum Kehlkopf aufweist. Somit wird der Rachenraum durch das Gaumensegel und die Epiglottis in drei Kompartimente geteilt, die im folgenden wegen ihrer anatomischen und funktionellen sowie im Wachstum wandelbaren Strukturen genauer beschrieben werden:

Am Dach des Epipharynx (Fornix pharyngis) findet sich, der hinteren Schädelbasis anliegend, die unpaare Gaumenmandel (Tonsilla pharyngea), die bei Kindern im Rahmen des sich noch entwickelnden Immunsystems hypertroph ist und sich postpubertär wieder verkleinert. Bei Hypertrophie kann dies zu einer Behinderung der Nasenatmung führen. Am Übergang zur Nasenhöhle finden sich seitlich die paarig angelegten Öffnungen der Ohrtrumpete (Ostium tubae auditivae). Auch die Schleimhaut um diese Öffnungen enthält lymphatisches Gewebe und bildet die sogenannten Seitenstränge (Tonsilla tubaria). Weiterhin finden in der unmittelbaren Umgebung des Ostiums zwei Schleimhautauftreibungen, nämlich der distokraniel des Ostiums verlaufende Torus tubarius, der durch den freien Rand des Tubenknorpels entsteht und der kaudal des Ostiums verlaufende Levatorwulst, der durch M. levator veli palatini entsteht [58].

Der Mesopharynx umfasst den Zungengrund mit den Zungenmandeln (Tonsillae linguales) und den Isthmus faucium. Zwischen Epiglottis und Zungengrund findet sich eine Grube (Vallecula epiglottica). Zwischen Arcus palatoglossus und Arcus palatopharyngeus finden sich die bei der oralen Inspektion sichtbaren Gaumenmandeln (Tonsillae palatinae). Der Mesopharynx ist nicht eindeutig anatomisch begrenzt, bedeutsam ist jedoch die Tatsache, dass sich hier die Wege von Luft und Nahrung kreuzen.

Der Hypopharynx enthält den Kehlkopfeingang, der kranial von der Epiglottis und lateral von den Plicae aryepiglotticae gefasst ist. Kaudal endet der Hypopharynx am Ösophagusmund.

Hypo- und Mesopharynx weisen reichlich lymphatisches Gewebe auf, das zusammen mit den zu Tonsillen verdichteten Bereichen den sogenannten Waldeyerschen Rachenring bildet.

Die Skelettmuskulatur des Pharynx besteht aus Schlundschnürern und Schlundhebern. Die Schlundschnürer entspringen von der Raphe pterygomandibularis im Bereich der Wangen (M. constrictor pharyngis sup.), dem Zungenbein (M. constrictor pharyngis med.) und dem Kehlkopf, um an der Raphe pharyngis, einer bindegewebigen Struktur an der Rachenhinterwand, anzusetzen. Die Kontraktion dieser halbringförmigen Struktur führt zum Verkürzen, Heben und Verengen des Rachens und zum Heben des Zungenbeins und des Kehlkopfs; der obere Konstriktor wölbt sich zudem bei Kontraktion nach vorne, um dann ein Widerlager für das Gaumensegel zu bilden, das auf diese Weise den Epipharynx verschließen kann (sog. Passavant-Wulst). Die Schlundheber entspringen vom Gaumen (M. palatopharyngeus) bzw. vom Processus styloideus, um am Kehlkopf anzusetzen und diesen bei Kontraktion anzuheben.

Untersuchungen von Handelmann und Osborne [19] zeigten bei Mädchen einen Abschluß des nasopharyngealen Wachstums mit durchschnittlich 13,9 Jahren wohingegen Jungen zwischen dem 17. und 18. Lebensjahr noch ein Restwachstum zeigten.

Es müssen drei Besonderheiten der Rachenanatomie verdeutlicht werden: Die oberen Luftwege weisen im Bereich der Tonsillen mitunter Engstellen auf, die eine Obstruktion der Atmung bedingen können. Bis zum siebten Lebensjahr kommt es zu einer Volumenzunahme des lymphoepithelialen Gewebes, mit Beginn der Pubertät kommt es zum langsamen Größenrückgang. Bei Rauchern und Allergikern kann die Größe der Tonsillen durch den chronischen Entzündungsreiz jedoch persistieren. Die Position und die Dimensionen des formgebenden Skeletts (insbesondere die Schädelbasis, die Halswirbelsäule, das Zungenbein, der Gaumen und der Unterkiefer) stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit einer möglichen Obstruktion der oberen Atemwege. Die Muskulatur hat sowohl statisch als auch dynamisch großen Einfluß auf den Rachendurchmesser und kann somit ebenfalls als mögliche Ursache für Behinderungen der Atmung in Betracht gezogen werden.

1.4 Das obstruktive Schlafapnoesyndrom (OSAS)

Ein Syndrom im medizinischen Sinne meint zunächst das gleichzeitige Auftreten verschiedener Symptome, deren Ätiologie und Pathogenese nicht definitiv bekannt sind oder nur vermutet werden können. Damit ist der Terminus vom Begriff der Krankheit abzugrenzen, bei dem in der Regel eine bekannte Ursache (z.B. eine Infektion oder ein Trauma) vorliegt. Trotz dieser an sich eindeutigen Definition werden die Begriffe nicht immer korrekt verwendet.

Weiterhin ist das Syndrom vom Symptomenkomplex abzugrenzen. Die Diagnose eines Syndroms entsteht nämlich durch die eindeutige Zuordnung verschiedener Symptome unbekannter oder nur vermuteter Ursachen zu demselben wohingegen der Symptomenkomplex das gleichzeitige Auftreten verschiedener Symptome meint, die eindeutig einem Krankheitsbild zugeordnet werden können. Das Syndrom steht in diesem Algorithmus also nach der Diagnose, der Symptomenkomplex steht vor der Diagnose.

Das Schlafapnoesyndrom ist ein Beschwerdebild, bei dem Atempausen während des Schlafes auftreten. Man unterscheidet die zentralen Ursachen von den weitaus häufigeren obstruktiven Ursachen. Der Begriff Obstruktion im medizinischen Sinne meint Sperrung oder Verengung. In angloamerikanischen Artikeln findet sich in der Regel der Begriff „obstructive sleep apnea“ mit der zugehörigen Abkürzung „OSA“. Die Prävalenz liegt bei Erwachsenen zwischen zwei und vier Prozent [71].

Bei der obstruktiven Schlafapnoesyndrom (OSAS) kommt es durch Entspannung der halbringförmigen pharyngealen Muskulatur durch den beim Einatmen entstehenden Unterdruck zu einem Zusammenfallen des Rachens im Liegen. Daraus resultiert dann eine vollständige Verlegung von Teilen des Rachens oder eine Verminderung des Lumens. Im Extremfall ist die Atmung unterbrochen, nach Abfall des Sauerstoffpartialdrucks und der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins kommt es zu einem zentralen Weckreiz, der dann durch veränderte Körperlage und eine verstärkte Kontraktion der Atemmuskulatur wieder zum Einsetzen des Atmens führt. Dieser Vorgang verläuft sich wiederholend in unregelmäßigen Abständen.

Im Sinne der Klassifikation als Syndrom ist die Ursache für die Obstruktion beim OSAS nicht eindeutig belegt. Zu den prädisponierenden Risikofaktoren zählen Adipositas, Konsum von sedierenden Medikamenten, Alkohol, Nikotin, Polypen und Septumdeviation, Hypertrophie des pharyngealen lymphatischen Gewebes (Gaumen- und Rachenmandeln) und Makroglossie (Trisomie 21) sowie Akromegalie [23]. Weiterhin sind der dolichofaziale Gesichtstyp, das vertikale Wachstumsmuster [11] sowie Distalbißlage und Fehlbildungen des Unterkiefers (z.B. Pierre-Robin-Sequenz) mögliche Ursachen [25]. Nach Hochban und Brandenburg korrelieren Retrognathie und dolichofazialer Gesichtstyp mit geringen Werten der sagittalen pharyngealen Ausdehnung bei OSAS-Patienten [22]. Untersuchungen von Hochban ergaben aber auch, dass das OSAS nicht notwendig mit einer pathologisch veränderten Anatomie des Viszerokraniums vergesellschaftet sei [24]. Studien von Lowe et al. ergaben einen eindeutigen Zusammenhang zwischen einem hohen Schlafapnoeindex und mandibulärer Retrognathie, einem frontal offenen Biß, hoher sagittaler Diskrepanz der Kiefer, einem großen Volumen von Zunge und Weichgaumen sowie Adipositas. Weiterhin zeigten diese Daten einen Zusammenhang zwischen Weichteilvolumen (Zunge und Weichgaumen) und Body-Mass-Index. Ferner fanden sich größere Weichgaumenvolumina bei männlichen Klasse-I-Patienten mit OSAS. Dies wies darauf hin, dass die Schlafapnoe bei orthognathen Patienten auf Adipositas und ein vergrößertes Gaumensegelvolumen zurückzuführen ist [33]. Daraus könnte gefolgert werden, dass bei normalgewichtigen Patienten mit OSAS die skelettalen und dentalen Ursachen im Vordergrund stehen. Diese Aussage wird allerdings dadurch eingeschränkt, dass die Kontrollgruppe dieser Studie aus durchschnittlich 14-jährigen Jugendlichen bestand und das Wachstum der Zunge in der Regel erst mit 18 Jahren abgeschlossen ist. Eine zwischen adipösen und nicht adipösen OSAS-Patienten erfolgte vergleichende Untersuchung von Cuccia et al. konnten zeigen, dass bei nicht adipösen Patienten ein vergrößerter ANB-Wert vorlag, wohingegen bei adipösen Patienten ein vergrößerter Interbasenwinkel vorlag [10]. Im Kindes- und Jugendalter ist die Tonsillenhyperplasie der wichtigste Risikofaktor.

Hauptsymptome des OSAS sind lautes Schnarchen (Ronchopathie) mit über zehn Sekunden dauernden Atempausen. Daneben treten beim Schlafen

vermehrter Harndrang, nächtliches Schwitzen und Durchschlafstörungen auf. Ferner zeigen sich im wachen Zustand Konzentrationsstörungen, Müdigkeit, Schwindel, Impotenz und Sekundenschlafattacken. Kinder und Jugendliche zeigen meist kein Schnarchen, sondern lediglich ein geräuschvolles Atmen, eine nasale Sprache (Rhinolalia clausa) und Mundatmung (Facies adenoidea).

Mögliche Folgen des OSAS sind Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Streißenkrankungen und Diabetes mellitus, letzterer ist möglicherweise durch den bei Atempausen erhöhten Blutzuckerspiegel erklärbar.

Die Diagnosestellung erfolgt mittels schlafmedizinischen Untersuchungen durch einen Pneumologen oder HNO-Arzt mittels Aufzeichnungen von Sauerstoffsättigung, Herz- und Atemfrequenz, Atembewegung von Bauch und Brustkorb sowie der Körperlage (kardiorespiratorische Polygraphie). Treten über einen Zeitraum von sechs Stunden stündlich mindestens zehn Apnoe- oder Hypopnoe-Phasen auf, so ist das Vorliegen eines OSAS wahrscheinlich. Die vorgenannten Untersuchungen erfolgen in der Regel mit Nicht-Labor-Monitoring-Systemen (NLMS), beim Verdacht auf eine Schlafapnoe schließen sich dann Untersuchungen im Schlaflabor an. Zusätzlich zu den polygraphischen Untersuchungen erfolgen dann Messungen der Hirnströme (EEG), eine Messung der Herzströme (EKG) sowie Messungen der Augenbewegungen (EOG) und Messungen der Muskelaktivität im Bereich des Kinns und der Beine (EMG), der Schlafende wird ferner gefilmt. Diese sogenannte Polysomnographie macht den Einfluß des durch die Apnoe entstehenden Sauerstoffmangels auf die Schlafarchitektur im EEG sichtbar, die Weckreaktionen (Arousals) führen zu einer Verkürzung der REM- und Non-REM-Phasen. Die ambulante Polygraphie dient somit zur Erstellung der Verdachtsdiagnose OSAS, bewiesen wird die Diagnose durch die Polysomnographie im Schlaflabor. Zwei Fünftel der Kaukasier mit OSAS zeigen typische kraniofaziale Befunde [26], dies macht die Vermessung des Gesichtsschädels bei der Diagnostik des OSAS obligat.

Das OSAS ist bei Erwachsenen dringend therapiebedürftig. In mehreren Studien konnte gezeigt werden, daß es einen unabhängigen Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Apoplex darstellt [57]. Marin et al. [36] konnten bei mittelschwerer und schwerer Ausprägung des unbehandelten

OSAS eine nahezu verdreifachte Sterblichkeit im Vergleich zu einem nicht erkrankten altersgleichen Kollektiv nachweisen. Sollte nach Beseitigung von möglichen Ursachen wie Alkohol, Nikotin, Übergewicht und der Einnahme von Sedativa keine Besserung zustande kommen, sind spezifische Maßnahmen notwendig. Möglich ist zunächst eine Überdruckmaskenbeatmung (CPAP = continuous positive air pressure). Nach Expiration besteht hier im Vergleich zur umgebenden Atmosphäre eine positive Druckdifferenz von 5 bis 20 mbar, womit das Weichgewebe der oberen Atemwege am Kollabieren gehindert wird. Nachteilig ist jedoch das vom Patienten als anstrengend empfundene Ausatmen, da der positive Druckgradient aktiv von der Atemhilfsmuskulatur überwunden werden muß. Weiterhin ist es möglich eine Protrusionsschiene für den Unterkiefer zu verwenden. Hier kommen laborgefertigte oder mittels thermoplastischen Materials hergestellte und damit sofort verwendbare Schienen zum Einsatz [59]. Über die daraus resultierende Ventralverlagerung der am Unterkiefer ansetzenden oder entspringenden Muskulatur werden das Hyoid (Venter ant. mm. digastrici, M. mylohyoideus, M. geniohyoideus,) die Zunge (M. genioglossus) sowie Teile des oberen Schlundsnüreres (Pars mylopharyngea des M. constrictor pharyngis superior, die an der Linea mylohyoidea entspringt) nach vorne gezogen. Die Protrusion des Unterkiefers führt ferner zu einer Ventralverlagerung der Raphe pterygomandibularis, die auf diese Weise die Pars pterygomandibularis des oberen Schlundsnüreres nach vorne zieht. Die Ventralverlagerung der Zunge führt mittelbar zu einem Zug auf die am M. transversus linguae entspringende Pars glossopharyngea des oberen Schlundsnüreres. Dieser Effekt wird durch die in vertikaler Richtung zwischen Hyoid und Zunge verlaufenden Mm. hyoglossus et chondroglossus stabilisiert. Die wiederum von dorsalkranial am Hyoid inserierenden Muskeln (M. constrictor pharyngis medius, M. stylohyoideus) und Teile der infrahyalen Muskulatur (M. thyrohyoideus, M. sternohyoideus) werden so ebenfalls nach ventral verlagert. Indirekt entsteht so eine Ventralverlagerung der Cartilago thyroidea und des dort entspringenden M. constrictor pharyngis inferior. Die Protrusion des Unterkiefers führt also unmittelbar zu einer Ventralverlagerung von Teilen des oberen Schlundsnüreres, der Zunge und des Hyoids. Mittelbar finden sich Lageänderungen aller drei Schlundsnürer, des Schildknorpels und der infrahyalen Muskulatur. Von besonderer Bedeutung bei der Protrusion

ist die Lage des Hyoids, da nahezu alle der vorgenannten Muskeln am Zungenbein inserieren. Die HS-Therapie sollte über die oben beschriebene Ventralentwicklung der Mandibula einen ähnlichen Effekt auf Rachen- und Zungenmuskulatur haben. Schönhofer et al. konnten durch eine Protrusionsschientherapie bei 50% der Patienten mit OSAS eine klinische Verbesserung nachweisen [59]. Untersuchungen von Lim et al. konnten zeigen, dass die CPAP-Therapie gegenüber einer Therapie mit Protrusionsschienen bei OSAS leicht überlegen war, entsprechend raten die Autoren nur bei leicht ausgeprägten obstruktiven Störungen der Schlafatmung zu einer Schientherapie [32]. Nachteilig an der Schientherapie sind jedoch die auftretenden Nebenwirkungen wie Mundtrockenheit, Spannungsgefühl der Zähne, erhöhter Speichelfluß, Kopf- und Kiefergelenkschmerzen [18]. Bondemark und Lindmann konnten bei OSAS-Patienten, die über einen Zeitraum von zwei Jahren mit einer Protrusionsschiene therapiert wurden, zumindest keinen negativen Effekt auf die Kiefergelenke nachweisen [5]. Patienten mit dolichofazialen Gesichtstyp und OSAS sind nicht für die Protrusionsschientherapie geeignet, da der gewünschte Effekt durch die steile Unterkieferbasis verhindert wird, mitunter kann es bei diesen Patienten durch die zwangsweise gesteigerte Mundöffnung sogar zu einer Verschlechterung der Obstruktion kommen [26]. Die chirurgische Korrektur der Rückbißlage durch sagittale Spaltung nach Obwegeser und Dal-Pont [64] sollte nur dann zum Einsatz kommen, wenn die konservative Therapie erfolglos ist. Hochban sieht die Indikation für eine Ober- und/oder Unterkieferverlagerung (MMA) gegeben, wenn der SNB-Winkel kleiner als 77° ist oder die Unterkieferneigung 34° überschreitet (dolichofazialer Gesichtstyp), da bei Patienten mit diesen Kriterien der sagittale pharyngeale Durchmesser im Bereich des Zungengrunds häufig unter zehn Millimeter liegt [20,50]. Chirurgische Korrekturen von Weichteilen des Rachenraums (Uvulopalatopharyngoplastik, Zungengrundreduktion, Radiofrequenzablation zur Weichteilschrumpfung, Gaumensegelimplantate) im Rahmen der Multi-Level-Chirurgie des Pharynx zeigen meist keine Besserung von Apnoeindex oder Tagesmüdigkeit. Laut Hochban führen diese häufig rezidivbehafteten Maßnahmen an den Rachenweichteilen nur zu einer Verlagerung des Ortes des pharyngealen Kollapses [26]. Bei Kindern und Jugendlichen mit OSAS und

Tonsillenhypertrophie liegt nur eine relative Therapieindikation zur Tonsillektomie vor, da sich diese häufig nach der Pubertät wieder zurückbildet. Im Falle einer Distalbißlage oder eines vertikalen Wachstumsmusters kann sich die kieferorthopädische Therapie im Sinne der oben dargestellten Ventralentwicklung nur günstig auswirken. Im Falle von Fehlbildungen des Unterkiefers (z.B. Pierre-Robin-Sequenz) ist im Säuglings- und Kindesalter zunächst die konservative Therapie durch die Verwendung von Tuben anzustreben. Die Entfernung der Tonsillen sollte sich dann als chirurgische Maßnahme anschließen, da dies auch der adenoiden Fazies und dem vertikalen Wachstumsmuster entgegenwirkt. Umstellungsosteotomien sollten erst nach Abschluß des Gesichtsschädelwachstums durchgeführt werden [24]. Zusammenfassend beruhen die vorgenannten evidenzbasierten Therapiekonzepte für OSAS-Patienten auf einer temporären oder permanenten Positionsänderung der Mandibula. Die CPAP-Therapie und die Protrusionsschiene stellen keine kausale Behandlung dar. Neben der chirurgischen Korrektur durch eine mandibulomaxilläre Umstellungsosteotomie ist das Herbstscharnier mit seiner dauerhaften Wirkung auf die Lage des Unterkiefers bei milden Formen der Retrognathie unter Berücksichtigung der Kontraindikationen (großer Kieferwinkel bei dolichofaziale Gesichtstyp oder starke Unterkieferneigung) möglicherweise eine Behandlungsalternative.

1.5 Fragestellung und Ziel der Untersuchung

Eine Vielzahl von Untersuchungen konnte zeigen, dass die Therapie mit dem Herbstscharnier geeignet ist, die Distalbißlage des Unterkiefers und die Distalverzahnung bei Jugendlichen und Erwachsenen aufzuheben oder zumindest abzumildern [20, 38, 47]. Weiterhin sind die Distalbißlage des Unterkiefers und die damit verbundene Minderung des sagittalen Pharynxdurchmessers maßgebliche Risikofaktoren für das OSAS bei nicht adipösen Patienten. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Verwendung von Protrusionsschienen durch eine Vergrößerung des sagittalen Rachendurchmessers beim Schlafen häufig zu einer Verbesserung der Atemobstruktion führt. Das Herbstscharnier sollte also einen ähnlichen Effekt haben. Folgende Kernfragen sollten beantwortet werden:

1. Welche skelettalen und dentalen Veränderungen finden sich durch die Herbstscharniertherapie bei Heranwachsenden mit skelettaler Klasse II im FRS?
2. Welchen Einfluß hat die Therapie mit dem Herbstscharnier auf die pharyngalen Parameter (sagittale und vertikale Ausdehnung) und die Position des Hyoids?
3. Finden sich statistische Zusammenhänge zwischen skelettalen, dentalen und pharyngealen Parametern sowie der Position des Hyoids?

2. Material und Methodik

2.1 Probanden und Aufbau der Herbstapparatur

Alle Probanden wurden in der kieferorthopädischen Praxis Dres. Richter in Würzburg im Zeitraum von Mai 2007 bis Februar 2009 behandelt. 35 von 48 mit dem Herbstscharnier behandelten Probanden erfüllten die notwendigen Voraussetzungen für die Analyse. Das erste Einschlußkriterium war hierbei Jugendalter (Probanden bis 18 Jahre), in jedem Fall findet während dieser Entwicklungsphase je nach Geschlecht Knochenwachstum statt. Zweitens musste bei den Probanden die Indikation für die Therapie mit dem Herbstscharnier vorliegen, in Bezug auf die sagittale Kieferrelation war dies im Regelfall die skelettale Klasse II, in Einzelfällen nahmen unter Berücksichtigung dentaler Parameter und der Modellanalyse auch Probanden mit grenzwertiger skelettaler Klasse I an der Studie teil. Die pharyngealen Parameter bildeten kein Ein- oder Ausschlusskriterium da diesbezüglich keine Normwerte vorhanden waren. Weiterhin war es erst das Ziel der Untersuchung, die mittelbare Änderung dieser Werte in Abhängigkeit von skelettalen und dentalen Veränderungen zu ermitteln. Eine Darstellung der Alters- und Geschlechtsverteilung sowie der FRS-Parameter findet sich im Abschnitt Ergebnisse.

Der grundsätzliche Bauweise der Apparatur wurde bereits in der Einleitung beschrieben, der spezielle Aufbau des in dieser Untersuchung verwendeten Herbstscharniers stellt sich wie folgt dar: Als Verankerungselemente fanden in dieser Studie im Unterkieferzahnbereich doppelte laserverbundene 3er-Bänder (vertrieben durch Fa. GAC®) und im Oberkiefermolarenbereich GripTitebands® der Fa. TP Orthodontics® Anwendung. Als Nebenverankerungselemente wurden an den Oberkieferprämolaren und an den Unterkiefermolaren Bänder normaler Stärke mit lingualen und bukkalen Cleats verwendet (Fa. GAC®). Die Zementierung der Bänder geschah mit Ketac-Cem® oder lichtsichtbarem Transbond plus® (Fa. 3M®). Neben der vorgenannten Verankerung an den Oberkieferseitenzähnen erfolgte palatinal eine Verbindung über einen Drahtbogen mit 0,9 mm Durchmesser, der den Frontzähnen anlag, zusätzlich fand sich vestibulär zwischen Molar und Prämolaren ein 0,8 mm durchmessender Verstärkungsdraht. Im Unterkiefer

fanden sich die Verankerungsbänder am Eckzahn und am ersten Molaren, die Bänder waren lingual durch einen Drahtbogen von 0,9 mm Stärke verbunden, der der Unterkieferfront nicht anlag, weiterhin erfolgte vestibulär eine verstärkende Verbindung zwischen Molar und Eckzahn mit einem 0,8 mm dicken Draht. Zwischen Oberkiefermolar und Unterkiefereckzahn befand sich ein mit Kugelgelenken an den Verankerungen befestigter, von den Molaren leicht abgewinkelter Teleskopsteg (bei dieser Untersuchung Teleskopstege von Fa. GAC® oder Fa. Ormco®), der Bewegungen des Unterkiefers in allen Ebenen gestattete. Im Anschluß findet sich eine schematische Darstellung der Apparatur sowie eine klinische Aufnahme von lateral.

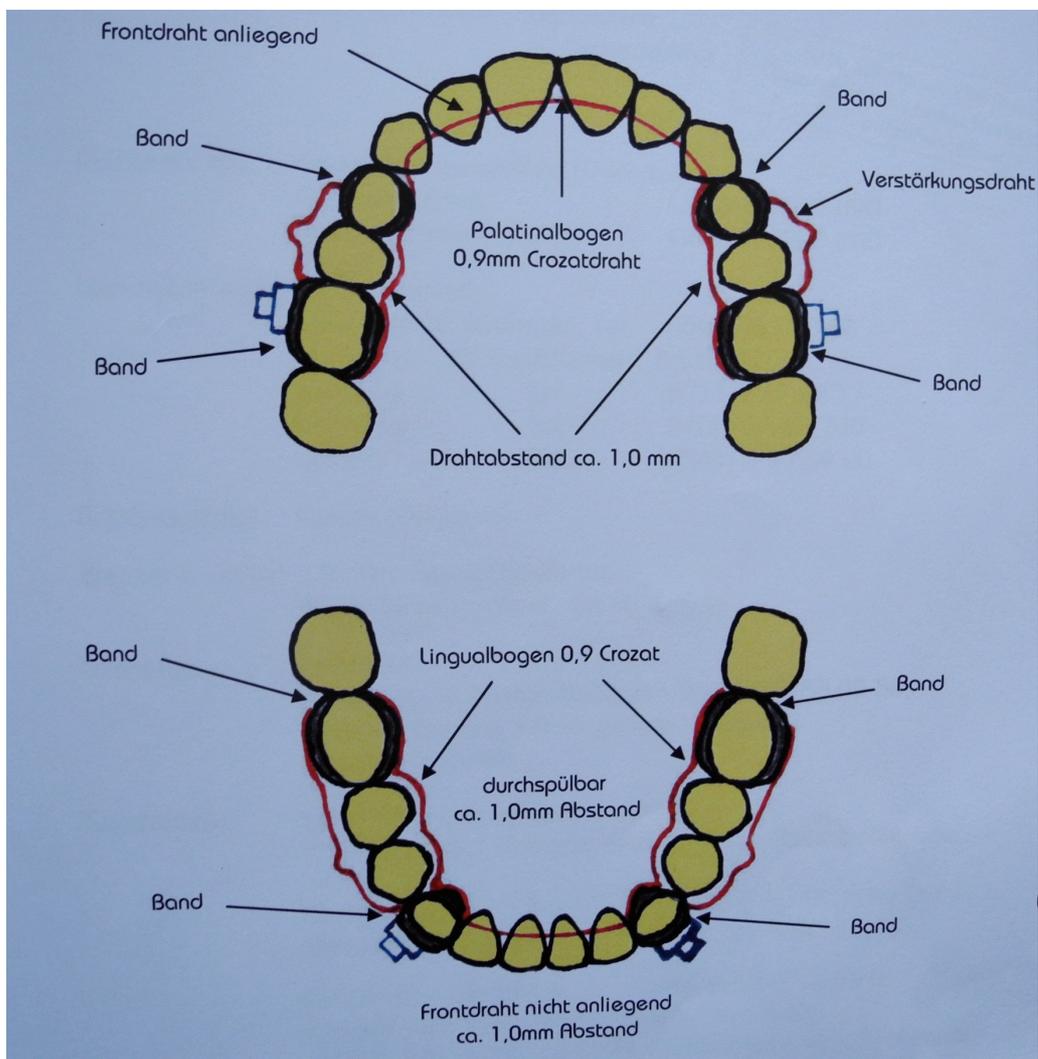


Abb. 1 Herbstscharnier von okklusal (RICHTER 2007)



Abb. 2 Herbstscharnier von lateral, klinische Ansicht (RICHTER 2007)

2.2 FRS-Analyse

2.2.1 Röntgenologische Bildgebung

Die Fernröntgenseitenbilder wurden in der kieferorthopädischen Praxis der Dres. Richter in Würzburg erstellt. Es erfolgte eine digitale Röntgenbildgebung mit dem Gerät Orthophos XG Plus der Firma Sirona®. Die Aufnahmen erfolgten in habitueller Okklusion senkrecht zur Norma lateralis mit einem Filmfocusabstand von 1,5 m. Die Röntgenspannung betrug je nach Schädelgröße der Patienten 73 kV bis 85 kV. Es wurde für 9,4 s belichtet. Bei drei Patienten waren alio loco Voraufnahmen erfolgt.

2.2.2 Aufnahmezeitpunkte

Die Aufnahmen erfolgten vor dem Einsetzen und nach Herausnahme der Apparatur. Als Ausschlußkriterium wurde eine zeitliche Differenz von maximal zwölf Monaten zwischen Aufnahme und Einsetzen oder Entfernen der Apparatur festgesetzt. Die durchschnittliche zeitliche Differenz zwischen erster Aufnahme (Zeitpunkt T1) und dem Einsetzen der Apparatur betrug 226 Tage, die mittlere Differenz zwischen Entfernen der Apparatur und der zweiten Aufnahme (Zeitpunkt T2) betrug durchschnittlich 93 Tage.

2.2.3 Kephalemetrie

Die sich aus den Bezugspunkten ergebenden Parameter gliedern sich in Geraden, Strecken und Winkel. Die Listung erfolgt somit nach geometrischen Kategorien, sie entspricht somit nicht der gewohnten Trennung in sagittale,

vertikale und dentale Parameter. Auch die pharyngealen Messwerte werden entsprechend dieser Klassifikation zugeordnet.

2.2.3.1 Kephalometrische Bezugspunkte

Die Auswahl der Bezugspunkte erfolgte gemäß der an der Würzburger Poliklinik für Kieferorthopädie üblichen FRS-Analyse. Die anatomische Definition der Punkte entsprach bis auf wenige Ausnahmen der Beschreibung von Segner und Hasund [62], die Bestimmung der für die Vermessung von Pharynx und Hyoid notwendigen Punkte lehnte sich an die von Hochban et al. [20] durchgeführten Untersuchungen an:

Sella (S):	Der Sella-Punkt ist definiert als das Zentrum der knöchernen Krypte der Sella turcica, er stellt einen konstruierten Punkt in der medianen Sagittalebene dar, der dem Mittelpunkt der größten durchmessenden Strecke der Sella entspricht.
Nasion (N):	Das Nasion ist der anteriorste Punkt der Sutura nasofrontalis in der medianen Sagittalebene, im Falle einer „V“-förmigen Öffnung der Sutura wird der posteriorste Punkt des „V“ gewählt.
Basion (Ba):	Das Basion ist der am weitesten posterior und kaudal gelegene Punkt des Clivus in der medianen Sagittalebene und der anteriorste Punkt des Foramen magnum. Zur besseren Lokalisierbarkeit wird hier nicht die äußere Kortikalis, sondern das weniger opake dorsokaudale Ende der Spongiosa verwendet. Der Punkt findet sich circa einen Zentimeter kranial des Dens axis und circa einen Zentimeter dorsal des Punktes Articulare.
Spina nasalis anterior (Spa):	Die Spina nasalis anterior ist der am weitesten anterior gelegene Punkt der knöchernen Spina in der medianen Sagittalebene . CAVE: Der Punkt darf nicht mit der weniger opaken bindegewebigen nach ventrokaudal ziehenden Ausziehung verwechselt werden.

<p>Spina nasalis posterior (Spp):</p>	<p>Die Spina nasalis posterior ist der dorsalste Punkt der knöchernen Spina in der medianen Sagittalebene. CAVE: Der Punkt liegt in der vertikalen Achse auf Höhe des Pterygomaxillare, ist jedoch in der horizontalen von diesem unabhängig, dennoch können beide Punkte zusammenfallen.</p>
<p>Pterygomaxillare (Pm):</p>	<p>Der Punkt Pterygomaxillare ist definiert als der Schnittpunkt der dorsalen Kontur der Maxilla (anteriore Begrenzung der im FRS ampullenförmigen Fossa pterygopalatina) mit dem Hartgaumen. CAVE: Der Punkt kann von Molaren überdeckt sein.</p>
<p>Inzision superius (Iss):</p>	<p>Dieser Punkt findet sich an der am weitesten inzisal gelegenen Stelle des anteriorsten mittleren Schneidezahns.</p>
<p>Apex des oberen mittleren Schneidezahns (Isa):</p>	<p>Dieser Punkt findet sich an der am weitesten apikal gelegenen Stelle des anteriorsten mittleren Schneidezahns.</p>
<p>Inzision inferius (Iis):</p>	<p>Es handelt sich um den am weitesten inzisal gelegenen Punkt des am anteriorsten stehenden unteren mittleren Schneidezahns.</p>
<p>Apex des unteren mittleren Schneidezahns (Iia):</p>	<p>Es handelt sich um den am weitesten apikal gelegenen Punkt des am anteriorsten stehenden unteren mittleren Schneidezahns. CAVE: In der Regel überlagern sich die vier Unterkieferschneidezähne. Mitunter findet sich auch eine Überlagerung durch Eckzähne im Mesialstand.</p>
<p>Hinterer Okklusalkpunkt (hPOcP):</p>	<p>Hinterer Bezugspunkt des Okklusalplanums: der distale Höckermaximalpunkt des in letzten in Okklusion stehenden Molaren.</p>
<p>Pogonion (Pg):</p>	<p>Das Pogonion ist der am weitesten anterior gelegene Punkt des knöchernen Kinns in der medianen Sagittalebene. Der Punkt findet sich auf einer Tangenten zur Kinnkontur, die senkrecht zur Mandibularebene verläuft. Im seltenen Fall eines stark fliehenden Kinns findet sich der Punkt einen Zentimeter kranial der Mandibularebene.</p>

A-Punkt (A):	Der A-Punkt ist der tiefste Punkt der anterioren konkaven Krümmung des Alveolarfortsatzes des Oberkiefers in der medianen Sagittalebene. Der Punkt liegt auf einer Tangente, die parallel zu einer Geraden ist, die durch die Spina nasalis anterior und den Limbus alveolaris läuft. Die labiale Knochenlamelle vor den oberen Incisivi ist in der Regel nur ein bis zwei Millimeter stark (in der angloskandinavischen Literatur auch Subspinale genannt).
B-Punkt (B):	Der B-Punkt ist der tiefste Punkt der anterioren konkaven Krümmung des Alveolarfortsatzes des Unterkiefers in der medianen Sagittalebene. Der Punkt liegt auf einer Tangente, die parallel zu einer Geraden ist, die durch das Pogonion und den Limbus alveolaris läuft. Für diesen Punkt findet sich auch die Bezeichnung Supramentale (SM).
Gnathion (Gn):	Das Gnathion ist der kaudalste und anteriorste Punkt der Unterkiefersymphyse in der medianen Sagittalebene.
Menton (Me):	Das Menton ist der kaudalste Punkt der Unterkiefersymphyse in der medianen Sagittalebene. Es ist der Punkt mit dem größten Abstand zur Sella-Nasion-Linie. CAVE: Gemäß der Definition von Segner und Hasund [4] wird dieser Punkt in der nicht amerikanischen Literatur als Gnathion bezeichnet. Menton und Gnathion sind somit nicht eindeutig definiert.
Articulare (Ar):	Das Articulare ist der Schnittpunkt der hinteren Schädelbasis mit der dorsalen Kontur der Kompakta des aufsteigenden Astes des Unterkiefers. CAVE: Häufig kommt es durch nicht senkrechte Ausrichtung des Zentralstrahls zur medianen Sagittalebene oder unterschiedlich geformte Unterkieferäste zu Doppelkonturen. In diesen Fällen ergeben sich zwei Schnittpunkte, der Punkt Articulare findet sich dann in der Mitte der beiden Schnittpunkte.
Condylion (Co):	Konstruierter Punkt, der bestimmt wird, in dem man zunächst ein Lot durch das Hautnasion zur vorderen Schädelbasis fällt. Der Schnittpunkt des Lots mit dem

	Spinaplanum bildet dann eine Strecke zum Hautnasion, deren Mittelsenkrechte dann die Ramuslinie im Punkt Condylion schneidet.
P1	Das Punkt P1 ist der kaudalste Punkt der Krümmung am posterioren Anteil des horizontalen Unterkieferastes. CAVE: Häufig kommt es durch nicht senkrechte Ausrichtung des Zentralstrahls zur medianen Sagittalebene oder unterschiedlich geformte Unterkieferäste zu Doppelkonturen. In diesen Fällen sind die beiden Punkte zu mitteln.
P2	Das Punkt P2 ist der distalste Punkt der Krümmung am kaudalen Anteil des aufsteigenden Unterkieferastes. CAVE: Häufig kommt es durch nicht senkrechte Ausrichtung des Zentralstrahls zur medianen Sagittalebene oder unterschiedlich geformte Unterkieferäste zu Doppelkonturen. In diesen Fällen sind die beiden Punkte zu mitteln.
Gonion-Tangenten-Punkt od. Gonion (Go):	Schnittpunkt der Mandibularlinie mit der Ramuslinie.
C ₃	Ventralster, kaudalster Punkt des dritten Halswirbels.
Apw1	Schnittpunkt der vorderen Pharynxwand mit der Nasallinie.
Ppw1	Schnittpunkt der hinteren Pharynxwand mit der Nasallinie.
Apw2	Schnittpunkt der vorderen Pharynxwand mit der Okklusionslinie.
Ppw2	Schnittpunkt der hinteren Pharynxwand mit der Okklusionslinie.
Apw3	Schnittpunkt der vorderen Pharynxwand mit der Mandibularlinie.
Ppw3	Schnittpunkt der hinteren Pharynxwand mit der Mandibularlinie.
Apw4	Ventrale Grenze der engsten Stelle des Oropharynx.
Ppw4	Dorsale Grenze der engsten Stelle des Oropharynx.
H	Ventralster, kranialster Punkt des Hyoids.

2.2.3.2 Referenzlinien und metrische Parameter

Nasion-Sella-Linie (NSL):	Verbindungsline zwischen Sella und Nasion (vordere Schädelbasis), auf diese Weise kann der Gesichtsschädel in Relation zur vorderen Schädelgrube vermessen werden.
Nasallinie (NL) oder Spinaplanum (SpP):	Verbindungsline zwischen Spina nasalis anterior und Spina nasalis posterior, diese stellt die Oberkieferbasis bzw. den Nasenboden dar und dient ferner zur Bestimmung der Länge der Oberkieferbasis.
Okklusionslinie (OL) oder Okklusionsplanum (OcP):	Linie zwischen distalem Kontaktpunkt des letzten Molaren und dem Interinzisivenpunkt (entspricht der Okklusionsebene).
Mandibularlinie (ML) oder Mandibularplanum:	Verbindungsline zwischen Menton und P1, diese stellt die Bezugsebene des Unterkiefers dar und dient ferner zur Bestimmung der Länge des horizontalen Unterkieferastes.
NA-Linie:	Verbindungsline zwischen Nasion und A-Punkt, diese Linie dient zur Beschreibung der sagittalen Position des Oberkiefers.
NB-Linie:	Verbindungsline zwischen Nasion und B-Punkt, diese Linie dient zur Beschreibung der sagittalen Position des Unterkiefers.
NPg-Linie:	Verbindungsline zwischen Nasion und Pogonion, diese Linie dient zur Beschreibung der sagittalen Position des Kinns.

Wits-Wert:	Abstand der Schnittpunkte A' und B', die durch ein Lot durch A und B auf das Okklusionsplanum bestimmt werden. Der Wert ist positiv, wenn sich A' ventral von B' befindet. Im umgekehrten Fall ist der Wert negativ.
Sella-Articulare-Linie (SAL):	Verbindungsline zwischen Sella und Articulare, diese stellt sie Bezugsebene der hinteren Schädelbasis dar.
Ramuslinie (RL):	Verbindungsllinie zwischen Articulare und P2, diese stellt die Bezugsebene des vertikalen Unterkieferastes dar.
Nasion-Menton-Linie (NML):	Verbindungsline zwischen Nasion und Menton, diese Linie dient zur Bestimmung des Gesichtshöhenverhältnisses.
Oberkieferschneidezahnachse:	Verbindungsline zwischen Apex und Inzision des anteriorsten mittleren Oberkieferschneidezahns, diese Linie dient zur Bestimmung des Interinzisalwinkels sowie zur Bestimmung der sagittalen Position und Inklination der Oberkieferschneidezähne.
Unterkieferschneidezahnachse:	Verbindungsline zwischen Apex und Inzision des anteriorsten Unterkieferschneidezahns, diese Linie dient zur Bestimmung des Interinzisalwinkels.
$\Delta 1_{NPg}$	Abstand zwischen der Linie Nasion-Pogonion und Inzision superius, dieser beschreibt die sagittale Position der Oberkieferfront.

$\Delta 1\text{NPg}$	Abstand zwischen der Linie Nasion-Pogonion und Inzision inferius, dieser beschreibt die sagittale Position der Unterkieferfront.
Oberkieferlänge	Strecke zwischen Spina nasalis anterior und Pterygomaxillare.
Unterkieferlänge	Strecke zwischen Gonion und dem Schnittpunkt des Lots durch Pogonion auf das Mandibularplanum.
Ramuslänge	Strecke zwischen Gonion und Condylion.
Gesichtshöhenverhältnis nach Jarabak	Quotient der hinteren (Strecke S-Go) und der vorderen (Strecke N-Me) Gesichtshöhe.
Apw1-Ppw1 oder PAS 1	Sagittale Pharynxbreite (posterior airway space) in Verlängerung der Nasalline.
Apw2-Ppw2 oder PAS 2	Sagittale Pharynxbreite (posterior airway space) in Verlängerung der Okklusallinie.
Apw3-Ppw3 oder PAS 3	Sagittale Pharynxbreite (posterior airway space) in Verlängerung der Mandibularlinie.
Apw4-Ppw4 oder PAS 4	Sagittale Pharynxbreite (posterior airway space) an der engsten Stelle des Hypopharynx.
H-C3	Strecke zwischen Hyoid und dem ventrokaudalsten Punkt des dritten Halswirbels.
H-S	Strecke zwischen Hyoid und Sella.
H-N	Strecke zwischen Hyoid und Nasion.
H-Me	Strecke zwischen Hyoid und Menton.

H-NL	Strecke zwischen Hyoid und Nasalline (hierzu wird ein Lot von der Nasalline durch den Punkt H gefällt).
H-ML	Strecke zwischen Hyoid und Mandibularlinie (hierzu wird ein Lot von der Mandibularlinie durch den Punkt H gefällt).

2.2.3.3 Referenzwinkel

ANB	Winkel zwischen der dorsalen vorderen Ober- und Unterkiefer-Kurvatur mit Nasion als Scheitelpunkt, dieser Winkel beschreibt das sagittale Verhältnis zwischen Ober- und Unterkiefer und damit die skelettale Klasse.
iANB (n. Witt)	Individualisierter ANB-Winkel: Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass statistische Abhängigkeiten zwischen dem ANB-Winkel und der Unterkieferneigung einerseits sowie dem sagittalen Einbau des Oberkiefers in Bezug auf die vordere Schädelbasis andererseits bestehen, können diese Einflüsse nach folgender Formel redundant gemacht werden: $iANB = -35,16 + 0,4 \cdot SNA + 0,2 \cdot ML-SNL$ [38]. Die Formel macht deutlich, dass die sagittale Position des Oberkiefers und die Unterkieferneigung die eigentliche sagittale Kieferrelation maskieren können, wenn nur der ANB-Winkel bestimmt wird.
SNA	Winkel zwischen Sella und A-Punkt mit Nasion als Scheitelpunkt, dieser Winkel beschreibt die sagittale Position des Oberkiefers zur vorderen Schädelbasis.
SNB	Winkel zwischen Sella und B-Punkt mit Nasion als Scheitelpunkt, dieser Winkel beschreibt die sagittale Position des Unterkiefers zur vorderen Schädelbasis.

SNPg	Winkel zwischen Sella und Pogonion mit Nasion als Scheitelpunkt, dieser Winkel beschreibt die sagittale Position des Unterkiefers und des knöchernen Kinns bzw. der Symphyse zur vorderen Schädelbasis.
NSAr	Winkel zwischen Sella-Articulare-Linie und Sella-Nasion-Linie (Schädelbasiswinkel).
SArGo	Winkel zwischen Ramuslinie und Sella-Articulare-Linie.
ArGoMe	Winkel zwischen Mandibularlinie und Ramuslinie (Kieferwinkel), dieser dient der Beschreibung des Wachstumsmusters.
ArGoN (Go1)	Winkel zwischen Ramuslinie und Gonion-Nasion-Linie (oberer Gonionwinkel nach Jarabak).
NGoMe (Go2)	Winkel zwischen Mandibularlinie und Gonion-Nasion-Linie (unterer Gonionwinkel nach Jarabak).
Summenwinkel (SW)	Summe der Winkel NSAr, SArGo und ArGoMe, dieser dient ebenfalls der Beschreibung des Wachstumsmusters.
NL-NSL	Winkel zwischen Nasallinie und vorderer Schädelbasis, dieser beschreibt die Neigung des Oberkiefers im Verhältnis zur vorderen Schädelbasis (Retroinklination des Oberkiefers führt zu Zunahme, Anteinklination zu Verringerung).
ML-NSL	Winkel zwischen Mandibularlinie und vorderer Schädelbasis, dieser beschreibt die Neigung des Oberkiefers im Verhältnis zur vorderen Schädelbasis.
ML-NL	Winkel zwischen Mandibularlinie und Nasallinie, dieser sogenannte Interbasenwinkel beschreibt die Divergenz der Kieferbasen und damit den skelettalen Biß, dieser Wert ist von klinischer Bedeutung, wenn bei Platzmangel Molaren distalisiert werden sollen, da dies zu einer posterioren Rotation der Mandibula und damit zu einer Bißöffnung führt.

1_SN	Winkel zwischen der Oberkieferschneidezahnachse und der Nasion-Sella-Linie, dieser beschreibt die Stabilität der Stellung der Oberkieferfront.
1_SpP	Winkel zwischen der Oberkieferschneidezahnachse und dem Spinaplanum (zu messen ist der ventrale Winkel!), dieser beschreibt ebenfalls die Stabilität der Oberkieferfront.
1_MeGo	Winkel zwischen der Unterkieferschneidezahnachse und der Mandibularlinie, dieser beschreibt die Stabilität der Stellung der Unterkieferfront.
Interinzisalwinkel	Nach dorsal geöffneter Winkel zwischen den Schneidezahnachsen.

2.2.4 FRS-Analyse der skelettalen Veränderungen des Gesichtsschädels

Die skelettale FRS-Analyse gliederte sich in die Beurteilung der Veränderung sagittaler Parameter (ANB-, SNA-, SNB, SNPg-Winkel und Wits-Wert), vertikaler Parameter (Unterkieferneigung, Oberkieferneigung, Interbasenwinkel, Gesichtshöhenverhältnis, Summenwinkel), dentaler Parameter (Neigung der Oberkieferfront, Neigung der Unterkieferfront und Interinzisalwinkel) und metrischer Parameter (Oberkieferlänge, horizontale Unterkieferlänge, Länge des R. ascendens). Die Auswertung erfolgte durch das Programm fr-win® (Computer konkret AG). Die folgenden vier Abbildungen zeigen die skelettalen und dentalen Referenzwinkel sowie die metrischen Parameter im FRS.

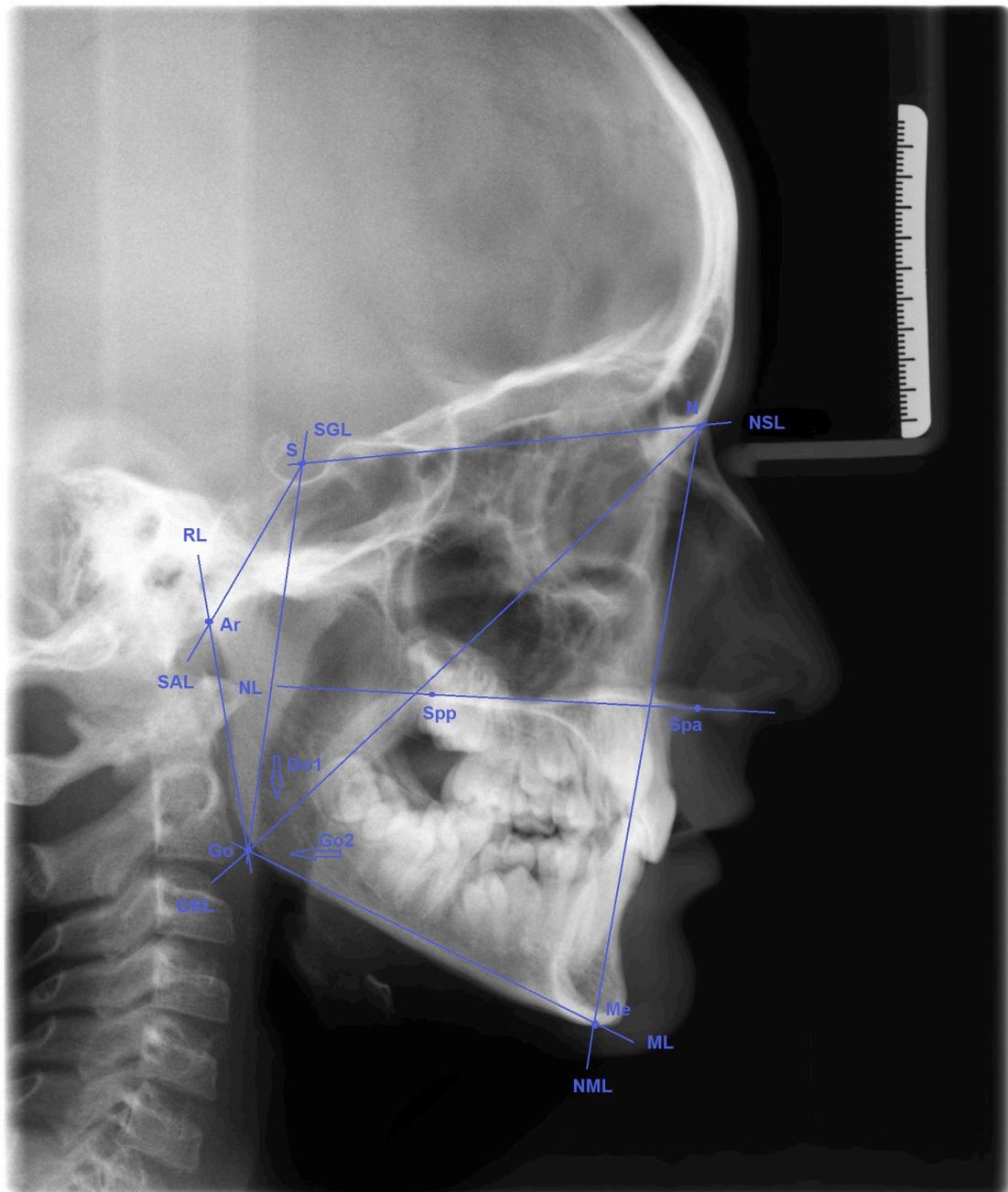


Abb. 4 Vertikale Parameter im FRS: Dargestellt sind die Nasallinie, die Mandibularline, die Ramuslinie, die Articulare-Sella-Linie (hintere Schädelbasis), die Nasion-Sella-Linie (vordere Schädelbasis) sowie die Nasion-Menton-Linie, die Sella-Gonion-Linie und die Gonion-Nasion-Linie. Die Referenzlinien ermöglichen die Bestimmung von NL-NSL, ML-NSL, ML-NL, Go1, Go2, ArGoMe und des Gesichtshöhenverhältnisses.

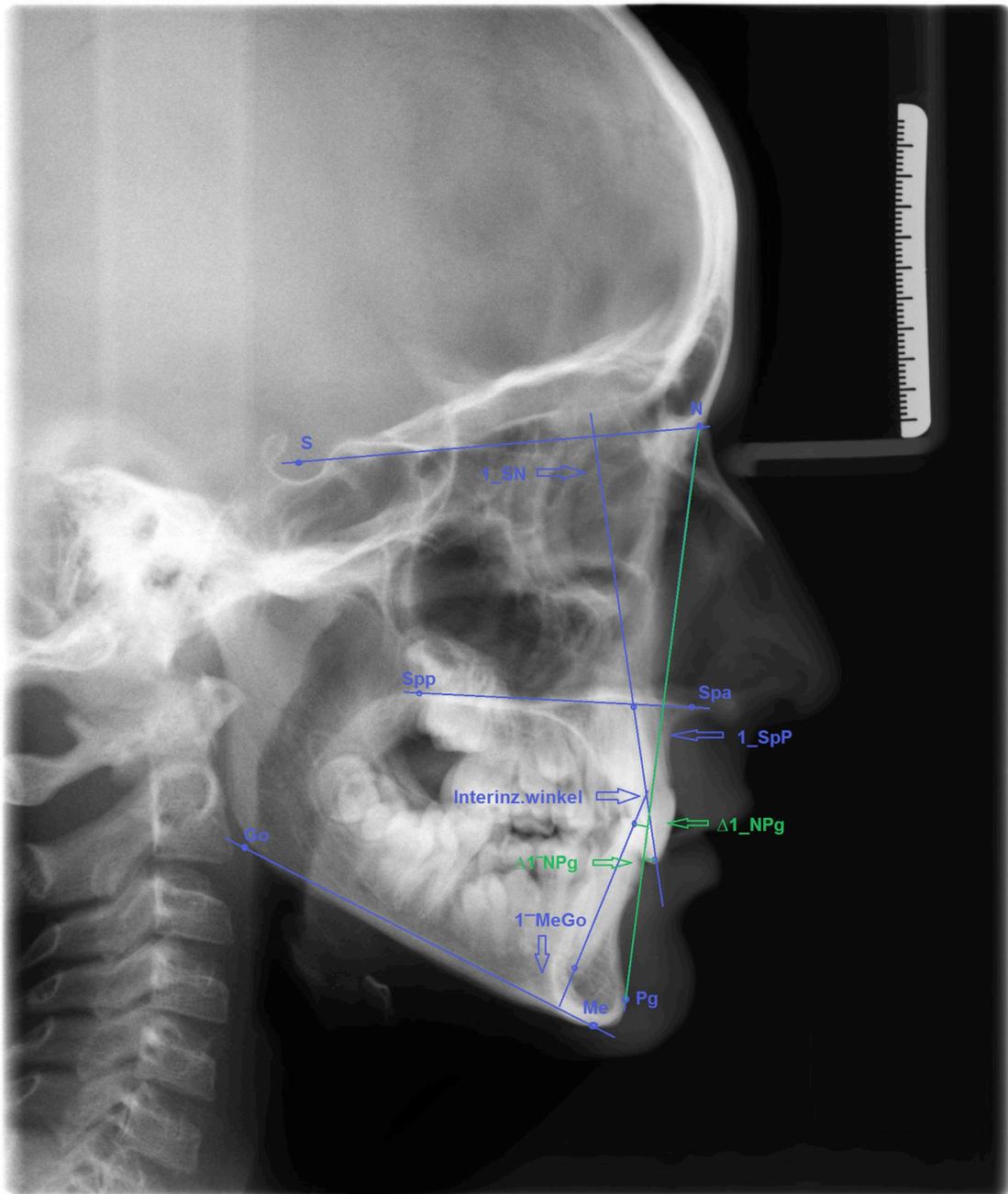


Abb. 5 Dentale Parameter im FRS: Dargestellt sind die beiden Schneidezahnachsen, die Mandibularlinie, die Nasallinie, die Nasion-Sella-Linie und die daraus zu bestimmenden Winkel (1_{SN} , 1_{SpP} , 1_{MeGo} , Interinzisalwinkel) sowie die perpendicularen Abstände der Schneidezähne zur NPg-Linie.

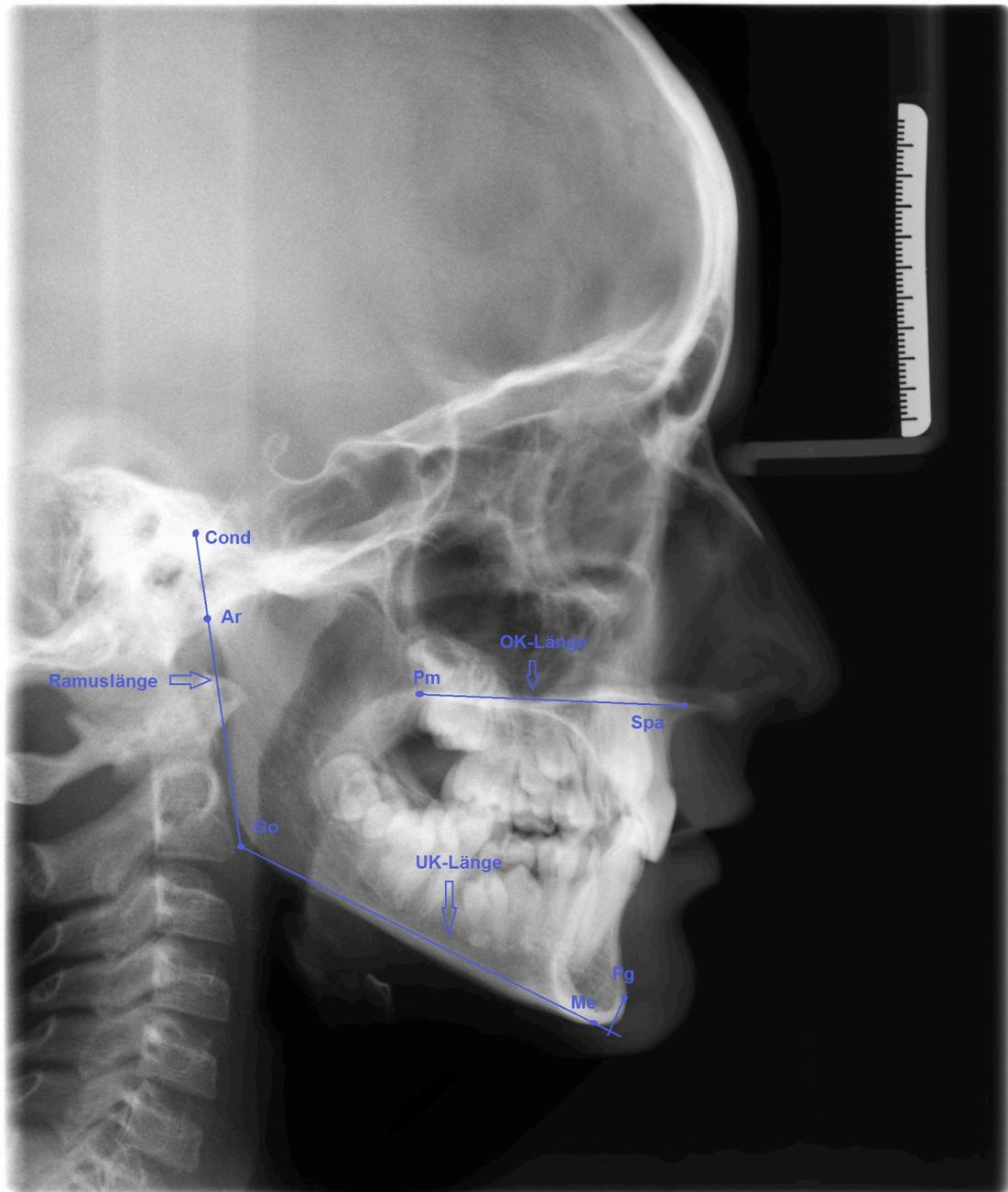


Abb. 6 Metrische Parameter im FRS: Dargestellt sind die Mandibularlinie, die Ramuslinie und die Nasallinie. Die Unterkieferlänge beschreibt die Strecke zwischen Gonion und dem Lot auf Pogonion durch die Mandibularlinie, die Ramuslänge wird durch die Strecke zwischen Gonion und den konstruierten Punkt Condylion bestimmt, die Oberkieferlänge beschreibt den Abstand zwischen Pterygomaxillare und der Spina nasalis anterior.

2.2.5 FRS-Analyse der Veränderungen im pharyngealen Raum

Die pharyngeale Analyse gliederte sich einerseits in eine Beurteilung der Veränderung der Hyoidposition: Durch Messung der Abstandsänderung zu den Punkten Sella, Nasion, Menton und zum dritten Halswirbel sowie zur Nasal- und Mandibularlinie war eine metrische Analyse der vertikalen und sagittalen Veränderungen möglich. Weiterhin erfolgte eine Durchmesserbestimmung des Pharynx auf Höhe des Oberkieferplanums, der Okklusalebene und der Mandibularlinie sowie an der engsten Stelle des Hypopharynx. Die Schnittpunkte der vorgenannten Linien mit dem Rachen bildeten ferner ein Polygon, dessen Flächenberechnung der Beurteilung der sagittalen und vertikalen pharyngealen Ausdehnung diente. Die FRS-Analyse dieser Untersuchung wird also kranial durch den Übergang vom Naso- zum Oropharynx und kaudal durch die Grenze des Laryngopharynx begrenzt. Die FRS-Analyse der pharyngealen Punkte erfolgte ebenfalls an digitalen FRS-Bildern. Für diese sehr spezielle Fragestellung wurde ein von der Firma Krautsoft® entwickeltes Java-Applet verwendet. In Abbildung 7 findet sich eine Darstellung der metrischen Messungen des Hyoids, der verschiedenen pharyngealen Durchmesser sowie der pharyngeal bestimmten Flächen.

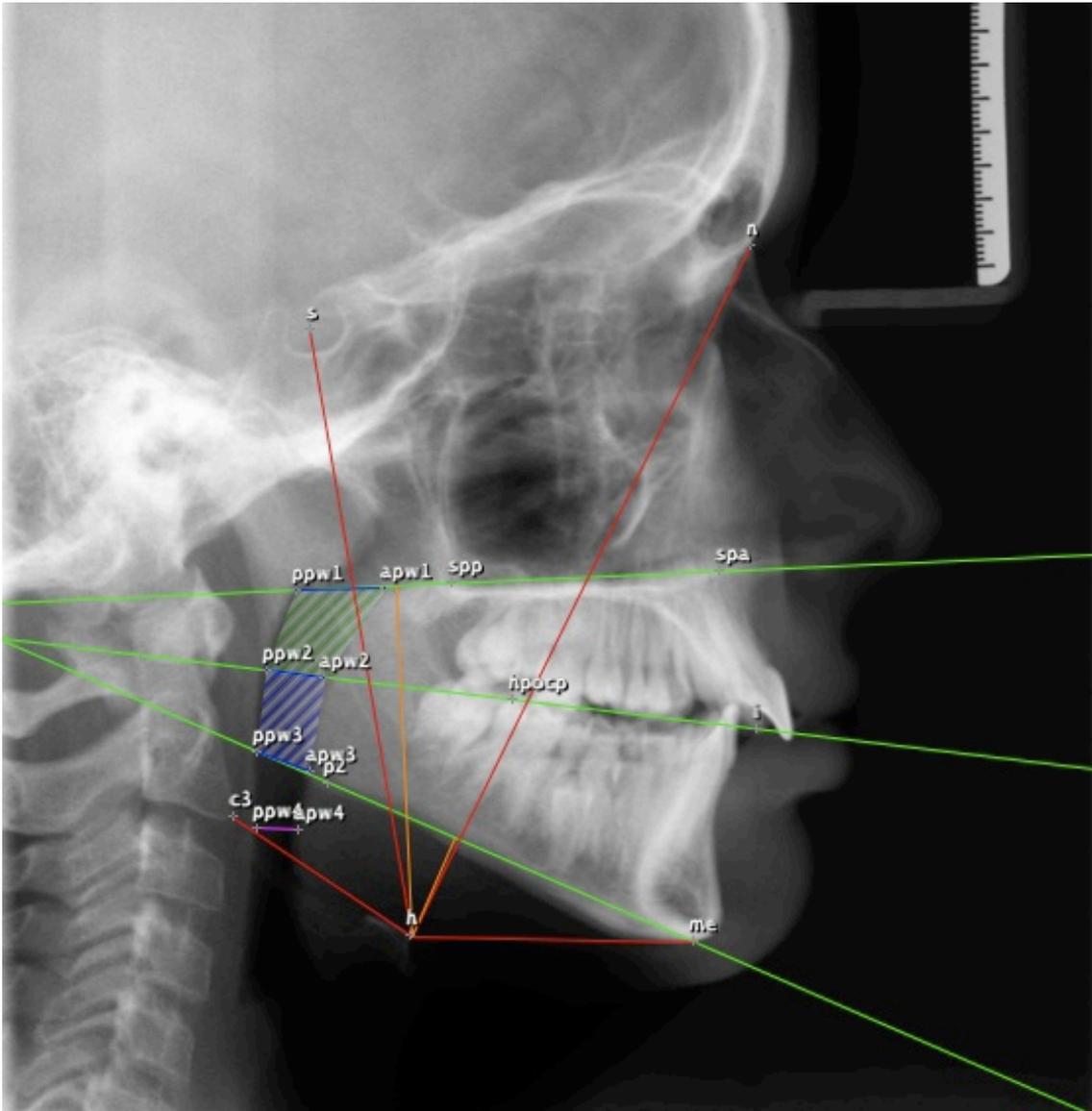


Abb. 7 Hyoidlage und PAS im FRS: Dargestellt sind die Nasallinie, die Okklusionslinie und die Mandibularlinie, deren Schnittpunkte mit dem Pharynx die Bestimmung der sagittalen Ausdehnung (posterior airway space, PAS 1-3) und der pharyngealen Flächen A1 und A2 ermöglichen. Die Strecke PAS 4 beschreibt die engste Stelle des Hypopharynx. Weiterhin sind die Abstände des Hyoids zu den Punkten C3, Sella, Nasion und Menton sowie zur Nasallinie und zur Mandibularlinie abgebildet.

2.3 Statistik

Das Auswahlverfahren der Stichprobe war systematisch, notwendige Kriterien für die Stichprobe waren das Jugendalter und die Therapie mit dem Herbstscharnier. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist somit nur auf die

Grundgesamtheit von Patienten möglich, die vorgenannte Merkmale aufweisen. Die prä- und posttherapeutischen Messwerte wurde am gleichen Patientenkollektiv gewonnen, somit lagen verbundene Stichproben vor. Das Signifikanzniveau (maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit) wurde a priori auf 0,05 festgelegt, was bedeutete, dass die Wahrscheinlichkeit für ein irrtümliches Ablehnen der Nullhypothese bei 5% lag. Zunächst erfolgte bei allen Messwerten der Stichprobe die Bestimmung der Mittelwerte und der Standardabweichungen. Im Anschluß erfolgte eine Differenzbildung der Werte, die nach (T2) und vor (T1) der HS-Therapie gewonnen wurden. Das metrische Skalenniveau (Rang- und Abstandbildung waren möglich) der für die statistische Auswertung herangezogenen Messwerte bildete die Grundlage für die unten genannte mathematische Auswertung. Folgende statistische Tests fanden Anwendung, um Zusammenhänge zwischen den Meßreihen zu den Zeitpunkten T1 und T2 (geschlechtsspezifische Demographie, sagittale Parameter, vertikale Parameter, dentale Parameter und pharyngeale Parameter) aufzeigen zu können:

- Die Prüfung der Normalverteilung der Parameter erfolgte durch den Kolmogorow-Smirnow-Test und den Shapiro-Wilk-Test.
- Der Wilcoxon-Test wurde verwendet, um zu überprüfen, ob bei den hier vorliegenden verbundenen, normal verteilten Stichproben signifikante Unterschiede zwischen beiden Messungen vorlagen. Der Begriff der Signifikanz meint in diesem Zusammenhang, dass die gemessenen Unterschiede zwischen zwei Werten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zufällig sind.
- Die Bestimmung des Pearson-Koeffizienten wurde verwendet, um zu überprüfen, ob lineare Zusammenhänge zwischen den Messwerten (intervallskalierte Merkmale) vorliegen. Der Test setzt eine Normalverteilung der Merkmale voraus. Rückschlüsse auf einen kausalen Zusammenhang lässt der statistische Test jedoch nicht zu.
- Weiterhin erfolgte die Berechnung des Dahlberg-Methodenfehlers nach der Formel $\delta = \sqrt{(\sum d^2/2n)}$, um aufzuzeigen inwieweit die durchgeführten

Messungen reliabel waren [28]. Der zeitliche Abstand der Hauptanalyse zu den zehn durchgeführten Kontrollauswertungen betrug 18 Monate.

Die Berechnung der vorgenannten Werte erfolgte mittels der Tabellenkalkulation Microsoft Excel® und dem Statistikprogramm SPSS® (Version 19.0).

3. Ergebnisse

3.1 Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten

Es nahmen 18 männliche und 17 weibliche Probanden an der Studie teil. Zum Zeitpunkt der prätherapeutischen Fernröntgenseitenaufnahme (FRS 1) waren die Probanden durchschnittlich 12,6 ($\pm 1,7$) Jahre alt. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug bei Therapiebeginn (T1) 13,2 ($\pm 1,7$) Jahre, wodurch sich eine zeitliche Differenz von gemittelten 226 Tagen zwischen erster Bildgebung und Therapiebeginn mit dem Herbstscharnier ergab. Die mittelwertige Tragedauer des Scharniers lag bei 194 (± 36) Tagen. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug bei Herausnahme des Herbstscharniers (T2) 13,7 Jahre. Bis zur Durchführung der zweiten Bildgebung (FRS 2) ergab sich dann eine mittlere Differenz von 93 Tagen. Zum Zeitpunkt der zweiten Bildgebung waren die Probanden durchschnittlich 14,0 Jahre alt. Zwischen erster und zweiter Bildgebung lagen im Mittel 514 (± 132) Tage.

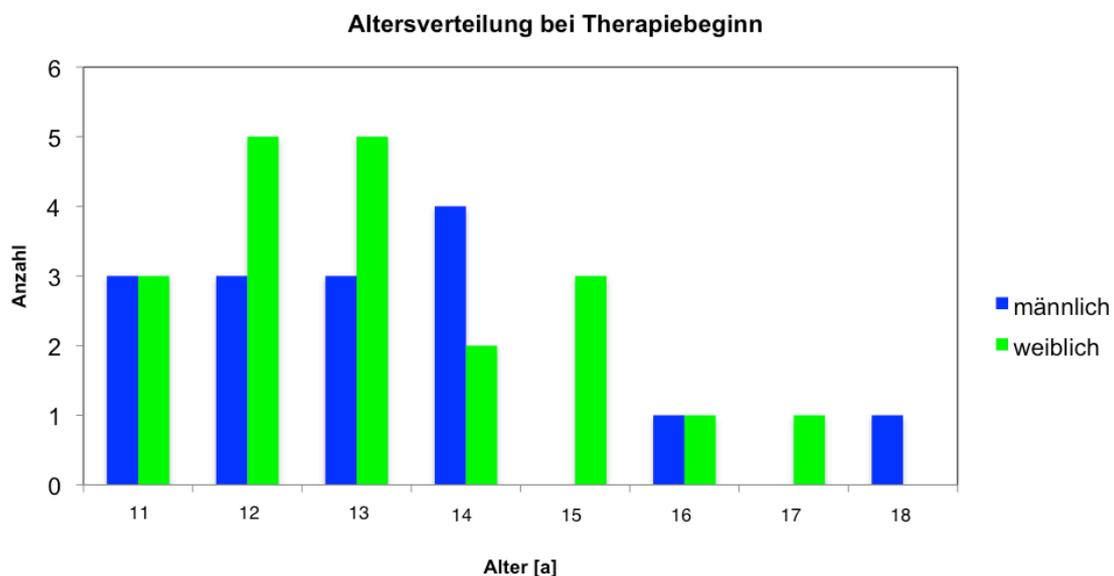


Abb. 8 Altersverteilung bei Therapiebeginn in Jahren

Die geschlechtsspezifische Auswertung ergab folgende Unterschiede: Die erste Bildgebung (FRS 1) erfolgte bei den männlichen Probanden mit durchschnittlich 12,7 ($\pm 1,7$) Jahren, bei den weiblichen Probanden mit 12,4 ($\pm 1,6$) Jahren. Die Einbringung des Herbstscharniers (T1) erfolgte im bei den

untersuchten Jungen mit $13,4 (\pm 1,8)$ und bei den untersuchten Mädchen mit $13,0 (\pm 1,5)$ Jahren. Die Therapiedauer betrug bei den männlichen Studienteilnehmern dann im Schnitt $202 (\pm 29)$ Tage und $187 (\pm 41)$ Tage bei den weiblichen Teilnehmerinnen der Studie. Mit durchschnittlich $13,9 (\pm 1,9)$ Jahren bei den Jungen und $13,5 (\pm 1,6)$ bei den Mädchen wurde die Apparatur wieder entfernt (T2). Die abschließende Röntgenuntersuchung (FRS 2) erfolgte bei den männlichen Patienten mit $14,1 (\pm 1,8)$ Jahren und bei den weiblichen Probanden mit $13,8 (\pm 1,5)$ Jahren. Insgesamt zeigen sich also ein früherer Therapiebeginn und eine kürzere Therapiedauer bei den weiblichen Studienteilnehmern.

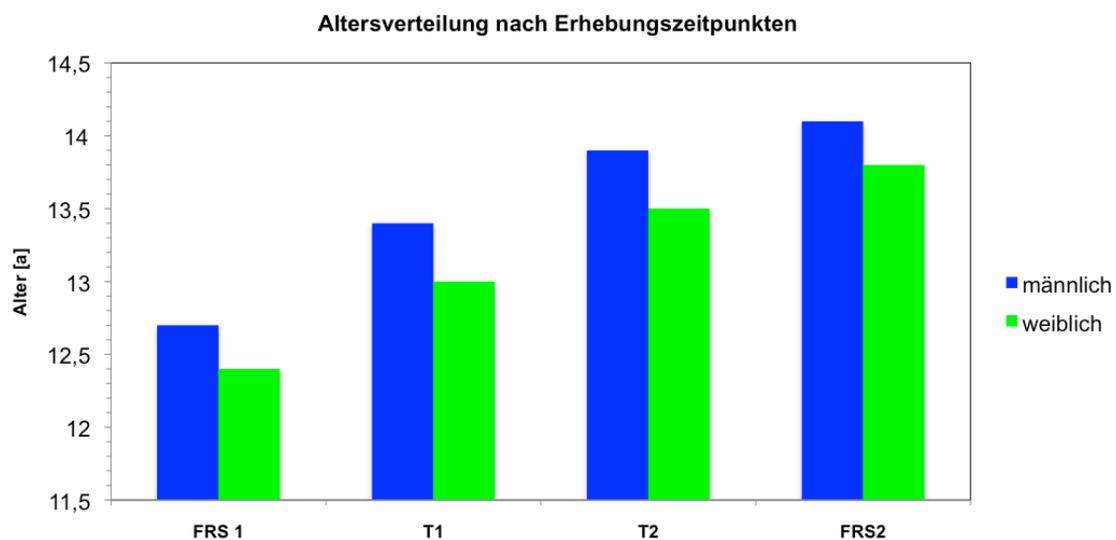


Abb. 9 Altersverteilung bei T1/2, FRS 1/2

3.2 Reliabilität der Messungen

Durch Berechnung des Fehlerkoeffizienten nach Dahlberg konnte für die meisten FRS-Parameter eine gute Reproduzierbarkeit nachgewiesen werden. Werte kleiner als 1° bzw. 1mm sind als klinisch unbedeutsam anzusehen.

Tab. 1: Methodenfehler nach Dahlberg

Parameter	Fehlerkoeffizient
Sagittale Parameter	
SNA [°]	1,10
SNB [°]	0,74
ANB [°]	0,47
SNPg [°]	0,74
Wits [mm]	1,87
Vertikale Parameter	
Go1	0,55
Go2	0,36
ArGoMe [°]	0,73
NL-SNL [°]	1,21
NL-ML [°]	0,83
ML-SNL [°]	0,68

Dentale Parameter

1 ₁ SN [°]	0,59
Schwarz [°]	0,79
1 ⁻ MeGo [°]	0,99
Δ1 ₁ NPg [mm]	0,62
Δ1 ⁻ NPg [mm]	0,80
Interinz.winkel [°]	1,31

Metrische Parameter

OK-Länge [mm]	0,75
UK-Länge [mm]	1,09
Ram.länge [mm]	0,71

Hyoidposition

H-C3 [mm]	0,65
H-S [mm]	1,08
H-N [mm]	1,04
H-Me [mm]	0,58

H-NL [mm]	0,96
H-ML [mm]	0,79

Pharyngeale Parameter

Apw1-Ppw1 [mm]	0,94
Apw2-Ppw2 [mm]	0,35
Apw3-Ppw3 [mm]	0,46
Apw4-Ppw4 [mm]	0,58
A1 [mm ²]	0,96
A2 [mm ²]	0,54

3.3 Sagittale Parameter

Der SNA-Winkel zeigte unter der Herbstscharniertherapie keine Veränderungen, die sagittale Position des Oberkiefers war somit unverändert orthognath. Der SNB-Winkel nahm höchst signifikant um durchschnittlich 1,2° zu, es fand also eine leichte Zunahme bei vorbestehender orthognather Lage des Unterkiefers statt. Der ANB-Winkel nahm höchst signifikant um durchschnittlich 1,4° ab, so dass nach der Therapie der obere Normbereich der skelettalen Klasse I erreicht wurde. Der SNPg-Winkel nahm höchst signifikant um durchschnittlich 1,0° zu, es kam also zu einer leichten Annäherung an den Normwert von 78,5° bei vorbestehender orthognather Lage des Unterkiefers. Der Wits-Wert nahm um gemittelte 1,4 mm ab, posttherapeutisch lag somit noch immer eine skelettale Klasse II vor, allerdings zeigte sich ein Trend in

Richtung der skelettalen Klasse I. Zusammenfassend zeigten sich keine sagittalen Lageänderungen des Oberkiefers, der Unterkiefer zeigte eine leichte Entwicklung nach ventral.

Tab. 2 Sagittale Parameter im FRS: Mittelwert (M) und Standardabweichung des Mittelwertes (SD) zu den Untersuchungszeitpunkten T1 und T2; Differenz (Δ) zwischen T1 und T2; Signifikanz (S)

Parameter	T1		T2		$\Delta(T2-T1)$		S
	M	SD	M	SD	M	SD	p
SNA [°]	82,1	4,1	82,0	3,7	-0,1	-0,4	0,621
SNB [°]	76,7	3,4	77,9	3,0	1,2	-0,4	0,000
ANB [°]	5,4	1,8	4,0	1,7	-1,4	-0,1	0,000
iANB/ANB	0,7	0,3	0,9	0,5	0,2	0,2	0,000
SNPg [°]	77,8	3,4	78,8	2,9	1,0	-0,5	0,000
Wits [mm]	4,5	2,9	1,1	3,0	-1,4	0,1	0,000

3.4 Vertikale Parameter

Summenwinkel und Kieferwinkel wiesen prä- und posttherapeutisch auf ein ausgeglichenes Wachstumsmuster hin und waren nahezu konstant. Der Interbasenwinkel, die Oberkiefer- und Unterkieferneigung waren vor Behandlungsbeginn im normwertigen Bereich und blieben im Verlauf nahezu unverändert. Die Gesichtshöhenrelation nahm um 1% zu. Lediglich der obere (Abnahme um 0,8°) und der untere Gonionwinkel (Zunahme um 1,0°) zeigten signifikante leichte Veränderungen.

Tab. 3 Vertikale Parameter im FRS: Mittelwert (M) und Standardabweichung des Mittelwertes (SD) zu den Untersuchungszeitpunkten T1 und T2; Differenz (Δ) zwischen T1 und T2; Signifikanz (S)

Parameter	T1		T2		$\Delta(T2-T1)$		S
	M	SD	M	SD	M	SD	p
SW [°]	390,4	4,5	390,2	4,4	-0,2	-0,1	0,421
Go1	51,9	4,4	51,1	4,4	-0,8	0	0,002
Go2	69,5	4,0	70,5	4,2	1,0	0,2	0,000
ArGoMe [°]	121,4	5,9	121,6	6,2	0,2	0,3	0,322
NL-NSL [°]	7,4	3,2	7,7	3,6	0,3	0,4	0,221
ML-NSL [°]	30,4	4,5	30,2	4,4	-0,2	-0,1	0,421
NL-ML [°]	23,0	4,9	22,5	5,2	-0,5	0,3	0,078
Ges.rel.	0,67	0,04	0,68	0,03	0,01	0	0,001

3.5 Dentale Parameter

Die Oberkieferfront stand vor und nach der Behandlung achsengerecht. Der Winkel zwischen Oberkieferfront und vorderer Schädelbasis nahm leicht ab, der Winkel zwischen Oberkieferfront und Nasallinie nahm leicht zu, womit es zu einer weiteren Annäherung an die Idealwerte kam. Der Winkel zwischen der Unterkieferfront und dem Mandibularplanum stieg mit 1,3° leicht an, die Unterkieferfront stand im Mittel der Probanden schon prätherapeutisch nach

labial inkliniert, die Situation wurde somit leicht verschlechtert. Der posttherapeutisch erreichte Interinzisalwinkel war also weiterhin als instabil zu interpretieren. Der Abstand der in Ante-Position befindlichen Oberkieferfront zur Nasion-Pogonion-Linie nahm um durchschnittlich 2,1 mm ab wohingegen der Abstand der Unterkieferfront zur selben Referenzlinie um gemittelte 1,1 mm zunahm, posttherapeutisch befand sich die Unterkieferfront nunmehr ebenfalls in Anteposition. Von den vorgenannten dentalen Parametern waren nur die sagittalen Positionsänderungen der Frontzähne höchst signifikant, die Änderungen der Oberkieferfrontzahninklinationen zeigten ein nur niedriges Signifikanzniveau.

Tab. 4 Dentale Parameter im FRS: Mittelwert (M) und Standardabweichung des Mittelwertes (SD) zu den Untersuchungszeitpunkten T1 und T2; Differenz (Δ) zwischen T1 und T2; Signifikanz (S)

Parameter	T1		T2		$\Delta(T2-T1)$		S
	M	SD	M	SD	M	SD	p
1_{SN} [°]	104,5	6,8	103,3	5,4	-1,2	-1,4	0,330
Schwarz [°]	68,1	6,9	69,0	5,6	0,9	-1,3	0,484
1⁻ MeGo [°]	102,1	6,4	103,4	7,2	1,3	0,8	0,124
$\Delta 1_{NPg}$ [mm]	12,4	3,7	10,3	3,2	-2,1	-0,5	0,000
$\Delta 1^{\neg} NPg$ [mm]	4,9	3,1	6,0	3,4	1,1	0,3	0,001
Interinz.winkel [°]	123,1	7,6	123,1	8,4	0	1,8	0,826

3.6 Metrische Parameter

Während die Oberkieferlänge mit gemittelten 0,5 mm signifikanter Größenzunahme nahezu konstant blieb, nahm die Unterkieferlänge unter der Therapie um durchschnittlich 1,9 mm zu. Die Länge des aufsteigenden Astes nahm sogar um 3,6 mm zu, die Änderungen der Unterkieferdimensionen waren hierbei höchst signifikant.

Tab. 5 Metrische Parameter im FRS: Mittelwert (M) und Standardabweichung des Mittelwertes (SD) zu den Untersuchungszeitpunkten T1 und T2; Differenz (Δ) zwischen T1 und T2; Signifikanz (S)

Parameter	T1		T2		$\Delta(T2-T1)$		S
	M	SD	M	SD	M	SD	p
OK-Länge [mm]	59,8	4,3	60,3	4,6	0,5	0,3	0,138
UK-Länge [mm]	92,4	7,9	94,3	7,4	1,9	-0,5	0,000
Ram.länge [mm]	66,4	7,0	70,0	6,8	3,6	-0,2	0,000

3.7 Hyoidverlagerung

Die Abstände zu Nasion und Sella nahmen um durchschnittlich 3 mm zu. Der Abstand zur ventrokaudalen Ecke des dritten Halswirbels nahm um durchschnittlich 1 mm zu der Abstand zum Punkt Menton vergrößerte sich um durchschnittlich 2 mm. Der Abstand zum Oberkieferplanum nahm um 2 mm zu wohingegen der Abstand zum Mandibularplanum unverändert blieb. Mit Ausnahme des Hyoidabstands zum Unterkieferplanum veränderten sich alle anderen Lageparameter des Zungenbeins hoch signifikant.

Tab. 6: Hyoidposition im FRS: Mittelwert (M) und Standardabweichung des Mittelwertes (SD) zu den Untersuchungszeitpunkten T1 und T2; Differenz (Δ) zwischen T1 und T2; Signifikanz (S)

Parameter	T1		T2		$\Delta(T2-T1)$		S
	M	SD	M	SD	M	SD	p
H-C3 [cm]	3,6	0,5	3,7	0,5	0,1	0	0,014
H-S [cm]	9,4	0,8	9,7	0,8	0,3	0	0,000
H-N [cm]	11,4	0,8	11,7	0,8	0,3	0	0,001
H-Me [cm]	3,7	0,5	3,9	0,6	0,2	-0,1	0,018
H-NL [cm]	5,4	0,7	5,6	0,7	0,2	0	0,001
H-ML [cm]	1,2	0,6	1,2	0,5	0	-0,1	0,971

3.8 Pharyngeale Parameter

Der pharyngeale Durchmesser nahm in Verlängerung der Okklusionsebene, des Unterkieferplanums und im Bereich der hypopharyngealen Engstelle um durchschnittlich 1 mm zu. Den größten Zuwachs zeigt der pharyngeale Durchmesser mit gemittelten 3mm in Verlängerung der Nasallinie. Abgesehen von der sagittalen Längenzunahme in Verlängerung des Unterkieferplanums waren diese Veränderungen hoch signifikant. Es kam ferner zu einer höchst signifikanten Zunahme der im FRS projizierten Fläche (A1+A2) des Rachenraums von 70 mm². Dies entsprach einer Zunahme von 19,4% im Vergleich zum Ausgangswert wobei die weiter kranial liegende Fläche A1 mit 23,5% stärker zunahm als die kaudal liegende Fläche A2 (15,8%).

Tab. 7: Pharyngeale Parameter im FRS: Mittelwert (M) und Standardabweichung des Mittelwertes (SD) zu den Untersuchungszeitpunkten T1 und T2; Differenz (Δ) zwischen T1 und T2; Signifikanz (S)

Parameter	T1		T2		$\Delta(T2-T1)$		S
	M	SD	M	SD	M	SD	p
Apw1-Ppw1 [cm]	1,7	0,4	2,0	0,5	0,3	0,1	0,000
Apw2-Ppw2 [cm]	1,0	0,3	1,1	0,3	0,1	0	0,003
Apw3-Ppw3 [cm]	0,9	0,3	1,0	0,2	0,1	-0,1	0,169
Apw4-Ppw4 [cm]	0,8	0,3	0,9	0,3	0,1	0	0,059
A1 [cm²]	1,7	0,6	2,1	0,8	0,4	0,2	0,000
A2 [cm²]	1,9	0,6	2,2	0,6	0,3	0	0,000

3.9 Korrelationen zwischen den Messwerten

Auf eine Prüfung von geschlechtsspezifischen linearen Zusammenhängen wurde aufgrund der dann zu geringen Größen von männlichen und weiblichen Stichproben verzichtet. Wegen der klinischen Relevanz (durch die Therapie zu erwartende Veränderungen im Bereich der sagittalen und dentalen Parameter) sind folgende Zusammenhänge gesondert zu erwähnen: Es fanden sich signifikante stark positive lineare Zusammenhänge zwischen der Zunahme des SNB-Winkels und der Zunahme des 1stMeGo-Winkels ($r=0,90$) sowie zwischen der Zunahme des SNPg-Winkels und der Zunahme des 1stMeGo-Winkels ($r=0,90$). Es zeigte sich ferner ein signifikanter vollständig positiver linearer Zusammenhang zwischen den Veränderungen von SNB- und SNPg-Winkel ($r=1,0$), die Ventralentwicklung des Unterkiefers war also von einer Ventralentwicklung des Kinns begleitet. Daneben zeigte die horizontale

Unterkieferlänge einen signifikanten stark positiven linearen Zusammenhang zur Zunahme des SNB-Wertes ($r=0,89$) und des SNPg-Wertes ($r=0,90$). Analog korrelierte die Ramuslänge mit SNB ($r=0,88$) und SNPg ($r=0,88$). Die Veränderung des SNB-Winkels ergab einen signifikanten stark positiven linearen Zusammenhang mit den Veränderungen der Hyoidabstände zu Sella ($r=0,87$) und Nasion ($r=0,88$). Die pharyngealen Parameter wiesen keine Korrelationen zu anderen Messwerten auf.

Tab. 8: Signifikante stark positive lineare Zusammenhänge zwischen den Messwerten (mit einem Pearson-Korrelationskoeffizienten $\geq 0,85$):

	SNB	SNPg	Go1↓	Go2	1_SNB↓	Schwarz	1 ⁻ MeGo	Δ1_NPg↓	Δ1 ⁻ NPg	OK-Länge	UK-Länge	Ramuslänge	H-C3	H-S	H-N	H-NL
SNB	1	1	0,88	0,90	0,97	-	0,90	-	-	0,91	0,89	0,88	-	0,87	0,88	-
SNPg	1	1	0,89	0,90	0,97	-	0,90	-	-	0,91	0,90	0,88	-	-	-	-
Go1↓	0,88	0,89	1	-	0,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Go2	0,90	0,90	-	1	0,86	0,88	-	-	-	-	-	-	-	0,86	0,87	-
1_SNB↓	0,97	0,97	0,86	0,86	1	-	-	-	-	0,89	0,88	0,88	-	0,85	0,86	-
Schw	-	-	-	0,88	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 ⁻ MeGo	0,90	0,90	-	-	-	-	1	-	-	0,89	-	-	-	-	-	-
Δ1_NPg↓	-	-	-	-	-	-	-	1	0,92	-	-	-	-	-	-	-
Δ1 ⁻ NPg	-	-	-	-	-	-	-	0,92	1	-	-	-	-	-	-	-
OK-Lg.	0,91	0,91	-	-	0,89	-	0,89	-	-	1	0,92	0,90	-	-	-	-
UK-Lg.	0,89	0,90	-	-	0,88	-	-	-	-	0,92	1	-	-	-	-	-
Ram.	0,88	0,88	-	-	0,88	-	-	-	-	0,90	-	1	-	-	-	-
H-C3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,89	-	0,88
H-S	0,87	-	-	0,86	0,85	-	-	-	-	-	-	-	0,89	1	0,97	-
H-N	0,88	-	-	0,87	0,86	-	-	-	-	-	-	-	-	0,97	1	0,94
H-NL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,88	-	0,94	1

4. Diskussion

4.1 Diskussion der Demographie

Die geschlechterspezifische Verteilung ist bei einer ungeraden Probandenanzahl mit 18 männlichen und 17 weiblichen Studienteilnehmern ideal. Die Einbringung des Scharniers erfolgte bei den behandelten Jungen mit durchschnittlich 13,4 Jahren, bei den behandelten Mädchen erfolgte die Einbringung mit durchschnittlich 13,0 Jahren. Der gewählte Therapiebeginn orientiert sich idealer Weise am Wachstumsmaximum des Gesichtsschädels.

Pancherz empfahl ursprünglich sogar, das Herbstscharnier nur bei Personen im Wachstum zu verwenden [44]. Eine Studie von Bremen und Pancherz ergab, dass der Effekt der HS-Therapie (Bewertung der Effizienz durch den PAR-Index) bei Klasse II/1-Patienten im permanenten Gebiss schneller eintrat als in der ersten und zweiten Phase des Wechselgebisses [35]. Nach herrschender Lehrmeinung liegt das Wachstumsmaximum von Mädchen bei 12 Jahren, Jungen erreichen den pubertären Wachstumsgipfel im Alter von 14 Jahren [66]. Schopf empfiehlt, den kieferorthopädischen Behandlungsbeginn vor das Wachstumsmaximum zu legen, wenn das Wachstumsmaximum für die Therapie genutzt werden soll [60]. Untersuchungen von Pancherz und Hägg zur Auswirkung der HS-Therapie auf das sagittale Unterkieferwachstum und dentale Veränderungen in Abhängigkeit vom Längenwachstum beschrieben analog die stärkste Längenzunahme der Mandibula während des Wachstumsgipfels [41]. Fünf Probanden waren 15 Jahre oder älter. Eine effektive Therapie im Jugendalter ist auch vor und nach dem Wachstumsmaximum möglich. Allerdings ist die kieferorthopädische Wachstumspotenz nach dem Wachstumsmaximum geringer. Der bei Mädchen verspätete Therapiebeginn lässt sich durch die teilweise späte Erstvorstellung der Patienten erklären, die erste FRS-Aufnahme erfolgte bei den untersuchten Mädchen nämlich erst mit durchschnittlich 12,4 Jahren. Die durchschnittlichen zeitlichen Differenzen zwischen erster Bildgebung und Therapiebeginn (226 Tage) sowie zwischen Therapieende und zweiter Bildgebung (93 Tage) bildeten die Grundlage für eine gewisse Unschärfe bezüglich der Interpretation der Ergebnisse, da die zwischenzeitlich eingetretenen skelettalen und dentalen Veränderungen nur noch mittelbar auf die Therapie zurückzuführen waren. Eine

weitere Aufnahme direkt vor Einsetzen des Scharniers wäre trotz der geringen Strahlenbelastung aus strahlenhygienischer Sicht nicht zu befürworten gewesen. Der Zeitpunkt der posttherapeutischen Aufnahme, die circa drei Monate nach Entfernung des Geräts erfolgte, war im Hinblick auf die Bewertung von Stabilität und Frührezidiven der Therapie sinnvoll gewählt.

4.2 Diskussion von Methode und statistischer Auswertung

Die Untersuchung erfolgte longitudinal ohne Kontrollgruppe. Die Rekrutierung einer Kontrollgruppe ohne Therapie der Retrognathie, wie sie beispielsweise bei klinischen Tests von Medikamenten üblich ist, war nicht möglich, da der Rückbiss aus kieferorthopädischer Sicht eine eindeutige Behandlungsindikation darstellt. Die Nichtbehandlung dieser Patienten wäre also nicht mit medizinischen Behandlungsgrundsätzen in Einklang zu bringen gewesen. Eine mögliche Fehlerquelle der FRS-Analyse war zunächst die Bestimmung der Referenzpunkte und die daraus resultierenden möglichen Fehlerquellen für die daraus abgeleiteten Winkel und metrischen Parameter: Die sich überlagernden Apices der Ober- und Unterkieferfronten machten eine eindeutige Bestimmung mitunter unmöglich, wodurch sich ein möglicher Fehler bei der Bestimmung der dentalen Parameter ergab. Die Projektion der Spina nasalis anterior zeigt ventral bei manchen Menschen eine röntgenopake Ausziehung, die einer bindegewebigen Verdichtung entspricht. Dies erschwerte in einigen Fällen die exakte Punktbestimmung, wodurch sich Folgefehler bei der Bestimmung der Oberkieferlänge und der Lage des Oberkieferplanums ergeben konnten. Die Glabella kann durch Knochenapposition im Rahmen des Schädelwachstums ihre Größe verändern. Diese Größenänderung konnte mittelbar Einfluß auf die Position des Meßpunkts Nasion nehmen, was sich dann auch fehlerhaft auf die Bestimmung aller von diesem Punkt abhängenden Winkel und Strecken auswirken konnte. Weiterhin zeigt der Unterkiefer im Wachstum ein Nebeneinander zwischen Resorption und Apposition, dessen Einfluß auf die Lokalisation der Referenzpunkte zumindest erwähnt werden muß. Eine Differenzierung zwischen wachstums- und therapiebedingten Veränderungen war mangels einer Kontrollgruppe nicht möglich. Die Position des Hyoids und der Rachendurchmesser sind durch Anspannung der hier ansetzenden und entspringenden Muskulatur vom Probanden beeinflussbar, die Positionsbestimmung des Hyoids war also ebenso wie die pharyngeale

Durchmesserbestimmung bei Nichtvorhandensein des muskulären Ruhetonus als Fehlerquelle anzusehen.

Bezüglich der durchgeführten statistischen Tests zur Prüfung signifikanter Unterschiede zwischen den Messwerten und Korrelationen zwischen verschiedenen Messwerten sei angemerkt, daß letztere keinen Rückschluß auf kausale Zusammenhänge zulassen und die Größe der Stichprobe eine Verallgemeinerung der Ergebnisse nur mit Einschränkungen zulässt.

4.3 Diskussion der skelettalen und dentalen Veränderungen

Zunächst war durch die Ventralverlagerung des Unterkiefers eine unmittelbare Veränderung der sagittalen skelettalen Parameter zu erwarten, die von Referenzpunkten an der Mandibula abhängig waren. Man rechnete also mit einer Zunahme von SNB, SNPog und Wits-Wert wohingegen sich der ANB-Winkel durch die Therapie verringern sollte. Erwartungsgemäß veränderten sich die vorgenannten sagittalen Parameter: Der SNB-Wert vergrößerte sich signifikant um durchschnittlich $1,2^\circ$, der SNPog-Wert nahm signifikant um durchschnittlich $1,0^\circ$ zu. Der Wits-Wert verringerte sich signifikant um $1,4$ mm. Da dieser Wert auch das dentale sagittale Lageverhältnis berücksichtigt, ist bei gleichzeitiger Zunahme des SNB-Werts zu folgern, dass die Unterkieferfront der knöchernen Entwicklung gefolgt ist. Bei einem fast konstanten SNA-Wert verringerte sich der ANB-Wert signifikant um durchschnittlich $1,4^\circ$, die Veränderung der sagittalen Relation zwischen Ober- und Unterkiefer ist also hauptsächlich durch die Entwicklung des Unterkiefers nach ventral zu erklären. Die Veränderungen der sagittalen Meßwerte decken sich mit einer Vielzahl von Untersuchungen bezüglich der skelettalen Auswirkungen des Herbstscharniers: Ruf und Pancherz beschrieben bei jungen Erwachsenen nach kombinierter HS- und Multibandtherapie eine Zunahme des SNB-Wertes um $1,2^\circ$ und eine Zunahme des SNPg-Werts von $0,9^\circ$ [54], wobei die etwas geringeren skelettalen Veränderungen der zitierten Studie mitunter durch das höhere Durchschnittsalter ihrer Stichprobe zurückzuführen sind, die skelettalen Veränderungen unter der HS-Therapie nehmen nämlich mit zunehmendem Alter zugunsten der dentalen Veränderungen ab [53]. Siara-Olds et al. beschrieben eine Zunahme des SNB-Winkels unter HS-Therapie, dieser sei ebenso wie bei der Twinblock-Apparatur stärker ausgeprägt als beim Bionator

oder der MARA-Therapie [63]. Chaiyongsirisern et al. zeigten in einer vergleichenden Untersuchung zwischen HS-Therapie und operativer sagittaler Spaltung des Unterkiefers signifikante Änderungen von SNB und SNPog-Winkel, die chirurgische Therapie führte aber zu größeren Veränderungen, beide Therapiegruppen dieser Studie ergaben drei Jahre nach Therapieende stabile Ergebnisse bei erreichter skelettaler Klasse I [9]. Eine vergleichende Untersuchung von Ruf und Pancherz bezüglich der Effekte von HS-Therapie und chirurgischer Vorverlagerung des Unterkiefers bei Patienten mit Angle-Klasse II/1 wies das Herbstscharnier als sinnvolle Alternative zur chirurgischen Therapie aus, wenn keine ausgeprägten Korrekturen des Weichteilprofils erwünscht waren. Beide Untersuchungsgruppen erreichten posttherapeutisch die Angle-Klasse I, wobei die HS-Therapie dies eher durch dentale Veränderungen bewirkte [55].

Die vertikalen Parameter waren nach Herausnahme des Scharniers fast unverändert. Die stärkste Veränderung zeigte der untere Gonionwinkel mit einer signifikanten Zunahme von $1,0^\circ$. Dies ist mitunter durch die Verstärkung des Unterkieferwachstums in ventrokaudaler Richtung entsprechend der Kraftvektoren des Herbstscharniers erklärbar. Die minimale Abnahme der Unterkieferneigung von $0,3^\circ$ deckt sich mit den Ergebnissen einer Studie von Ruf und Pancherz, die nach sechsmonatiger Behandlung mit dem Herbstscharnier bei 80 Patienten im Mittel keine Auswirkung auf die Unterkieferneigung ergab [56]. Der Interbasenwinkel verringerte sich ebenfalls nur marginal um durchschnittlich $0,5^\circ$, dies wäre neben der verringerten Unterkieferneigung durch die Kraftwirkung auf die ersten Oberkiefermolaren und die daraus resultierende Retroinklination der Nasallinie erklärbar. Untersuchungen von Pancherz an einem Kollektiv von 21 Klasse-II/1-Patienten ergab bei einem Großteil nur unwesentliche Veränderungen von Ober- und Unterkieferneigungen, allerdings zeigten immerhin vier Probanden dieser Studie eine merkliche Retroinklination der Maxilla [48]. Eine weitere Studie von Pancherz und Anehus-Pancherz beschrieb unter HS-Therapie von Klasse-II-Patienten eine mittlere Distalisation der ersten Oberkiefermolaren von 1,2 mm (maximal 4,5 mm) und eine Intrusion von durchschnittlich 0,7 mm (maximal 3,5 mm), ferner kam es zu einer Zunahme der Oberkieferneigung um durchschnittlich zwei Grad und einer Bißöffnung im Seitenzahnbereich.

Allerdings kehrten sich diese Effekte mangels einer guten Retention bereits sechs Monate nach Therapieende wieder um [39]. Pancherz und Fackel beobachteten ferner bei 17 männlichen Patienten unter der Therapie mit dem Scharnier neben einer Verbesserung der sagittalen Parameter eine vorübergehende Vergrößerung des Kieferwinkels, die aber posttherapeutisch wieder rückläufig war [40]. Die zitierten Studien weisen somit auf die Notwendigkeit hin, während der HS-Therapie auch die vertikalen Parameter im Auge zu behalten.

Der verkleinerte Interinzisalwinkel zeigte keine Veränderung durch die Therapie, die Veränderungen der Schneidezahnachsen von Ober- und Unterkiefer glichen sich aus. Die übermäßige labiale Neigung der Unterkieferfront wurde noch verstärkt. In Bezug auf die von der Literatur geforderten Normwerte für den Interinzisalwinkel [62] und die Inklination der Unterkieferfront hat sich die Therapie nicht günstig auf die Stabilität der Frontzahnregion ausgewirkt. Die Unterkieferfront wurde signifikant um durchschnittlich 1,1 mm protrudiert und annähernd signifikant um $1,3^\circ$ nach labial verlagert. Unter Berücksichtigung der nach ventrokaudal wirkenden Kräfte des Scharniers im Bereich der distal der Front stehenden Eckzähne erscheint dies durchaus einleuchtend. Es fand sich ferner ein signifikanter stark positiver linearer Zusammenhang zwischen der Zunahme von 1°MeGo und SNB sowie SNPg (jeweils $r=0,90$). Dies ist jedoch nicht als kausal zu interpretieren, sondern auf gleichsinnige Effekte der Kraftvektoren auf die Entwicklung des knöchernen Unterkiefers und die Position der Unterkieferfront zurückzuführen. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Unterkieferfront während der abschließenden Multibandtherapie dazu neigen kann, im Sinne eines Rezidivs wieder zu retrudieren und nach lingual zu retroklinieren [35]. Die posttherapeutische Bildgebung unserer Studie erfolgte im Mittel 93 Tage nach Herausnahme der Apparatur, die dann schon begonnene Multibandtherapie wird also zu einer leichten Minderung der zuvor durch das HS bewirkten Bewegungen der Unterkieferfront geführt haben. Der sagittale Abstand der Inzisalpunkte der Oberkieferfront zur NPg-Linie nahm signifikant um gemittelte 2,1 mm ab. Dies ist zunächst auf die Ventralbewegung von Pogonion zurückzuführen, weiterhin wäre es möglich, dass die vor Einsetzen der Apparatur bei einem Teil der Patienten protrudierte Oberkieferfront dazu neigte,

die alte Position wiederzufinden. Die geringe Zunahme des Abstands der Unterkieferinzisalpunkte zur NPg-Linie ist ebenfalls durch die Ventralverlagerung von Pogonion zu erklären (Zunahme von SNPg um durchschnittlich $1,0^\circ$). Diese Tatsache maskierte also die wirkliche Protrusion der Unterkieferfront, da der Messwert $\Delta 1^{\text{NPg}}$ durch die Ventralentwicklung von Pogonion vermindert wurde. Entsprechend fanden sich auch keine Korrelationen zwischen der Protrusion der Unterkieferfront und den sagittalen Parametern. Die bei der Literaturrecherche eingesehenen Veröffentlichungen beschreiben durchweg eine Protrusion und eine Labialinklination der Unterkieferfront durch die Therapie: Martin und Pancherz zeigten in einer 2009 veröffentlichten Untersuchung zur Auswirkung der HS-Therapie auf die Unterkieferfront jugendlicher Probanden, dass das Ausmaß der Unterkieferfrontzahnbewegung (Protrusion, Intrusion und Proklination) mit der Größe der Bißverschiebung zunahm [35]. Pancherz konnte 1982 nach FRS-Vermessung von 22 mit dem HS therapierten Patienten nach einer Tragedauer von sechs Monaten eine durchschnittliche Mesialbewegung der Unterkieferfront von 1,8 mm aufzeigen [45]. Hansen et al. beschrieben sogar eine initial massive Proklination der Unterkieferfront von $10,8^\circ$ und eine Protrusion von 3,2 mm nach sechsmonatiger HS-Therapie, diese Veränderungen bildeten sich aber innerhalb der ersten sechs Monate nach Herausnahme des Scharniers wieder zurück (Retroklination um $7,9^\circ$ und Retrusion um 2,5 mm). Bei Wachstumsende zeigte die Unterkieferfront dieses Kollektivs keine weiteren Veränderungen des Winkels zum Mandibularplanum, in Bezug auf die vordere Schädelbasis kam es aber zu einer Retroklination, was nur durch eine wachstumsbedingte Rotation der Mandibel zu erklären war. Es kam somit nur zu einer geringen Protrusion und Proklination der Unterkieferfront [21]. Konik et al. beschrieben unter HS-Therapie eine Zunahme der Proklination der Unterkieferfront mit dem Alter der behandelten Jugendlichen im Sinne des oben erwähnten Verankerungsverlusts [30]. Die mitunter unerwünschte Protrusion der Unterkieferfront nach labial scheint sich effektiv kontrollieren zu lassen, wenn das Herbstscharnier mit einer Verankerung an einer lingual fixierten Apparatur verwendet wird, neue Untersuchungen von Wiechmann et al. ergaben diesbezüglich vielversprechende Ergebnisse [69]. Eine von Hammond et al. durchgeführte Studie bezüglich der skelettalen und dentalen Auswirkung

von Protrusionsschienen ergaben nur geringfügige Anteriorbewegungen der Unterkieferfront (im Mittel 0,5 mm) sowie eine minimale Verringerung von Overbite (im Mittel 0,3 mm) und Overjet (im Mittel 0,2 mm) bei einer durchschnittlichen Tragedauer von 25 Monaten [18]. Diese im Vergleich zur Herbstscharniertherapie geringeren Veränderungen sind vermutlich durch die Herausnehmbarkeit und statische Trageweise der Apparatur zu erklären.

Die Unterkieferlänge nahm am horizontalen Ast um 1,8 mm zu, die Länge des Ramus ascendens nahm sogar um 3,6 mm zu. Beide Längenzunahmen des Unterkiefers waren höchst signifikant. Vermutlich lag der nach ventrokaudal wirkende Kraftvektor der Apparatur diesem Effekt zugrunde. Während der Hauptwachstumsphase ist die Längenzunahme des Corpus mandibulae auf die Remodellation des Ramus mandibulae zurückzuführen (dorsale Apposition und ventrale Resorption), am Ende des pubertären Wachstums tritt in der Regel nur noch kondyläres Längenwachstum auf. Im eigenen Probandenkollektiv waren beide Wachstumsphasen vorhanden, die Korrelationen zwischen Ramuslänge und SNPg ($r=0,88$), SNB ($r=0,88$) sowie Unterkieferlänge ($r=0,84$) können somit einen kausalen Zusammenhang darstellen. Die geringe Längenzunahme des Oberkiefers um nur 0,5 mm ist als Wachstumshemmung zu interpretieren. Das physiologische Wachstum des Gesichtsschädels wurde ausführlich von Enlow und Hans untersucht [12], im Bereich der Maxilla kommt es durch das Herbstscharnier zu einer Wachstumshemmung des Oberkiefers: Die Verankerung des Scharniers am ersten Molaren im Oberkiefer führt zu einem nach dorsokranial wirkenden Kraftvektor. Dadurch wird zunächst die Wachstumszone im Bereich des Tuber maxillae gehemmt, sekundär wird dadurch die Translation des nasomaxillären Komplexes nach ventrokaudal eingeschränkt, somit ist auch die anteriore Entwicklung der Maxilla behindert. Das Herbstscharnier bewirkt also einen Headgear-Effekt ohne jedoch die Oberkieferfront zu beeinflussen. Ähnliche Untersuchungen zu Auswirkungen der HS-Therapie auf die knöchernen Dimensionsänderungen der Kiefer kamen zu folgenden Ergebnissen: Nach sechsmonatiger Tragedauer des HS konnte Pancherz eine Unterkieferlängenzunahme von 2,8 mm und eine Distalisierung der Oberkiefermolaren von 1 mm nachweisen [45]. Allerdings zeigten Pancherz und Littmann in einer anderen Studie, daß bei Jungen zum Ende des Wachstums (sieben Jahre posttherapeutisch) die durch die Therapie bewirkte

Bißlageverschiebung nach ventral ebenso wie die Längenzunahme der Mandibula im Vergleich zur nicht therapierten Kontrollgruppe im Sinne eines Rezidivs keine wesentlichen Unterschiede mehr zeigten [42]. Manfredi et al. untersuchten die Auswirkung der HS-Therapie auf den jugendlichen Unterkiefer und verglichen diese mit alters- und geschlechtsspezifischen europäischen Normwerten. Hierbei ergaben sich bei den 25 männlichen Probanden signifikante Längenzunahmen des aufsteigenden und des horizontalen Astes, wohingegen sich bei den 25 weiblichen Studienteilnehmern nur eine Verlängerung des Ramus ascendens ergab [34]. Bondemark fand bei erwachsenen Patienten, die wegen Atemwegobstruktion oder Schnarchens mit einer Protrusionsapparatur behandelt wurden, nach zwei Jahren (tägliche Tragedauer sechs bis acht Stunden, fünf bis sieben Nächte pro Woche) eine nur minimale Zunahme der Unterkieferlänge um 0,4mm bei nahezu unveränderten Okklusionsverhältnissen [6]. Dies verdeutlicht den Effekt des HS auf die metrischen Parameter als nicht herausnehmbares KFO-Gerät.

4.4 Diskussion der pharyngealen und hyoidalen Veränderungen

Das Hyoid vergrößerte seinen Abstand zum dritten Halswirbel signifikant um 1 mm nach ventral, der Abstand zu Sella und Nasion nahm signifikant um 3 mm zu, der Abstand zu Menton und zur Nasallinie nahm signifikant um 2 mm zu wohingegen der Abstand zum Unterkieferplanum unverändert blieb. Diese Werte sind als Verlagerung der Hyoidposition nach kaudal zu interpretieren, da sich die als lagekonstant anzusehende vordere Schädelbasis posttherapeutisch weiter entfernt vom Zungenbein befand. Ferner vergrößerte sich der Abstand zu den beiden horizontalen Referenzpunkten Menton (ventral) und C3 (distal) signifikant, unter Berücksichtigung der sagittalen Entwicklung des Unterkiefers nach anterior und der daraus resultierenden Ventralverlagerung des Mentons (die Abstandsvergrößerung liegt also an der Positionsänderung des Kinns) kam es also zu einer leichten Vorwärtsverlagerung des Hyoids. In Anbetracht der oben genannten Änderungen der vertikalen Parameter (nur minimale Retroinklination des Oberkiefers und minimale Abnahme der Unterkieferneigung) ist der durch die Behandlung signifikant vergrößerte Abstand des Hyoids zum Oberkieferplanum von 2 mm ebenfalls als Kaudalverlagerung des Zungenbeins zu werten, der unveränderte Abstand zum Unterkieferplanum ist hingegen vermutlich durch Knochenapposition im Bereich

des Kieferwinkels zu erklären, die mittelbar zu einer Absenkung der Mandibularline geführt hat. Zusammenfassend ergab sich also eine leichte Verlagerung des Hyoids nach kaudoventral. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Schütz et al. in einer Studie zur Auswirkung des Herbstschrniers auf das nächtliche Atemverhalten von retrognathen Jugendlichen, hierbei ergab sich eine Verlagerung des Zungenbeins nach ventral [61]. Diese Veränderung ist vermutlich auf den Zug des anterioren Bauchs des M. digastricus zurückzuführen, das Hyoid folgt mit seiner Positionsänderung also der Mandibula. Eveloff et al. beschrieben bei 19 mit einer Herbstapparatur behandelten erwachsenen OSAS-Patienten hingegen eine Abnahme der Distanz des Hyoids zum Unterkiefer, wobei 15 der Patienten eine Besserung des Apone-Hypopnoe-Index zeigten [13]. Die von Cuccia et al. angestellten Untersuchungen ergaben bei adipösen und nicht adipösen Patienten mit OSAS eine nach kaudal verlagerte Position des Zungenbeins [10]. Eine Studie von Abu et al. ergab bei Klasse-II-Patienten im Vergleich zu ortho- und prognathen Patienten einen reduzierten Abstand des Hyoids zum Mandibularplanum und zum dritten Halswirbel [1]. Lehner beschrieb eine Korrelation zwischen dem Schweregrad des OSAS und einer kaudoventralen Position des Hyoids [31]. Die Abstandszunahme des Hyoids zur vorderen Schädelbasis (Distanzen HS und HN) korrelierte im eigenen Patientenkollektiv signifikant positiv mit dem vergrößerten SNB-Winkel ($r=0,87$ bzw. $r= 0,88$), aufgrund der vielen einfließenden Faktoren wie (Wachstum, muskulärer Zug und therapiebedingte knöchernen Veränderungen des gesamten Viszerokraniums) ist es nicht möglich, hieraus einen kausalen Zusammenhang herzustellen. Die Studienlage macht es schwierig, eine eindeutige Aussage zur Positionsänderung des Zungenbeins durch die HS-Therapie zu treffen. Bei Jugendlichen scheint die Therapie eine Ventralverlagerung des Hyoids zu bewirken wohingegen bei erwachsenen OSAS-Patienten unter Einwirkung des Faktors Adipositas keine eindeutigen Aussagen getroffen werden können.

Im eigenen Patientenkollektiv nahm die sagittale Ausdehnung auf Höhe der Nasallinie höchst signifikant um 3mm zu. Auf Höhe der engsten Stelle des Oropharynx, auf Höhe der Mandibularlinie und auf Höhe des Okklusionsplanums kam es lediglich zu einer Zunahme von 1 mm, wobei die Veränderungen auf Höhe des Okklusionsplanums hoch signifikant waren. Die

Summe der Flächen A1 und A2 nahm mit 70 mm² um 19,4% zu. Beide Flächenänderungen waren höchst signifikant. PAS 2 (10%) und PAS 3 (11,1%) nahmen weniger zu als PAS 1 (17,6%). Erklärbar ist dieser Effekt zunächst durch die Ventralverlagerung des dem Unterkiefer folgenden Zungengrunds als anteriore Grenze des pharyngealen Raums und durch die Verlagerung des Arcus palatoglossus nach ventral. Ähnliche Untersuchungen von Johal und Battagel ergaben ebenfalls eine Vergrößerung der oberen Luftwege bei OSAS-Therapie mit einer MAS-Apparatur (mandibular advancement splint) [29]. Gale et al. zeigten an 32 OSAS-Patienten unter Protrusionschienentherapie eine Zunahme des Rachenquerschnitts an der engsten Stelle um durchschnittlich 28,4 mm² [15]. Grundlage für die FRS-Analyse des Rachenraums waren Untersuchungen von Hochban [25]. Danach korrelieren die aus der zweidimensionalen Kephalemtrie gewonnenen Werte sehr gut mit dreidimensionalen Werten aus MRT- oder CT-Untersuchungen. Ferner zeigten diese Untersuchungen, dass kephalometrisch fassbare Normabweichungen des Viszerokraniums nach der Adipositas die häufigste Ursache für Schlafapnoe darstellen. Hochban konnte an 114 Patienten mit schlafbezogener Atemstörung (SBAS) und gleichzeitig vorhandener Retrognathie oder einem dolichofazialen Gesichtstyp (PAS=10mm) zeigen, dass eine operative Vorverlagerung von Ober- oder Unterkiefer um etwa 10mm eine Verbesserung der schlafbezogenen Atemstörung bewirkte, die den Effekten der CPAP vergleichbar war. Hochban erklärte die Neigung zur Atemwegsobstruktion bei Retrognathie mit dem vereinfachten Kollabieren der Rachenweichteile durch die unterkieferbedingte verringerte sagittale Dimension des Pharynx [22]. Wickwire et al. zeigten bei Patienten mit operativ erfolgter Unterkiefervorverlagerung eine Erweiterung des Rachenraums, die laut den Autoren durch eine Straffung der Mundboden- und Zungenmuskulatur zustande kam [68]. Die Auswertung der FRS-Aufnahmen des eigenen Kollektivs lässt mangels schlafmedizinischer Untersuchungen keine Folgerungen zu, ob sich eine eventuell vorhandene Obstruktion der oberen Luftwege durch die Herbstscharniertherapie verbessert hat. Der Zusammenhang zwischen Retrognathie und OSAS gilt aber als wissenschaftlich bewiesen. Fleury et al. konnten bei 64% der OSAS-Patienten unter Therapie mit herausnehmbaren Herbstapparaturen eine Normalisierung des AH-Index und der ESS (Epworth

Sleepiness Scale) herbeiführen [14]. Eveloff beschrieb bei HS-Therapie von OSAS-Patienten zumindest eine deutliche Reduktion des AH-Index [13]. Das Herbstscharnier kann somit als sinnvolle Therapiealternative zur Operation angesehen werden, da die Herbstscharniertherapie bei Patienten mit skelettaler Klasse II einen der Umstellungsosteotomie vergleichbaren Effekt hat [3, 54]. Hochban sieht die Indikation für eine mono- oder bignathe Umstellungsosteotomie bei OSAS-Patienten für gegeben, wenn der SNB-Winkel kleiner als 77° ist oder die Unterkieferneigung 34° überschreitet [26], da die steile Unterkieferbasis bei einer konservativen Protrusionstherapie durch die daraus resultierende posteriore Rotation der Mandibula dann den günstigen Effekt auf den sagittalen Pharynxdurchmesser verhindern würde. Bei der eigenen Stichprobe lag eine normwertige Unterkieferneigung vor, die Ventralentwicklung der Mandibula durch die HS-Therapie konnte sich in diesem Sinne auch nicht negativ auf die sagittale pharyngale Ausdehnung auswirken.

Untersuchungen von de Freitas et al. beschrieben einen Zusammenhang zwischen verengten oberen Luftwegen und dem vertikalen Wachstumsmuster, es konnte aber kein kausaler Zusammenhang zwischen Malokklusion und der Breite des Pharynx hergestellt werden [11]. Lowe et al. fanden bei OSAS-Patienten einen Zusammenhang zwischen dem Grad der Antekliniation der Unterkieferfront und der Größe der oberen Luftwege im Computertomogramm [33]. Martin et al. zeigten bei Probanden mit Normalokklusion eine Korrelation zwischen der Länge der Schädelbasis und dem pharyngealen Durchmesser auf Höhe der Nasallinie, der pharyngeale Durchmesser auf Höhe des Unterkieferplanums (sog. McNamara's lower pharynx dimension) zeigte hier keinen statistischen Zusammenhang zu den anderen bestimmten Parametern von Skelett und Weichgewebe [37]. Die statistische Auswertung der eigenen Ergebnisse ergab keine stark positiv linearen Zusammenhänge zwischen den pharyngealen Parametern und den skelettalen bzw. dentalen Parametern. Zusammenfassend kam es durch die HS-Therapie zu einer signifikanten Vergrößerung der pharyngealen Fläche im FRS, die vorhandene Literatur beschreibt zumeist einen positiven Einfluß der Unterkieferprotrusion auf die Obstruktion der oberen Atemwege. Sowohl die statistische Auswertung der eigenen Ergebnisse als auch die vorhandenen Studien liefern keine eindeutigen

statistischen Zusammenhänge zwischen skelettalen und pharyngealen Parametern.

5. Schlussfolgerung

- Die Behandlung mit dem Herbstscharnier bewirkte eine signifikante Verlagerung des Unterkiefers nach ventral. Die Apparatur ist somit für die Behandlung jugendlicher Patienten mit Retrognathie geeignet.
- Die vertikalen Parameter blieben von der Therapie nahezu unbeeinflusst.
- Die Therapie mit dem Herbstscharnier wirkte sich ungünstig auf die Stabilisierung von Unterkieferfront und Interinzisalwinkel aus, die Inklination der Oberkieferfront war prä- und posttherapeutisch stabil. Ferner fand sich ein signifikanter stark positiver linearer Zusammenhang zwischen der Proklination der Unterkieferfront und dem SNB- sowie dem SNPg-Winkel.
- Die Länge des aufsteigenden und des horizontalen Unterkieferastes nahm unter der Therapie signifikant zu. Die Oberkieferlänge blieb konstant, dies ist als Wachstumshemmung der Maxilla zu interpretieren. Die Länge des aufsteigenden Astes korrelierte signifikant positiv mit der Zunahme von SNPg, SNB und horizontaler Länge. Unter Berücksichtigung der bekannten Knochenumbauvorgänge des Ramus ascendens im pubertären Wachstum wird dies als kausaler Zusammenhang gewertet, die Herbstscharniertherapie scheint also die wachstumsbedingten Dimensionsänderungen der Mandibula zu verstärken.
- Das Os hyoideum wurde durch die Behandlung signifikant nach kaudoventral verlagert, die Abstandsvergrößerung des Zungenbeins zur vorderen Schädelbasis korrelierte signifikant positiv mit der Zunahme des SNB-Winkels.
- Die im FRS messbare Rachenfläche vergrößerte sich unter der HS-Therapie höchst signifikant. Die größte signifikante Zunahme des Rachendurchmessers ergab sich auf Höhe des Oberkieferplanums. Es fanden sich keine Korrelationen zwischen pharyngealen und

dentoskelettalen Parametern. Das Herbstscharnier stellt somit eine mögliche Therapieoption für OSAS-Patienten dar, wenn eine Retrognathie ursächlich für die Obstruktion der oberen Atemwege ist.

- Es ist nicht möglich, eine Aussage zu treffen, wie stark sich das Wachstum auf die gemessenen Veränderungen ausgewirkt hat. Weiterhin lässt sich nicht vorhersagen, ob die induzierten dentoskelettalen und pharyngealen Veränderungen langfristig stabil sein werden.
- Die Untersuchung bezieht sich auf im FRS messbare Veränderungen. Eine klinische Untersuchung anderer möglicher Ursachen (Tonsillenhyperplasie, Adipositas etc.) oder eine schlafmedizinische Untersuchung zum Einfluß der HS-Therapie auf Obstruktionen der oberen Atemwege hätte den finanziellen und den zeitlichen Rahmen der Studie übertroffen.

6. Zusammenfassung

Ziel der longitudinal angelegten Untersuchung war die Auswirkung der Therapie mit der Herbstapparatur auf die Dimensionen des Rachenraums, die Hyoidposition und das Viszerokranium. Hierzu erfolgte bei insgesamt 35 (18 männlich, 17 weiblich) jugendlichen Patienten eine kephalometrische Auswertung von standardisiert aufgenommenen Fernröntgenseitenbildern. Die Bildgebung erfolgte vor Therapiebeginn und nach Abschluß der Behandlung. Das Durchschnittsalter der Probanden bei Therapiebeginn (T1) betrug 13,2 (\pm 1,7) Jahre. Die Tragedauer der Herbstapparatur lag bei durchschnittlich 226 Tagen. Die Auswertung der digitalen Bilddaten erfolgte computergestützt.

Hierbei ergaben sich folgende Veränderungen: Der SNPg-Winkel und der SNB-Winkel nahmen signifikant zu. Die vertikalen FRS-Parameter blieben von der Behandlung unbeeinflusst. Ferner kam es unter der Therapie zu einer signifikanten Längenzunahme des horizontalen und des vertikalen Unterkieferastes wohingegen die Oberkieferlänge unverändert blieb. Die Proklination und die Protrusion der Unterkieferfront nahmen signifikant zu. Das Hyoid wurde signifikant nach ventrokaudal verlagert, der Rachendurchmesser nahm im dorsoventraler Richtung zu. Ebenso wurde die im FRS messbare pharyngeale Fläche signifikant vergrößert. Es fanden sich signifikante positive Korrelationen zwischen der Proklination der Unterkieferfront und dem SNPg-Winkel sowie dem SNB-Winkel. Die Ramuslänge zeigte einen stark positiven linearen Zusammenhang zur Längenzunahme des horizontalen Astes sowie zur Zunahme des SNB-Winkels und des SNPg-Winkels.

Die Behandlung mit dem Herbstscharnier ermöglicht somit bei jugendlichen Patienten eine Verlagerung der Mandibula nach ventral und eine Wachstumsförderung beider Unterkieferäste. Die Therapie wirkt sich ungünstig auf die Stabilität der Unterkieferfront aus. Das Oberkieferwachstum wird vermutlich durch die Behandlung gehemmt. Damit ist die Apparatur für die Therapie von Patienten mit distaler Bißlage und Bißstellung geeignet. Die Apparatur scheint ferner eine Vergrößerung des pharyngealen Durchmessers und der im FRS messbaren pharyngealen Fläche zu bedingen und stellt somit

eine Therapieoption des OSAS dar, wenn eine Retrognathie hierfür ursächlich ist. Diesbezüglich sind weitere klinische Untersuchungen notwendig. Zur Beurteilung der langfristigen Stabilität der Behandlungsergebnisse wären ebenfalls weitere Kontrolluntersuchungen notwendig. Es ist nicht möglich, eine Aussage zu treffen, in welchem Ausmaß das Wachstum allein für die gemessenen Veränderungen ursächlich war.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Abu Allhaija ES, Al-Khateeb SN: Uvulo-glosso-pharyngeal dimensions in different anteriorposterior skeletal patterns. *Angle Orthod* 2005; 75: 1012-1018
- [2] Aelbers CM; Dermaut ER: Orthopedics in orthodontics: Part I, Fiction or reality - a review of the literature. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;110(5):513-519
- [3] Berger JL, Valmy Pangrazio-Kulbersh V, George C, Kaczynskid R: Long-term comparison of treatment outcome and stability of Class II patients treated with functional appliances versus bilateral sagittal split ramus osteotomy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005 Apr;127(4):451-464
- [4] Bock N, Pancherz H: Herbst treatment of Class II division 1 malocclusion in retrognathic and prognathic facial types. *Angle Orthod* 2006 Nov; 76(6): 930-941
- [5] Bondemark L, Lindmann R: Craniomandibular status and function in patients with habitual snoring and obstructive sleep apnoea after nocturnal treatment with a mandibular advancement splint: a 2-year follow-up. *Eur J Orthod* 2000 Feb;22(1):53-60
- [6] Bondemark L: Does 2 years' nocturnal treatment with a mandibular advancement splint in adult patients with snoring and OSAS cause a change in the posture of the mandible? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999 Dec;116(6):621-628
- [7] Bremen J, Pancherz H, Ruf S: Reduced mandibular cast splints an alternative in Herbst therapy? A prospective multicentre study. *Eur J Orthod* 2007 Dec;29(6):609-613
- [8] Bremen J, Pancherz H: Efficiency of early and late Class II Division 1 treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002 Jan;121(1):31-37

- [9] Chaiyongsirisern A, Rabie AB, Wong RW: Stepwise advancement Herbst appliance versus mandibular sagittal split osteotomy. Treatment effects and long-term stability of adult Class II patients. *Angle Orthod* 2009 Nov;79(6):1084-1094
- [10] Cuccia AM, Campisi G, Cannavale R, Colella G: Obesity and craniofacial variables in subjects with obstructive sleep apnea syndrome: comparisons of cephalometric values. *Head Face Med*. 2007 Dec 22;3:41
- [11] De Freitas MR, Alcazar NM, Janson G, de Freitas KM, Henriques JF: Upper and lower pharyngeal airways in subjects with Class I and Class II malocclusions and different growth patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006 Dec;130(6):742-745
- [12] Enlow DH, Hans MG: *Essentials of facial growth*. Saunders 1996
- [13] Eveloff SE, Rosenberg CL, Carlisle CC, Millman RP: Efficacy of a Herbst mandibular advancement device in obstructive sleep apnea: *Am J Respir Crit Care Med* 1994 Apr;149(4 Pt 1):905-909
- [14] Fleury B, Rakotonanahary D, Petelle B, Vincent G, Pelletier Fleury N, Meyer B, Lebeau B: Mandibular advancement titration for obstructive sleep apnea: optimization of the procedure by combining clinical and oximetric parameters. *Chest* 2004 May;125(5):1761-1767
- [15] Gale DJ, Sawyer RH, Woodcock A, Stone P, Thompson R, O'Brien K: Do oral appliances enlarge the airway in patients with obstructive sleep apnoea? A prospective computerized tomographic study. *Eur J Orthod* 2000 Apr;22(2):159-168
- [16] Großmann AC: *Kephalometrische Untersuchung nach der Hasund/Segner Analyse bei Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe*. Med. Diss, Freiburg 2002
- [17] Haass C: *Adaption jugendlicher Kiefergelenke bei der Behandlung mit dem Herbstscharnier*. Med. Diss, Berlin 2000

- [18] Hammond RJ, Gotsopoulos H, Shen G, Petocz P, Cistulli PA, Darendeliler MA: A follow-up study of dental and skeletal changes associated with mandibular advancement splint use in obstructive sleep apnea. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007 Dec;132(6):806-814
- [19] Handelmann CS, Osborne G: Growth of the nasopharynx and adenoid development from one to eighteen years. *Angle Orthod* 1976;46: 243-259
- [20] Hansen K, Lemmnuessik P, Pancherz H: Long-term-effects on the Herbst appliance on the dental arches and arch relationships: a biometric study. *Br J Orthod* 1995 May;22(2):123-134
- [21] Hansen K, Koutsonas TG, Pancherz H: Long-term effects of Herbst treatment on the mandibular incisor segment: a cephalometric and biometric investigation. *Am J Dentofacial Orthop* 1997 Jul;112(1):92-103
- [22] Hochban W, Brandenburg U, Schürmann R:
Zur Gesichtsskelettmorphologie beim obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom und ihrem Einfluss auf die Atemwegsobstruktion. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994
- [23] Hochban W, Ehlenz K, Conradt R, Brandenburg U: Obstructive sleep apnoea in acromegaly: the role of craniofacial changes. *Eur Respir J*. 1999 Jul;14(1):196-202
- [24] Hochban W, Hoch B: Obstructive sleep apnea in the child: an interdisciplinary treatment concept with special reference to craniofacial changes. *Pneumologie* 1998 Mar;52(3):147-153
- [25] Hochban W: Kiefer-Gesichtschirurgische Therapie schlafbezogener Atmungsstörungen. *Somno Journal* 2007
- [26] Hochban W: Zahnärztliche Diagnostik und Therapie. *Zahnärztl Mitt* 2011; 101 (21A): 3000-3009
- [27] Hörmann K, Verse T: The surgical treatment of sleep-related upper airway obstruction. *Dtsch Aerztebl Int* 2011 Apr;108(13):216-221
- [28] Houston WJ: The analysis of errors in orthodontic measurements. *Am J Orthod* 1983 May;83(5):382-390

- [29] Johal A, Battagel JM: An investigation into the changes in airway dimension and the efficacy of mandibular advancement appliances in subjects with obstructive sleep apnoea. *Br J Orthod* 1999 Sep;26(3):205-210
- [30] Konik M, Pancherz H, Hansen K: The mechanism of Class II correction in late Herbst treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997 Jul;112(1):87-91
- [31] Lehner M: Untersuchungen zur diagnostischen und prognostischen Wertigkeit der Analyse im Fernröntgenseitenbild des Schädels bei Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe. *Med Diss Freiburg* 2001
- [32] Lim J, Lasserson TJ, Fleetham J, Wright J: Oral appliances for obstructive sleep apnoea. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2006 Jan 25;(1):CD004435
- [33] Lowe AA, Fleetham JA, Satoshi A, Ryan CF: Cephalometric and computed tomographic predictors of obstructive sleep apnea severity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995 Jun;107(6):589-595
- [34] Manfredi C, Cimino R, Trani A, Pancherz H: Skeletal changes of Herbst appliance therapy investigated with more conventional cephalometrics and European norms. *Angle Orthod* 2001 Jun;71(3):170-176
- [35] Martin J, Pancherz H: Mandibular incisor position changes in relation to amount of bite jumping during Herbst/multibracket appliance treatment: a radiographic-cephalometric treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009 Jul;136(1):44-51
- [36] Marin JM, Carizzo SJ, Vicente E, Agustí AGN: Long-term cardiovascular outcomes in men with obstructive sleep apnoea-hypopnoea with or without treatment with continuous positive airway pressure. An observational study. *Lancet* 2005 Mar 19-25;365(9464):1046-53
- [37] Martin O, Muelas L, Vinas MJ: Nasopharyngeal cephalometric study of ideal occlusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006 Oct;130(4):436.e1-9

- [38] Panagiotidis G, Witt E: Der individualisierte ANB-Winkel. Fortschr. Kieferorthop 1977;38:408-416
- [39] Pancherz H, Anehus Pancherz M: The headgaer effect of the Herbst appliance: a cephalometric long-term study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1993 Jun;103(6):510-520
- [40] Pancherz H, Fackel U: The skeletofacial growth pattern pre- and postdentofacial orthopaedics. A long-term study of Class II malocclusions treated with the Herbst appliance. Eur J Orthod 1990 May;12(2):209-218
- [41] Pancherz H, Hägg U: Dentofacial orthopedics in relation to somatic maturation. An analysis of 70 consecutive cases treated with the Herbst appliance. Am J Orthod 1985 Oct;88(4):273-87
- [42] Pancherz H, Littmann C: Morphology and position of mandible in Herbst treatment. Cephalometric analysis of changes to end of growth period. Inf Orthod Kieferorthop 1989; 21(4):493-513
- [43] Pancherz H: The effects, limitations, and long-term dentofacial adaptations to treatment with the herbst appliance. Semin Orthod 1997 Dec;3(4):232-243
- [44] Pancherz H: The Herbst appliance – its biologic effects and clinical use. Am J Orthod 1985 Jan;87(1):1-20
- [45] Pancherz H: The mechanism of Class II correction in Herbst appliance Treatment. A cephalometric investigation. Am J Orthod. 1982 Aug;82(2):104-113
- [46] Pancherz H: The nature of Class II relapse after Herbst appliance treatment: a cephalometric long-term investigation. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1991 Sep;100(3):220-233
- [47] Pancherz H: Treatment of Class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst appliance. A cephalometric investigation. Am J Orthod 1979 Oct;76(4):423-442

- [48] Pancherz H: Vertical dentofacial changes during Herbst appliance treatment. A cephalometric investigation. *Swed Dent Suppl* 1982;15:189-196
- [49] Paulsen HU, Karle A, Bakke M, Herskind A: CT-Scanning and radiographic analysis in a case of Herbst treatment in late puberty. *Eur J Orthod* 1995 Jun;17(3):165-175
- [50] Richter F, Richter U: 100 Jahre Herbstscharnier – Wiederentdeckung einer genialen Idee. *BZB* 2003
- [51] Riley RW, Powell NB, Guilleminault C.: Obstructive sleep apnea syndrome: a review of 306 consecutively treated surgical patients. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1993;108:117-125
- [52] Ruf S, Hansen K, Pancherz H: Does orthodontic proclination of lower incisors in children and adolescents cause gingival recession? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998 Jul;114(1):100-106
- [53] Ruf S, Pancherz H: Dentoskeletal effects and facial profile changes in young adults treated with the Herbst appliance. *Angle Orthod* 1999 Jun;69(3):239-246
- [54] Ruf S, Pancherz H: Herbst/multibracket appliance treatment of Class II division 1 malocclusions in early and late adulthood. A prospective cephalometric study of consecutively treated subjects. *Eur J Orthod* 2006 Aug;28(4):352-360
- [55] Ruf S, Pancherz H: Orthognathic surgery and dentofacial orthopedics in adult Class II Division 1 treatment: mandibular sagittal split osteotomy versus Herbst appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004 Aug;126(2):140-152
- [56] Ruf S, Pancherz H: The effect of the Herbst appliance on the mandibular plane angle. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996 Aug;110(2):225-229

- [57] Sanner B, Machnick MA, Burrmann-Urbaneck M: Herz-Kreislaufkrankungen und schlafbezogene Atmungsstörungen. Schlafmedizin Kompendium für Zahnmediziner. Zahnärztlicher Fachverlag, Herne 2005
- [58] Schiebler TH; Schmidt W; Zilles K: Anatomie, Springer-Verlag, Berlin 1997
- [59] Schönhofer B, Hochban W, Vieregge HJ, Brüning H, Köhler D: Immediate intraoral adaptation of mandibular advancing appliances of thermoplastic material for the treatment of obstructive sleep apnea. Respiration 2000;67(1):83-88
- [60] Schopf P: Curriculum der Kieferorthopädie, Bd. I u. II Quintessenzverlag, Berlin 2008
- [61] Schütz TC, Dominquez GC, Hallinan MP, Gunha TC, Tufik S: Class II correction improves nocturnal breathing on adolescents. Angle Orthod 2011 Mar;81(2):222-228
- [62] Segner D; Hasund A: Individualisierte Kephalemetrie. Hamburg, 1998
- [63] Siara-Olds NJ, Pangrazio-Kulbersh V, Berger J, Bayirli B: Long-term dentoskeletal changes with the Bionator, Herbst, Twin Block, and MARA functional appliances. Angle Orthod 2010 Jan;80(1):18-29
- [64] Spiessl B: Osteosynthesis in sagittal osteotomy using the Obwegeser-Dal Pont method. Fortschr Kiefer Gesichtschir. 1974;18:145-148
- [65] Stellzig A, Basdra EK, Kube C, Komposch G: Extraction Therapy in Patients with Class II/2 Malocclusion. J Orofac Orthop 1999;60(1):39-52
- [66] Tanner JM: Wachstum und Reifung des Menschen: Thieme-Verlag, Stuttgart 1962
- [67] Weschler D; Pancherz H: Efficiency of Three Mandibular Anchorage Forms in Herbst Treatment: A cephalometric Investigation. Angle Orthod 2005 Jan;75(1):23-27

- [68] Wickwire NA, White RP Jr, Proffit WR: The effect of mandibular osteotomy on tongue position. *J Oral Surg* 1972 Mar;30 (3):184-190
- [69] Wiechmann C, Schwestka-Polly R, Pancherz H, Hohoff A: Control of mandibular incisors with the combined Herbst and a completely customized lingual appliance –a pilot study. *Head Face Med* 2010 Mar 11;6:3
- [70] Woodside DG, Metaxas A, Altuna G: The influence of functional appliance therapy on glenoid fossa remodeling. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987 Sep;92(3):181-198.
- [71] Young T, Peppard PE, Gottlieb DJ. Epidemiology of obstructive sleep apnea: a population health perspective. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 165:1217-1239

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Herbtscharnier von okklusal	17
Abb. 2	Herbtscharnier von lateral (klinisch)	18
Abb. 3	Sagittale Parameter im FRS	29
Abb. 4	Vertikale Parameter im FRS	30
Abb. 5	Dentale Parameter im FRS	31
Abb. 6	Metrische Parameter im FRS	32
Abb. 7	Hyoidposition und pharyngeale Parameter im FRS	34
Abb. 8	Altersverteilung bei Therapiebeginn in Jahren	37
Abb. 9	Altersverteilung bei T1/T2	38

9. Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Methodenfehler nach Dahlberg	39
Tab. 2	Sagittale Parameter im FRS	42
Tab. 3	Vertikale Parameter im FRS	43
Tab. 4	Dentale Parameter im FRS	44
Tab. 5	Metrische Parameter im FRS	45
Tab. 6	Hyoidposition im FRS	46
Tab. 7	Pharyngeale Parameter im FRS	47
Tab. 8	Signifikante stark positive Zusammenhänge zwischen den Messwerten	48

Danksagung

Mein Dank gilt zunächst Frau Prof. Dr. med. dent. Angelika Stellzig-Eisenhauer für die Vergabe des Dissertationsthemas und die Unterstützung bei der wissenschaftlichen Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. dent. Philipp Meyer-Marcotty und Frau Dr. med. dent. Janka Kochel für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der gewonnenen Daten und bei der Literaturrecherche.

Ganz herzlich danke ich Herrn Dipl.-Wirt.-Inform. Kai Wilckens für die Erstellung der Software zur Auswertung der pharyngealen Parameter.

Ich danke Frau Dr. med. dent. Susanne Gürz für die tolle Zusammenarbeit bei der Datenerhebung.

Ebenso danke ich Herrn PD Dr. med. Dr. med. dent. Josip Bill für die Übernahme des Korreferats.

Weiterhin danke ich Frau Dr. Uta Richter, Herrn Dr. Franz Richter und ihrem Praxispersonal für die gute Zusammenarbeit und die Bereitstellung der Probandenstichprobe sowie einer Abbildung des Herbstscharniers.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern und Geschwistern für die langjährige Unterstützung beim Absolvieren eines Doppelstudiums.

CURRICULUM VITAE

Persönliche Daten:

Name:	Dr. Boris Herzlieb
Geburtsdatum:	28. November 1977
Geburtsort:	Göttingen, Deutschland
Nationalität:	deutsch
E-Post:	boris.herzlieb@googlemail.com

Ausbildungsgang:

Schule

1996	Abitur
1993/94	Siebenmonatiger Aufenthalt in Seattle, USA
ab 1992	Gymnasium Anna Sophianeum, Schöningen
ab 1988	Herzog-Christoph-Gymnasium, Beilstein/Württ.

Wehrdienst

2006	Sechswöchiger Bundeswehrauslandeinsatz im Kosovo als Truppenarzt (13. Kontingent KFOR)
Juli 1996 bis Juni 1998	Zeitsoldat im 8./ Sanitätsregiment 6, Itzehoe, Ausbildung zum Reserveoffizier, gegenwärtiger Dienstgrad Oberstabsarzt d.R.

Universität und Beruf

Dezember 2012	Ernennung zum Oberarzt
seit Januar 2009	Arzt in Weiterbildung (Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie am Klinikum Braunschweig, Chefarzt Prof. Dr. D. Hellner)
Dezember 2008	Erlangung der Approbation als Zahnarzt
Oktober 2008	Staatsexamen Zahnmedizin
Dezember 2005	Promotion im Fach Orthopädie am König-Ludwig-Haus der Universität Würzburg mit dem Thema „Zusammenhänge zwischen subjektiver Wahrnehmung und kinetischen sowie kinematischen Parametern beim Gangzyklus“

Juni 2005 bis Dezember 2008	Teilzeitbeschäftigung als Assistenzarzt (Rotkreuzklinik Würzburg) sowie selbstständige Tätigkeit als Vertragsarzt der Bundeswehr
April 2005 bis Oktober 2008	Zweitstudium der Zahnmedizin (Julius-Maximilians-Universität Würzburg)
Dezember 2004	Erlangung der Approbation als Arzt
Oktober 2004	3.Staatsexamen, Wahlfach Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
September 2003	2.Staatsexamen
September 2001	1.Staatsexamen
September 2000	Physikum
Oktober 1998 bis September 2004	Studium der Humanmedizin (Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn)