

# Effects of fixed appliances in correcting Angle Class II on the depth of the posterior airway space

FMA vs. Herbst appliance—a retrospective cephalometric study

# Effekte festsitzender Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse II auf die Tiefe des extrathorakalen Luftraums

FMA vs. Herbst-Geschiebe – eine retrospektive kephalometrische Studie

Gero Kinzinger<sup>1,2</sup>, Kathrin Czapka<sup>3</sup>, Björn Ludwig<sup>1,4</sup>, Bettina Glasl<sup>4</sup>, Ulrich Gross<sup>5</sup>, Jörg Lisson<sup>1</sup>

## Abstract

**Objective.** The objective of this retrospective study based on the metric evaluation of lateral cephalograms was to investigate the extent to which treatment with two different fixed appliances for the correction of Angle Class II influenced the morphology of the extrathoracic airway space (the posterior airway space, PAS).

**Patients and methods.** A total of 43 patients with Angle Class II malocclusion were classified into two groups according to the appliance used for treatment: the functional mandibular advancer (FMA; n = 18) or the Herbst appliance (n = 25). Lateral cephalograms were taken of each patient at the start of functional jaw orthopedic treatment (time point T1) and at its completion (time point T2). Specific distances and angles were measured and analyzed in a cephalometric analysis.

**Results.** We observed major differences among the 43 patients in the depth of the posterior airway space during treatment with fixed appliances for Angle Class II correction. Regression analysis revealed that changes in sagittal and vertical positions had different effects on the depth of specific PAS sections: increases in anterior facial height are associated proportionately with increases in PAS width, particularly in the upper region. On the other hand, increases in posterior facial height and in the mandible's forward displacement correlated inversely to the decreases in depth, particularly in the central and lower PAS regions. The two treatment appliances (FMA, Herbst appliance) had the same effects on extrathoracic airway depth.

## Zusammenfassung

**Ziel.** Ziel der vorliegenden Studie war es, retrospektiv durch metrische Auswertung von Fernröntgenseitenbildern (FRS) zu eruieren, inwieweit Behandlungen mit 2 unterschiedlichen festsitzenden Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse II Einfluss auf die Morphologie des extrathorakalen Luftwegs nehmen.

**Patienten und Methodik.** Dem Behandlungsgerät entsprechend konnten 43 Patienten mit einer Angle-Klasse-II-Anomalie in 2 Gruppen [Functional Mandibular Advancer (FMA), n = 18; Herbst-Geschiebe, n = 25] unterteilt werden. Von jedem Patient wurden FRS zu Beginn (Zeitpunkt T1) und nach Abschluss der funktionskieferorthopädischen Behandlung (Zeitpunkt T2) angefertigt. Anhand einer eigenständig definierten kephalometrischen Analyse erfolgte die Auswertung bestimmter Strecken- und Winkelmessungen.

**Ergebnisse.** Unter der Behandlung mit festsitzenden Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse II waren bei den 43 Patienten große interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der morphologischen Veränderungen des extrathorakalen Luftraums in der Tiefenausdehnung zu verzeichnen. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigen, dass Veränderungen der sagittalen und vertikalen Relationen unterschiedliche Effekte auf bestimmte Strecken des „posterior airway space“ (PAS) in der Tiefenausdehnung haben: Bei Zunahme der vorderen Gesichtshöhe besteht ein proportionaler Zusammenhang zu Tiefenzunahmen des PAS insbesondere im oberen Bereich. Bei Zunahme der hinteren Gesichtshöhe sowie bei der Unterkieferverlagerung besteht hingegen ein antiproportionaler Zusammenhang: Hier kommt es zu Tiefenabnahmen insbesondere in mittleren und unteren PAS-Bereichen. Hinsichtlich der Effekte auf die Tiefe des extrathorakalen Luftraums unterscheiden sich die beiden Behandlungsapparaturen (FMA, Herbst-Geschiebe) nicht.

<sup>1</sup> Department of Orthodontics, University of Saarland, Homburg/Saar, Germany

<sup>2</sup> Private Practice, Toenisvorst, Germany

<sup>3</sup> Private Practice, Eschweiler, Germany

<sup>4</sup> Private Practice, Traben-Trarbach, Germany

<sup>5</sup> Private Practice, Wuppertal, Germany

Received: March 1, 2011; accepted: June 22, 2011;

Published online: September 2, 2011

J Orofac Orthop 2011; 72:301-320

DOI 10.1007/s00056-011-0035-2

**Conclusions.** Analyses of lateral cephalograms indicate that Angle Class II treatment with fixed appliances does not prevent sleep apnea in patients at risk. Nevertheless, this study does not permit absolutely reliable conclusions about the dimensions of the pharyngeal airway space. As the lateral cephalogram provides good images of structures in the midsagittal plane but is incapable of imaging the transverse dimension, there is an automatic lack of information concerning the precise width and volume of the extrathoracic airway space.

### Keywords

Distal bite · Angle Class II · Functional mandibular advancer (FMA) · Herbst appliance · Extrathoracic airway space · Lateral cephalogram

### Introduction

We used to think that the main cause of organic constriction of the upper respiratory airways was tonsillar hyperplasia. We now know that its main causes are dental malalignment and jaw malposition (particularly Class II malocclusions, hyperdivergent vertical growth patterns, adenoid facies, transverse constriction of the upper dental arch and dorso-caudal displacement of the tongue musculature). If a patient suffers from sleep-related disorders, symptomatic dental therapy follows the Esmarch maneuver involving the intraoral application of splint-like appliances, which lead to forward repositioning of the mandible, attached tongue and suprahyoid muscles, in conjunction with expansion of the upper respiratory tract. These intraoral appliances are used to prevent the respiratory tract from collapsing by mechanically manipulating the soft tissues of the lower jaw [22, 24]. The appliances allowing expansion of the upper respiratory tract rely on the principle of inclined planes or special elements, which make it possible to advance the mandible into the therapeutically-desired position. They are based on the concept of functional jaw orthopedics for the causal treatment of Angle Class II malocclusions. Classic functional jaw orthopedics for correcting a distal intermaxillary jaw relationship with removable appliances is applied in mixed or early adult dentition during the pubertal growth spurt. Therapy with fixed appliances is usually carried out after growth has maximized, when minimal residual growth is likely. The aim is to achieve a neutral bite by combining skeletal and dental effects.

To what extent does treatment to correct Angle Class II malocclusions with fixed appliances influence the morphology of the posterior airway space (PAS), and might this treatment prevent obstructive sleep disorders mainly due to discrepancies in the jaw position? This issue has only been addressed in case reports so far. There are reports of great individual variability in changes in the PAS in the defined planes apparently not directly correlated with the extent of the therapeutic sagittal effects—improvement in the overjet and molar positions [18]. Short-

**Schlussfolgerungen.** Anhand von FRS-Analysen kann eine Behandlung mit festsitzenden Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse II bei potenziellen Schlafapnoepatienten nicht als präventiv gewertet werden. Die Aussagekraft der in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse über die Ausdehnung des pharyngealen Luftraums ist jedoch nicht absolut. Da das FRS Strukturen in der Mediansagittalebene gut darzustellen vermag, die transversale Dimension allerdings nicht erfasst werden kann, kommt es automatisch zu einem Informationsverlust, der die Breiten- und Volumenausdehnung des extrathorakalen Luftwegs betrifft.

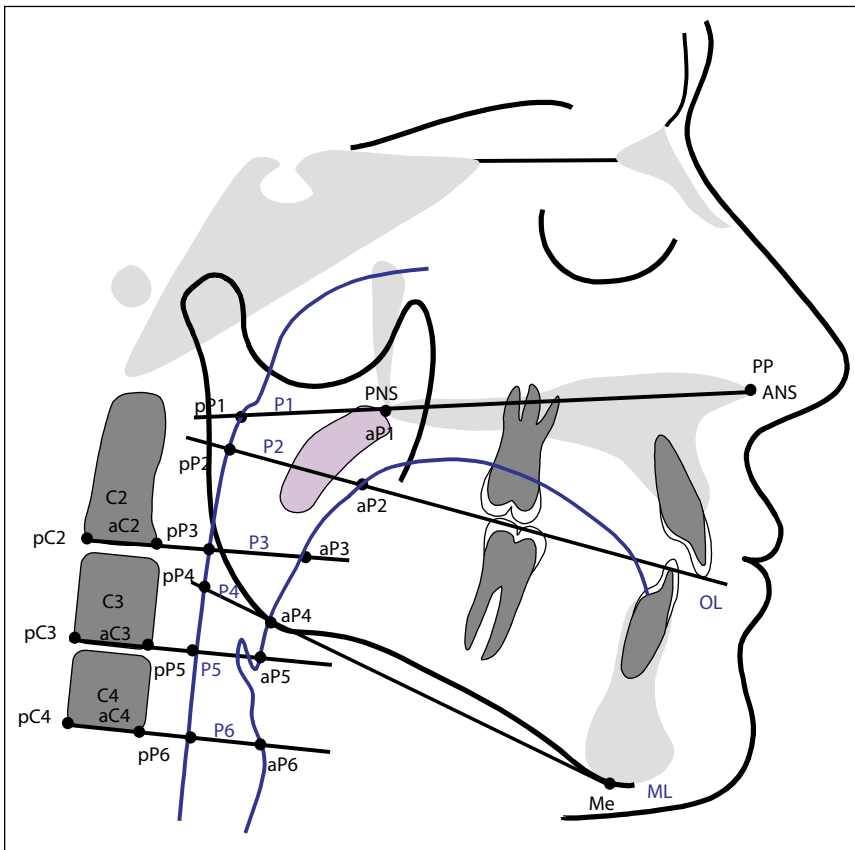
### Schlüsselwörter

Distalbiss · Angle-Klasse II · Functional Mandibular Advancer (FMA) · Herbst-Geschiebe · Extrathorakaler Luftraum · Fernröntgenseitenbild

### Einleitung

Für organisch bedingte Einengungen der oberen Atemwege sind überwiegend nicht nur, wie bisher angenommen, hyperplastische Tonsillen, sondern vornehmlich Zahnfehlstellungen und Kieferlageanomalien (insbesondere Klasse-II-Anomalien, hyperdivergente vertikale Wachstumsmuster, Adenoidenfazies, transversale Zahnbogenenge im Oberkiefer und Dorsokaudalverlagerung der Zungenmuskulatur) verantwortlich. Treten schlafbezogene Atemstörungen auf, führen bei der symptomatischen, zahnärztlichen Therapie in Anlehnung an den Esmarch-Handgriff schienenähnliche, enoral applizierbare Geräte zu einer Vorverlagerung des Unterkiefers und der daran ansetzenden Zungen- und suprahyoidalen Muskulatur mit Erweiterung der oberen Atemwege. Solche intraoralen Apparaturen sollen über eine mechanische Manipulation der beteiligten Weichgewebe des Unterkiefers ein Kollabieren der Luftwege verhindern [22, 24]. Die Apparaturen, die eine Erweiterung der oberen Atemwege ermöglichen, inkorporieren als Wirkprinzip eine schiefe Ebene bzw. spezielle Elemente, die einen Vorschub des Unterkiefers in die therapeutisch gewünschte Position ermöglichen. Sie basieren auf dem funktionskieferorthopädischen Prinzip zur kausalen Behandlung von Anomalien der Angle-Klasse II. Klassischerweise erfolgt eine funktionskieferorthopädische Behandlung zur Korrektur der Distalbisslage mit herausnehmbaren Geräten im Wechselgebiss bzw. im frühen adulten Gebiss zur Zeit des pubertären Wachstumsschubs. Die Therapie mit festsitzenden Apparaturen erfolgt insbesondere nach Überschreiten des Wachstumsmaximums, wenn nur noch ein geringes Restwachstum zu erwarten ist. Ziel ist die Einstellung eines Neutralbisses durch Kombination von skelettalen und dentalen Effekten.

Die Fragestellung, inwieweit Behandlungen zur Korrektur von Angle-Klasse-II-Anomalien mit festsitzenden Apparaturen Einfluss auf die Morphologie des extrathorakalen Luftwegs nehmen und ob möglicherweise präventiv obstruktive Schlafapnoen verhindert werden können, deren Ursachen



**Figure 1.** Sagittal distances (width) of the posterior airway space on different levels

**Abbildung 1.** Sagittale Strecken (Tiefe) des "posterior airway space" (PAS) auf unterschiedlichen Ebenen

term effects immediately after fixed-appliance insertion lead to expansion of the pharyngeal depth on all planes. However, after treatment completion, the investigators reported no long-term effect on pharynx depths in comparison to baseline values [19]. The present study includes a larger patient cohort and investigates whether fixed appliances for Angle Class II correction can in principle have significant therapeutic effects on PAS while improving distal bite.

We aimed to answer the following questions:

- Does treatment with fixed appliances for the correction of Angle Class II influence the width of the PAS? If yes, at what levels does the PAS change?
- Is there a statistically significant correlation between the extent of mandibular displacement as a sagittal effect and changes in the width of the pharyngeal airway space? Are changes in the vertical distances and angles directly linked to PAS changes?
- Do different appliances have different effects?
- Does treatment with fixed appliances for Angle Class II correction possibly help to prevent sleep apnea?

## Patients and methods

### Patients

In total, 43 patients with Angle Class II malocclusion were treated with fixed appliances to correct a distal intermaxillary

überwiegend Kieferlageanomalien sind, wurde in der Literatur bislang nur anhand von Fallbeispielen erörtert. Dabei zeigte sich eine große individuelle Variabilität hinsichtlich der Veränderung des sogenannten „posterior airway space“ (PAS) auf den definierten Ebenen, die scheinbar in keinem direkten Zusammenhang mit dem Ausmaß der therapeutisch erreichten sagittalen Effekte (Verbesserung des Overjets und der Molarenrelation) stehen [18]. Kurzzeiteffekte führen zwar unmittelbar nach Einsetzen der festsitzenden Apparatur zu einer Erweiterung der Pharynxtiefe auf allen Ebenen, doch nach Abschluss der Gesamtbehandlung zeigt sich als Langzeiteffekt keine wesentliche Veränderung der Pharynxtiefen im Vergleich zum Ausgangsbefund [19]. Deshalb sollte in der nachfolgenden Studie anhand höherer Fallzahlen erörtert werden, ob parallel zur Distalbisskorrektur festsitzende Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse II grundsätzlich therapeutische Effekte signifikanten Ausmaßes auf den PAS haben.

Konkret stellten sich folgende Fragen:

- Hat eine Therapie mit festsitzenden Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse II Auswirkungen auf die Tiefe des extrathorakalen Luftraums? Wenn ja, auf welchen Ebenen verändert sich der PAS?
- Besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß einer Unterkieferverlagerung als sagittaler Effekt und Veränderungen der Tiefe des pharyngealen Luftraums? Stehen Veränderungen vertikaler Strecken

discrepancy: the appliances were either the Functional Mandibular Advancer (FMA; Forestadent®, Pforzheim, Germany) or the Herbst appliance (Dentaurum, Ispringen, Germany). Each patient was allocated to one of two groups depending on the appliance used. The treatment course was documented with lateral cephalograms, as this radiological technique is routinely used in orthodontics. The FMA group consisted of 18 patients, 10 female and eight male; their mean age at the start of treatment was 15 years and 7 months (minimum 12 years, maximum 25 years and 7 months). The mean duration of treatment (FMA treatment and MBA treatment) was 18 months. The group of patients treated with the Herbst appliance consisted of 25 patients, 13 female and 12 male; their mean age before the start of treatment was 13 years and 8 months (minimum 9 years and 2 months, maximum 16 years and 5 months). The mean duration of treatment (Herbst treatment and MBA treatment) was 19.5 months.

### Analytical method

Two lateral cephalograms were taken of each patient at defined time points (time point T1=baseline before treatment, time point T2=end phase of treatment). All X-rays were taken in habitual occlusion using standard radiological techniques, with a cephalostat in the lateral norm, and the central beam passing perpendicularly to the film plane through the external acoustic meatus. The X-rays were routinely taken on the right side. The patient's posture was relaxed and upright, with the mouth closed. A correction factor was calculated for each X-ray. All linear measurements were multiplied by this factor in order to correct for radiographic magnification. This correction factor was calculated for each X-ray with the calibrated scale fitted to the cephalostat of the X-ray unit, so that all measurements could be converted to their real size. The fr-win Program (Computer konkret AG, Falkenstein, Germany) was used for an individually defined analysis of the distance and angle measurements, with a precision of 0.01 mm or 0.1°, respectively.

**Linear measurement of pharyngeal depth.** The pharyngeal airway space was measured on the levels of the maxillary plane, occlusal plane, mandibular plane and on the level of the second to fourth cervical vertebrae (Figure 1). The first step was to mark the soft-tissue contours of the anterior and posterior pharynx wall, tongue and uvula. Distances were measured on the following levels:

- P1: pP-aP on PP: Distance between the posterior pharynx wall and point PNS on the palatal plane level
- P2: pP-aP on OL: Distance between the posterior pharynx wall and anterior pharynx wall/lingual root on the occlusal plane level
- P3: pP-aP on pC2-aC2: Distance between the posterior pharynx wall and anterior pharynx wall/lingual root on the level of the second cervical vertebra (underside)
- P4: pP-aP on ML: Distance between the posterior pharynx wall and anterior pharynx wall on the mandibular plane level

und Winkel einerseits und des PAS andererseits in direktem Zusammenhang?

- Haben unterschiedliche Behandlungsapparaturen differierende Effekte?
- Kann eine Behandlung mit festsitzenden Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse II möglicherweise als präventiv bei potenziellen Schlafapnoepatienten gewertet werden?

## Patienten und Methodik

### Patienten

Zur Korrektur der Distalbilslagen wurden 43 Patienten mit einer Angle-Klasse-II-Anomalie mit festsitzenden Geräten [Functional Mandibular Advancer (FMA), Forestadent® Pforzheim, Deutschland, oder Herbst-Geschiebe, Dentaurum, Ispringen, Deutschland] behandelt. Dem Behandlungsgerät entsprechend wurden die Patienten in 2 Gruppen unterteilt. Die Behandlungsverläufe wurden anhand von Fernröntgenseitenbildern (FRS) dokumentiert. Diese waren die Röntgenaufnahmen der Wahl, da sie im Laufe der kieferorthopädischen Behandlung routinemäßig angefertigt werden. Die FMA-Gruppe bestand aus 18 Patienten, von denen 10 weiblich und 8 männlich waren. Das durchschnittliche Alter in der FMA-Gruppe betrug bei Behandlungsbeginn 15 Jahre und 7 Monate (Minimum: 12 Jahre, Maximum: 25 Jahre und 7 Monate). Die durchschnittliche Behandlungsdauer (FMA-Behandlung und MBA-Behandlung) betrug 18 Monate. Das Patientenkollektiv, das mit dem Herbst-Scharnier behandelt wurde, bestand aus 25 Patienten, von denen 13 weiblich und 12 männlich waren. Das durchschnittliche Alter innerhalb dieser Therapiegruppe betrug bei Behandlungsbeginn 13 Jahre und 8 Monate (Minimum: 9 Jahre und 2 Monate, Maximum: 16 Jahre und 5 Monate). Die durchschnittliche Behandlungsdauer (Herbst-Behandlung und MBA-Behandlung) betrug 19,5 Monate.

### Analysemethode

Von allen Patienten wurden 2 FRS-Aufnahmen zu definierten Zeitpunkten angefertigt (Zeitpunkt T1: Anfangsphase; Zeitpunkt T2: Endphase der Behandlung). Alle Röntgenbilder wurden in habitueller Okklusion mittels standardisierter Aufnahmetechnik unter Verwendung eines Kephhalostaten in der Norma lateralis angefertigt, wobei der Zentralstrahl dabei rechtwinklig zur Filmebene durch den Porus acusticus externus verlief. Die Röntgenaufnahmen wurden routinemäßig auf der rechten Seite, bei entspannter Körperhaltung, in aufrechter Position und bei Mundschluss durchgeführt. Anhand eines Vergrößerungskorrekturfaktors, der individuell für jedes Röntgenbild erstellt wurde, konnten röntgenologisch bedingte Vergrößerungen korrigiert werden, indem eine Multiplikation des Faktors mit allen linearen Messungen erfolgte. Errechnet wurde der jeweilige Vergrößerungsfaktor des Röntgenbilds mithilfe des skalierten Kephhalostaten der Röntgeneinrichtung, sodass alle Messungen anschließend in ihrer reellen Größe vorlagen. Im Programm fr-win (Computer konkret AG, Falkenstein, Deutschland) erfolgte anhand einer eigenständig definierten

**Table 1.** Vertical linear change in the maxilla area**Tabelle 1.** Vertikale Streckenveränderung im Bereich der Maxilla

Measurements	FMA	FMA	FMA	FMA	Herbst	Herbst	Herbst	Herbst	p-Value	p-Value
	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group		
Cephalogram	T1	T2	T2-T1	p-Value	T1	T2	T2-T1	p-Value	Intra	Inter
	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra		
<b>Vertical (mm)</b>										
S-ANS	86.26	83.53	1.72	p=0.0152*	87.04	91.57	4.54	p=0.0003*	p=0.0445*	
	±	±	±		±	±	±			
	4.37	19.76	2.70		6.01	5.54	5.28			
S-PNS	47.78	49.33	1.54	p=0.0098*	49.66	50.44	0.79	p=0.1190	p=0.3063	
	±	±	±		±	±	±			
	3.17	3.69	2.25		4.43	4.08	2.44			
N-ANS	52.66	54.68	2.02	p=0.0148*	54.14	56.02	1.88	p=0.0064*	p=0.8846	
	±	±	±		±	±	±			
	4.16	4.27	3.16		4.83	4.01	3.14			
N-PNS	75.04	77.40	2.08	p=0.0814	77.48	79.77	2.64	p=0.0008*	p=0.6566	
	±	±	±		±	±	±			
	6.32	6.66	4.77		5.11	4.53	3.45			

\*Statistically significant p-value. *MW* arithmetic means, *SD* standard deviation.

\*Statistisch signifikanter p-Wert. *MW* Mittelwert, *SD* Standardabweichung.

- P5: pP-aP on pC3-aC3: Distance between the posterior pharynx wall and anterior pharynx wall on the level of the third cervical vertebra (underside)
- P6: pP-aP on pC4-aC4: Distance between the posterior pharynx wall and anterior pharynx wall on the level of the fourth cervical vertebra (underside)

#### Changes in maxilla and mandible position.

- Vertical distances measured for the maxilla: S-ANS, S-PNS, N-ANS, N-PNS
- Vertical distances measured for the mandible: S-Go, N-Pog, N-Gn, N-Me
- Sagittal-diagonal distances measured for the mandible: Ba-Pog, Co<sup>(dorsal)</sup>-Pog

#### Sagittal-skeletal and vertical-skeletal changes in the maxilla and mandible

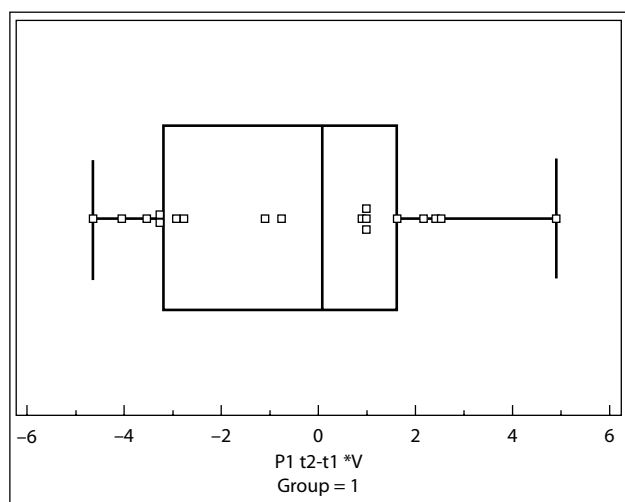
- Maxilla sagittal-skeletal: SNA
- Maxilla vertical-skeletal: SN/PP, SN/OL
- Mandible sagittal-skeletal: SNB, SN-Pog
- Mandible vertical-skeletal: SN/ML, PP/ML
- Sagittal-skeletal ratio of the maxilla and mandible: ANB

**Gonial angle measurements:** N-S-Ar, S-Ar-Go, Ar-Go-Me, Björk sum angle [3].

Analyse die Auswertung der Strecken- und Winkelmessungen, wobei die Messgenauigkeit 0,01 mm bzw. 0,1° betrug.

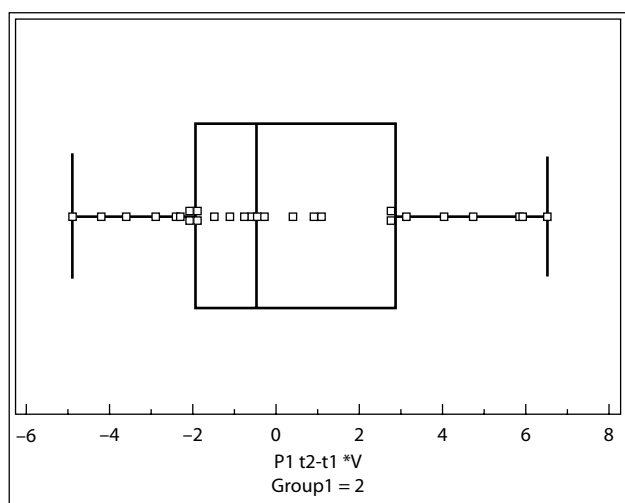
**Streckenmessung der Pharynxtiefe.** Der pharyngeale Luft- raum wurde auf den Ebenen des Oberkieferplanums, der Okklusionsebene, des Unterkieferplanums und auf der Höhe des zweiten bis vierten Halswirbels bestimmt (Abbildung 1). Dazu wurden die Weichteilkonturen der vorderen und hinteren Pharynxwand, der Zunge und der Uvula durchgezeichnet. Die Strecken wurden auf den folgenden Ebenen gemessen:

- P1: pP-aP auf PE – Strecke zwischen der Pharynxhinterwand und dem Punkt PNS auf Höhe der Palatinalebene,
- P2: pP-aP auf OE – Strecke zwischen der Pharynxhinterwand und der Pharynxvorderwand/dem Zungengrund auf Höhe der Okklusionsebene,
- P3: pP-aP auf pC2-aC2 – Strecke zwischen der Pharynxhinterwand und der Pharynxvorderwand/dem Zungengrund auf Höhe des zweiten Halswirbels (Unterseite),
- P4: pP-aP auf ME – Strecke zwischen der Pharynxhinterwand und der Pharynxvorderwand auf Höhe der Mandibularebene,
- P5: pP-aP auf pC3-aC3 – Strecke zwischen der Pharynxhinterwand und der Pharynxvorderwand auf Höhe des dritten Halswirbels (Unterseite),
- P6: pP-aP auf pC4-aC4 – Strecke zwischen der Pharynxhinterwand und der Pharynxvorderwand auf Höhe des vierten Halswirbels (Unterseite).



**Figure 2.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P1, FMA patients

**Abbildung 2.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P1 bei den FMA-Patienten



**Figure 3.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P1, Herbst patients

**Abbildung 3.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P1 bei den Herbst-Patienten

### Statistical evaluation and method error

The level of significance was set at 0.05 in all statistical tests, making this an exploratory evaluation.

### Means and standard deviations

The Microsoft Excel 2003 and Medcalc Version 9.3.2 programs were used for statistical evaluation. The arithmetic means (MW) and standard deviations (SD) were calculated for all variables in this cephalometric study.

### t-Test

The linear and angular measurements were tested using the paired t-test to establish which effective changes took place in

### Lageveränderungen des Ober- und Unterkiefers.

- Vertikale Streckenmessungen der Maxilla: S-ANS, S-PNS, N-ANS, N-PNS
- Vertikale Streckenmessungen der Mandibula: S-Go, N-Pog, N-Gn, N-Me
- Sagittal-diagonale Streckenmessungen der Mandibula: Ba-Pog, Co<sup>(dorsal)</sup>-Pog

### Sagittal-skelettale und vertikal-skelettale Veränderungen des Ober- und Unterkiefers

- Maxilla sagittal-skelettal: SNA
- Maxilla vertikal-skelettal: SN/PE, SN/OE
- Mandibula sagittal-skelettal: SNB, SN-Pog
- Mandibula vertikal-skelettal: SN/ME, PE/ME
- Sagittal-skelettale Relation von Oberkiefer und Unterkiefer: ANB

**Kieferwinkelmessungen:** N-S-Ar, S-Ar-Go, Ar-Go-Me, Summenwinkel nach Björk [3].

### Statistische Auswertung und Methodenfehler

Bei allen statistischen Tests wurde ein Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$  angenommen. Somit wurden die Daten explorativ ausgewertet.

### Mittelwerte und Standardabweichung

Mithilfe der Datenverarbeitungsprogramme Microsoft Excel 2003 und Medcalc Version 9.3.2 erfolgte die statistische Auswertung, wobei für alle Variablen der kephalometrischen Auswertung der arithmetische Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (SD) bestimmt wurden.

### t-Test

Bei den linearen und angularen Messungen wurde mittels des verbundenen t-Tests untersucht, welche effektiven unter der Behandlung erfolgten Veränderungen innerhalb der einzelnen Therapiegruppen stattfanden. Mithilfe des unverbundenen t-Tests wurden Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen untersucht. Bei  $p < 0,05$  konnte von einem statistisch signifikanten Ergebnis ausgegangen werden.

### Korrelations- und Regressionsanalyse

Alle linearen und angularen Messungen wurden zunächst einer Korrelationsanalyse unterzogen. Die Korrelationsanalyse trifft eine Aussage darüber, wie eng der lineare Zusammenhang zwischen 2 Größen ist und gibt somit Aufschluss über den Abhängigkeitsgrad zweier Variablen. Ziel dieser statistischen Analyse war die Beantwortung der Frage, ob eine Beziehung zwischen dem Ausmaß der Unterkieferverlagerung (als skelettaler Effekt) bzw. bestimmter vertikaler Effekte einerseits und der Pharynxweite auf definierten Ebenen andererseits besteht.

Nur wenn der Korrelationskoeffizient  $r$  nach Pearson [13]  $> 0,3$  oder  $< -0,3$  war, konnte von einem statistischen Zusammenhang gesprochen werden, wobei  $r > 0$  einen positiven linearen

**Table 2.** Sagittal-skeletal and vertical-skeletal angle changes in the maxilla area**Tabelle 2.** Sagittal-skelettale und vertikal-skelettale Winkelveränderungen im Bereich der Maxilla

Measurements	FMA	FMA	FMA	FMA	Herbst	Herbst	Herbst	Herbst	p-Value
	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	
Cephalogram	T1	T2	T2-T1	p-Value	T1	T2	T2-T1	p-Value	p-Value
	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra	Inter
<b>Sagittal-skeletal parameter (degrees)</b>									
SNA	80.15	80.47	0.32	P=0.3633	79.46	80.47	1.00	p=0.1014	p=0.3669
	±	±	±		±	±	±		
	4.58	4.17	1.44		3.55	3.88	2.95		
<b>Vertical-skeletal parameter (degrees)</b>									
SN/PP	7.11	7.66	0.55	P=0.3239	6.58	7.06	0.48	p=0.3735	p=0.9240
	±	±	±		±	±	±		
	3.53	3.99	2.30		4.12	3.93	2.62		
SN/OL	18.64	19.56	0.92	P=0.1693	16.91	18.09	1.18	p=0.0776	p=0.7783
	±	±	±		±	±	±		
	5.28	5.15	2.71		5.39	5.74	3.20		

MW arithmetic means, SD standard deviation.

MW Mittelwert, SD Standardabweichung.

each treatment group during treatment. The unpaired t-test was used to investigate differences between the two treatment groups;  $p < 0.05$  was considered a statistically significant result.

### Correlation analysis and regression analysis

All linear and angular measurements were first submitted for correlation analysis. Correlation analysis describes the closeness of the linear relationship between two parameters and thus indicates the degree of dependence between two variables. The aim of this statistical analysis was to discover any relationship between the extent of forward displacement of the mandible (as a skeletal effect) or specific vertical effects on the one hand and the pharyngeal width at defined levels on the other.

A Pearson coefficient of correlation  $r$  [13]  $> 0.3$  or  $< -0.3$  indicates a statistical correlation, whereby  $r > 0$  corresponds to a positive linear correlation and  $r < 0$  to a negative linear correlation between the parameters. If this occurred, the variables were subjected to regression analysis.

Regression analysis is a procedure permitting conclusions about the magnitude of one parameter according to another parameter's magnitude. This allows statistically-based predictions. For example, the linear equation  $y = a \cdot x + b$  can be used to predict the width of the pharynx for a given forward displacement of the mandible (a skeletal effect) or for given changes in vertical parameters, assuming that the slope is statistically significant.

ren Zusammenhang und  $r < 0$  einen negativen linearen Zusammenhang zwischen beiden Merkmalen bezeichnete. Traf dies zu, wurden die Variablen der Regressionsanalyse unterzogen.

Bei der Regressionsanalyse handelt es sich um ein Verfahren, das Rückschlüsse von einer Größe auf eine andere Größe zulässt, sodass statistisch belegte Vorhersagen getroffen werden können. Anhand der Geradengleichung  $y = a \cdot x + b$  ist es somit möglich, beispielsweise eine Prognose über das Ausmaß der Pharynxweite bei einer beliebigen Unterkieferverlagerung (als skelettaler Effekt) oder Veränderungen vertikaler Parameter zu stellen, sofern auch die Steigung („slope“) statistisch signifikant ist.

### Methodenfehler

Zur Bestimmung des Methodenfehlers bei den linearen und angularen Messungen wurden die FRS von 10 zufällig ausgewählten Patienten erneut vermessen. Der kombinierte Methodenfehler wurde mit der Formel

$$MF = \sqrt{\left(\sum \frac{d^2}{2n}\right)}$$

nach Dahlberg [9] berechnet. Hierbei entspricht  $d$  der Differenz zwischen 2 Messergebnissen,  $n$  bestimmt die Anzahl der Zweifachmessungen. Die Ermittlung des kombinierten Methodenfehlers ergab Werte von 0,68 mm für die linearen Messungen und 0,55° für die angularen Messungen.

### Method error

To determine the method error of linear and angular measurements, we re-measured the lateral cephalograms of 10 randomly selected patients. The combined method error was calculated using the formula [9]

$$MF = \sqrt{\left(\sum \frac{d^2}{2n}\right)}$$

where d is the difference between two measurements and n the number of duplicate measurements. The combined method error was 0.68 mm for the linear measurements and 0.55° for the angular measurements.

### Results

#### Means, standard deviations and p-values

Table 1–7 illustrate the parameters measured (distances and angles). The MW and SD are given at control time points T1 and T2, together with the differences in the means and their standard deviations (T2-T1) for each treatment group (FMA group, Herbst group), as well as the corresponding p-values within (intra) and between (inter) the groups.

The difference between T2 and T1 is a measure of the cumulative effects of the therapeutic changes and of growth-related changes during this phase.

#### Effect on the maxilla

We observed significant increases in both treatment groups in the vertical length of the maxilla (Table 1). The Herbst group exhibited the greatest increase in length in the S-PNS distance, with  $4.54 \pm 5.28$  mm (p-value: 0.0003). There were significant differences between the FMA and Herbst groups in the vertical length increase according to the variable S-PNS (p-value: 0.0445).

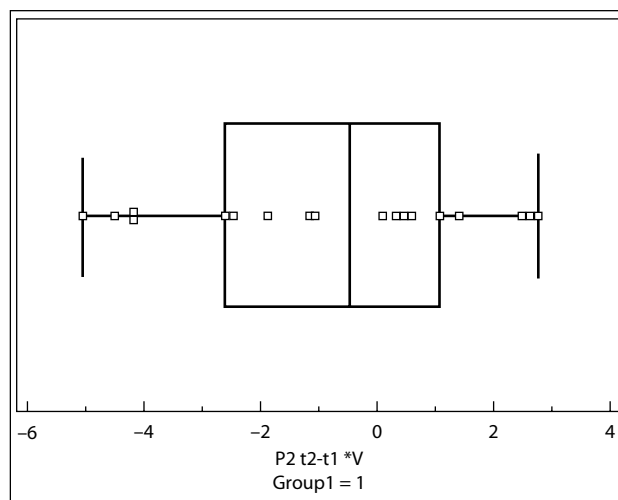
Concerning the angular measurements, we detected no significant changes in either cohort regarding the position of the anterior maxillary base relative to the anterior cranial base (SNA), the position of the anterior cranial base relative to the palatal plane (SN/PP), or the position of the anterior cranial base relative to the occlusal plane (SN/OL) (Table 2).

#### Effects on the mandible

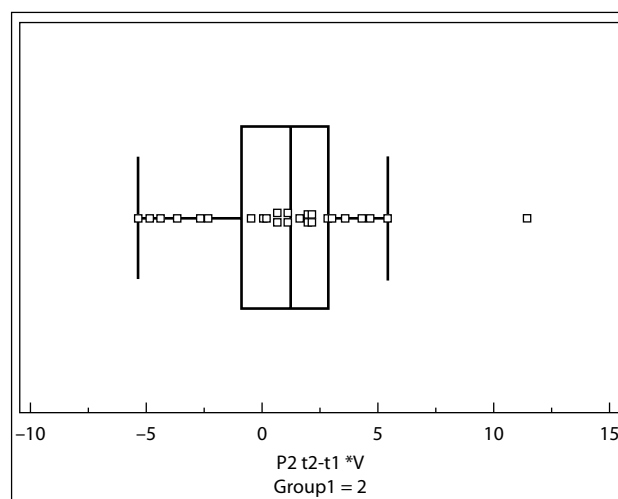
There were significant changes in the mandible region in both treatment cohorts (Table 3–5).

Both cohorts also showed a significant increase in the length of the posterior facial height (S-Go). The FMA cohort's increase in length was  $4.22 \pm 3.41$  mm (p-value: 0.0001) and that of the Herbst group  $5.26 \pm 3.85$  mm (p-value: < 0.0001).

We also noted significant increases in anterior facial height in both cohorts. For the N-Gn distance, the linear increase was  $4.53 \pm 4.54$  mm (p-value: 0.0006) in the FMA patients and  $4.88 \pm 5.21$  mm in the Herbst patients (p-value: 0.0001). For the N-Pog distance, the linear increase was  $3.87 \pm 5.22$  mm (p-value: 0.0059) in the FMA patients and  $4.50 \pm 5.45$  mm in the Herbst



**Figure 4.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P2, FMA patients  
**Abbildung 4.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P2 bei den FMA-Patienten



**Figure 5.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P2, Herbst patients  
**Abbildung 5.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P2 bei den Herbst-Patienten

### Ergebnisse

#### Mittelwerte und Standardabweichungen, p-Werte

Den Tabelle 1–7 sind für die einzelnen Messparameter (Strecken- und Winkelmessungen) zu entnehmen: die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) zu den Kontrollzeitpunkten T1 und T2 sowie die Differenzen der Mittelwerte und deren Standardabweichungen (T2-T1) jeweils für die einzelnen Behandlungsgruppen (FMA-Gruppe, Herbst-Gruppe) sowie die entsprechenden p-Werte innerhalb (intra) und zwischen (inter) den Gruppen.



**Table 3.** Vertical, sagittal and diagonal distance changes in the mandible area**Tabelle 3.** Vertikale, sagittale und diagonale Streckenveränderungen im Bereich der Mandibula

Measurements	FMA	FMA	FMA	FMA	Herbst	Herbst	Herbst	Herbst	p-Value	p-Value
	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group		
Cephalogram	T1	T2	T2-T1	p-Value	T1	T2	T2-T1	p-Value	p-Value	
	MW + SD	MW + SD	MW + SD	intra	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra	Inter	
<b>Vertical (mm)</b>										
S-Go	77.44	81.66	4.22	p=0.0001*	80.24	85.50	5.26	p<0.0001*	p=0.3635	
	±	±	±		±	±	±			
	8.96	9.54	3.41		8.66	7.59	3.85			
N-Pog	111.63	115.49	3.87	p=0.0059*	112.84	117.29	4.50	p=0.0004*	p=0.7081	
	±	±	±		±	±	±			
	9.16	8.60	5.22		8.69	9.09	5.45			
N-Gn	117.08	121.03	4.53	p=0.0006*	117.46	122.33	4.88	p=0.0001*	p=0.8237	
	±	±	±		±	±	±			
	8.92	9.14	4.54		9.30	8.74	5.21			
N-Me	118.63	122.76	4.13	p=0.0032*	119.15	124.43	5.70	p<0.0001*	p=0.3223	
	±	±	±		±	±	±			
	9.20	9.08	5.12		9.40	9.15	5.02			
<b>Sagittal (mm)</b>										
Ba-Pog	108.28	112.11	3.83	p=0.0007*	108.33	113.73	5.40	p<0.0001*	p=0.2239	
	±	±	±		±	±	±			
	9.01	10.51	3.92		7.17	6.67	4.24			
<b>Diagonal (mm)</b>										
Co <sup>dorsal</sup> -Pog	112.91	116.31	3.40	p=0.0069*	112.92	118.21	5.29	p<0.0001*	p=0.1724	
	±	±	±		±	±	±			
	8.65	9.78	4.69		6.96	6.23	4.19			

\*Statistically significant p-value. MW arithmetic means; SD standard deviation.

\*Statistisch signifikanter p-Wert. MW Mittelwert; SD Standardabweichung.

cohort (p-value: 0.0004). There were also significant vertical increases in the N-Me distance: by  $5.70 \pm 5.02$  mm (p-value: <0.0001) in the Herbst group and by  $4.13 \pm 5.12$  mm (p-value: 0.0032) in the FMA patients.

We detected significant increases in the Ba-Pog distance on the sagittal plane: these were most pronounced in the Herbst cohort, who showed an increase of  $5.40 \pm 4.24$  mm (p-value: <0.0001), whereas it increased by  $3.83 \pm 3.92$  mm (p-value: 0.0007) in the FMA patients.

Significant changes also appeared in the Co<sup>dorsal</sup>-Pog distance. In the Herbst group, it increased by  $5.29 \pm 4.19$  mm (p-value: <0.0001), and in the FMA group by  $3.40 \pm 4.69$  mm (p-value: 0.0069).

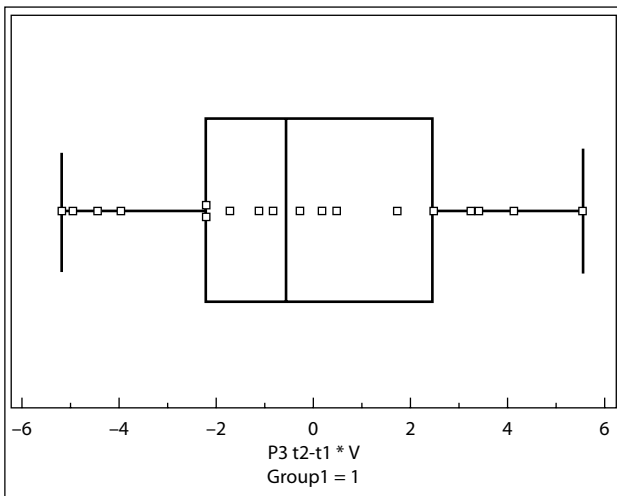
There was significant forward development of the mandible made obvious by increases in the angles in both cohorts. In the FMA group, we noted the following increases: SNB:  $1.29^\circ \pm 1.34^\circ$ ,

Die Differenz T2–T1 kennzeichnet hierbei die kumulative Wirkung der therapeutischen Veränderungen und der während dieser Phase abgelaufenen wachstumsbedingten Veränderungen.

#### Wirkung auf die Maxilla

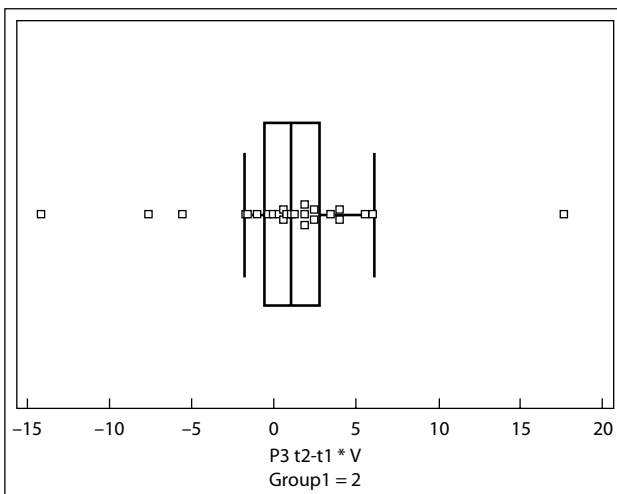
In beiden Behandlungsgruppen konnten signifikante Längenzunahmen der Maxilla in der Vertikaldistanz verzeichnet werden (Tabelle 1), wobei die Patienten der Herbst-Gruppe mit  $4,54 \pm 5,28$  mm (p=0,0003) die deutlichste Längenzunahme bei der Strecke S-Spa aufwiesen. Bei den Veränderungen in der vertikalen Dimension zeigte sich bei der Variable S-Spa ein signifikanter Unterschied im Bezug auf das Ausmaß der Längenzunahme zwischen der FMA- und Herbst-Gruppe (p=0,0445).

Bei den Winkelmessungen zeigten sich in beiden Therapiegruppen keine signifikanten Veränderungen bezüglich der Lage



**Figure 6.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P3, FMA patients

**Abbildung 6.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P3 bei den FMA-Patienten



**Figure 7.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P3, Herbst patients

**Abbildung 7.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P3 bei den Herbst-Patienten

p-value: 0.0008; SN-Pog:  $1.29^\circ \pm 1.23^\circ$ , p-value: 0.0004. The Herbst cohort's values were: SNB:  $1.32^\circ \pm 1.49^\circ$ , p-value: 0.0002; SN-Pog:  $1.52^\circ \pm 1.66^\circ$ , p-value: 0.0001. Regarding the vertical dimension, only the Herbst cohort showed a statistically significant decrease in the angle between the palatal and mandibular planes (PP/ML:  $-1.41^\circ \pm 2.58^\circ$ ; p-value: 0.0117).

All measurements in the gonial angle area reflected minor changes which were not statistically significant at the 5 % level.

der anterioren Oberkieferbasis zur vorderen Schädelbasis (SNA), der Relation der vorderen Schädelbasis zur Palatinalenebene (SN/PE) sowie der vorderen Schädelbasis zur Okklusionsebene (SN/OE; Tabelle 2).

### Wirkungen auf die Mandibula

In beiden Behandlungsgruppen kam es im Bereich der Mandibula zu signifikanten Veränderungen (Tabelle 3–5).

Eine signifikante Längenzunahme der hinteren Gesichtshöhe (S-Go) konnte in beiden Gruppen erzielt werden, wobei die Längenzunahme in der FMA-Gruppe  $4,22 \pm 3,41$  mm ( $p=0,0001$ ) und in der Herbst-Gruppe  $5,26 \pm 3,85$  mm ( $p<0,0001$ ) betrug.

Auch bei der vorderen Gesichtshöhe wurden bei beiden Behandlungsalternativen signifikante Vergrößerungen erzielt: Bei der Strecke N-Gn  $4,53 \pm 4,54$  mm ( $p=0,0006$ ) bei den Patienten, die mit dem FMA behandelt wurden, und  $4,88 \pm 5,21$  mm ( $p=0,0001$ ) bei den Herbst-Patienten, im Messbereich N-Pog  $3,87 \pm 5,22$  mm ( $p=0,0059$ ) bei den FMA-Patienten und  $4,50 \pm 5,45$  mm ( $p=0,0004$ ) in der Herbst-Gruppe. Auch bei der Strecke N-Me kam es zu signifikanten Vergrößerungen der vertikalen Dimension: in der Herbst-Gruppe um  $5,70 \pm 5,02$  mm ( $p<0,0001$ ) und bei den FMA-Patienten um  $4,13 \pm 5,12$  mm ( $p=0,0032$ ).

Im Bereich der Strecke Ba-Pog wurden signifikante Längenzunahmen in der Sagittalen erzielt. Am ausgeprägtesten war die Vergrößerung der Strecke in der Herbst-Gruppe. Hier wurde eine Zunahme von  $5,40 \pm 4,24$  mm ( $p<0,0001$ ) erreicht. Bei den mit dem FMA therapierten Patienten vergrößerte sich die Strecke Ba-Pog um  $3,83 \pm 3,92$  mm ( $p=0,0007$ ).

Ebenfalls signifikante Veränderungen konnten bei der Strecke Codorsal-Pog nachgewiesen werden: In der Herbst-Gruppe kam es zu einer Streckenvergrößerung um  $5,29 \pm 4,19$  mm ( $p<0,0001$ ), bei den FMA-Patienten um  $3,40 \pm 4,69$  mm ( $p=0,0069$ ).

Sowohl in der FMA-Gruppe (SNB:  $1,29^\circ \pm 1,34^\circ$ ,  $p=0,0008$ ; SN-Pog:  $1,29^\circ \pm 1,23^\circ$ ,  $p=0,0004$ ) als auch im Herbst-Patientenkollektiv (SNB:  $1,32^\circ \pm 1,49^\circ$ ,  $p=0,0002$ ; SN-Pog:  $1,52^\circ \pm 1,66^\circ$ ,  $p=0,0001$ ) konnte eine signifikante Ventralentwicklung des Unterkiefers durch die Zunahme der Winkelwerte nachgewiesen werden. Bei der vertikalen Relation konnte lediglich bei den Patienten, die mit der Herbst-Apparatur therapiert wurden, eine statistisch signifikante Abnahme zwischen der Palatinalenebene und der Mandibularebene (PE/ME:  $-1,41^\circ \pm 2,58^\circ$ ;  $p=0,0117$ ) aufgezeigt werden.

Alle Messungen im Bereich der Kieferwinkel ließen nur geringe Veränderungen erkennen, die auf dem 5%-Niveau als statistisch nicht signifikant gewertet wurden.

### Sagittal-skelettale Winkelveränderungen zwischen Maxilla und Mandibula

Die Abnahme des ANB-Winkelwerts basiert in beiden Gruppen auf einer Ventralentwicklung der Mandibula, die vom Ausmaß her jedoch nur bei dem Patientenkollektiv, das mit dem FMA therapiert wurde, statistisch signifikant war (ANB:  $-0,98^\circ \pm 1,34^\circ$ ;  $p=0,0064$ ; Tabelle 6).

**Table 4.** Sagittal-skeletal and vertical-skeletal angle changes in the mandible area**Tabelle 4.** Sagittal-skelettale und vertikal-skelettale Winkelveränderungen im Bereich der Mandibula

Measurements	FMA	FMA	FMA	FMA	Herbst	Herbst	Herbst	Herbst	p-Value
	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	
Cephalogram	T1	T2	T2-T1	p-Value	T1	T2	T2-T1	p-Value	p-Value
	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra	Inter
<b>Sagittal parameter (degrees)</b>									
SNB	74.60	75.89	1.29	p=0.0008*	74.75	76.10	1.32	p=0.0002*	p=0.9614
	±	±	±		±	±	±		
	4.99	5.12	1.34		2.90	3.40	1.49		
SN-Pog	75.97	77.25	1.29	p=0.0004*	76.15	77.68	1.52	p=0.0001*	p=0.6141
	±	±	±		±	±	±		
	5.75	5.66	1.23		3.37	4.02	1.66		
<b>Vertical parameter (degrees)</b>									
SN/ML	32.96	32.07	-0.89	p=0.2644	30.53	29.60	-0.93	p=0.0735	p=0.9610
	±	±	±		±	±	±		
	9.00	8.85	3.27		7.03	7.51	2.49		
PP/ML	25.85	24.41	-1.44	p=0.0633	23.95	22.54	-1.41	p=0.0117*	p=0.9717
	±	±	±		±	±	±		
	9.08	8.50	3.07		6.65	6.57	2.58		

\*Statistically significant p-value. MW arithmetic means, SD standard deviation.

\*Statistisch signifikanter p-Wert. MW Mittelwert, SD Standardabweichung.

### Sagittal-skeletal angle changes between the maxilla and mandible

The decrease in the ANB angle in both cohorts was due to the mandible's forward movement, a change that was only statistically significant in the FMA group (ANB =  $-0.98^\circ \pm 1.34$ ; p-value: 0.0064) (Table 6).

### Effect on pharyngeal distances

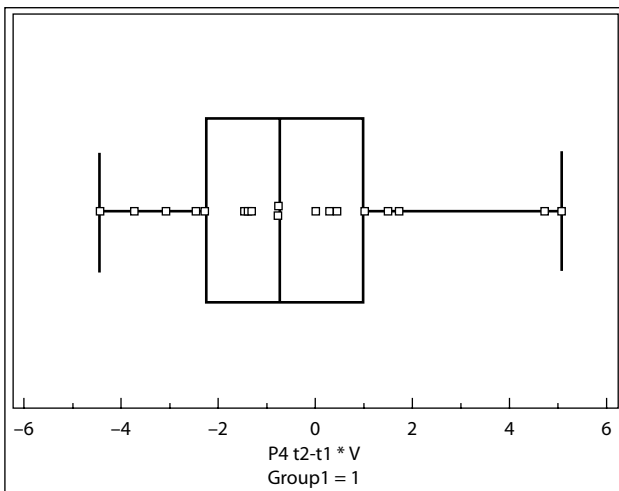
There was no statistically significant change in the depth of the posterior airway space on the six defined planes in either cohort. In the FMA group, there was a slight but non-significant decrease in pharyngeal depth from P1 to P4, but non-significant increases in P5 and P6. In the Herbst group, we observed non-significant increases in pharyngeal width from P1 to P6. None of these differences between the two cohorts were statistically significant. Figure 2–13 show the distribution plots of the added effects from natural growth and therapeutic activity on the pharyngeal distances in the FMA cohort (Group 1=1) and Herbst cohort (Group 1=2).

The distribution plots (Figure 2–13) display large inter-individual differences in the morphological changes during treatment in the six defined distances of the PAS.

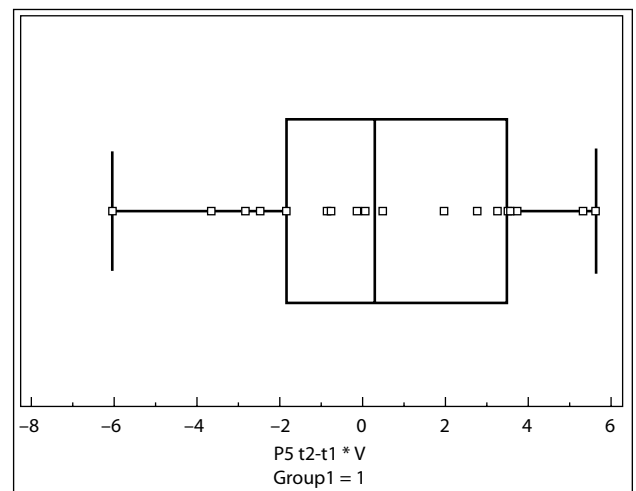
### Wirkung auf Pharynxstrecken

In beiden Behandlungsgruppen waren die Veränderungen der Tiefe des PAS auf den 6 definierten Ebenen nicht statistisch signifikant (Tabelle 7). Bei den Patienten, die mit dem FMA therapiert worden waren, war bis zur Ebene P4 eine geringe, vom Ausmaß her nicht signifikante Abnahme der Pharynxtiefe zu verzeichnen, wohingegen auf den Ebenen P5 und P6 eine tendenzielle Streckenverlängerung stattfand. Beim Herbst-Patientenkollektiv war durchweg eine tendenzielle vom Ausmaß her nicht signifikante Vergrößerung der Pharynxtiefe feststellbar. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen festgestellt werden. In Abbildung 1–13 sind die „distribution plots“ zur Darstellung der Verteilung der Summationseffekte aus natürlichem Wachstum und therapeutischer Wirkung auf die Pharynxstrecken bei den Patienten der FMA-Gruppe (Gruppe 1=1) und der Herbst-Gruppe (Gruppe 1=2) gezeigt.

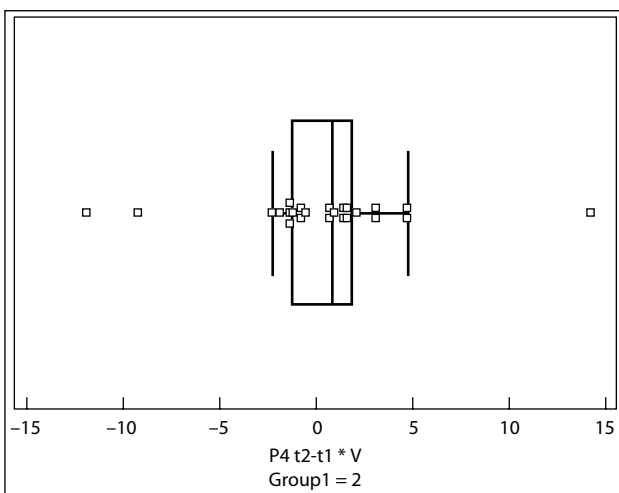
Die „distribution plots“ (Abbildung 2–13) verdeutlichen große interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der unter der Behandlung stattfindenden morphologischen Veränderungen der 6 definierten Strecken des extrathorakalen Luftraums.



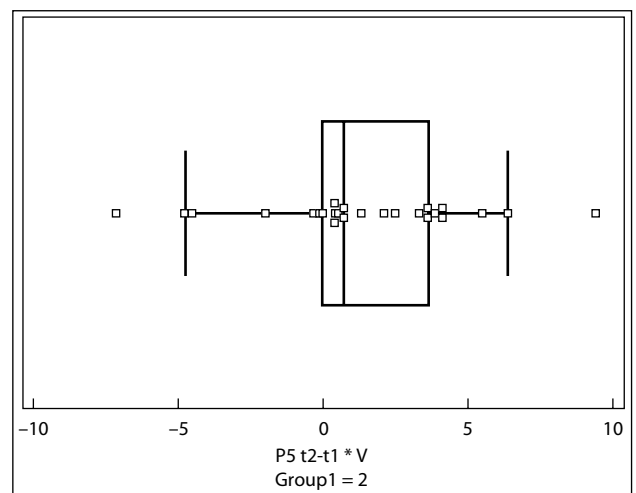
**Figure 8.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P4, FMA patients  
**Abbildung 8.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P4 bei den FMA-Patienten



**Figure 10.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P5, FMA patients  
**Abbildung 10.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P5 bei den FMA-Patienten



**Figure 9.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P4, Herbst patients  
**Abbildung 9.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P4 bei den Herbst-Patienten



**Figure 11.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P5, Herbst patients  
**Abbildung 11.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P5 bei den Herbst-Patienten

### Results of correlation and regression analyses

The objective of this study was to establish any statistically significant correlation between the extent of forward displacement of the mandible (a sagittal effect) and changes in the depth of the pharyngeal airway space. We were also interested in establishing whether there was a direct correlation between changes in vertical distances and angles on the one hand and the PAS on the other.

Correlation analysis was used to examine possible linear correlations. Mandibular displacement as a sagittal effect and vertical effects were compared with pharynx changes in distances P1–P6. A linear correlation was assumed from a value of  $r > 0.3$  (or  $r < -0.3$  for inverse correlation). If an additional regression

### Ergebnisse der Korrelationsanalyse und Regressionsanalyse

Definiertes Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob ein statistisch signifikanter Zusammenhang insbesondere zwischen dem Ausmaß einer Unterkieferverlagerung als sagittaler Effekt und Veränderungen der Tiefe des pharyngealen Luftraums besteht. Außerdem war von Interesse, ob Veränderungen vertikaler Strecken und Winkel einerseits und des PAS andererseits in direktem Zusammenhang stehen.

Durch eine Korrelationsanalyse wurden mögliche lineare Zusammenhänge zwischen den Parametern (Unterkieferverlagerung als sagittaler Effekt/vertikale Effekte vs. Pharynxveränderungen auf den Strecken P1 bis P6) überprüft. Ab einem Wert von  $r > 0,3$  ( $r < -0,3$ ; Antiproportionalität) konnte von

**Table 5.** Gonial angle changes in the mandible area**Table 5.** Kieferwinkelveränderungen im Bereich der Mandibula

Measurements	FMA	FMA	FMA	FMA	Herbst	Herbst	Herbst	Herbst	p-Value	p-Value
	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group		
	T1	T2	T2-T1	p-Value	T1	T2	T2-T1	p-Value		
	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra	Inter	
<b>Angle (degrees)</b>										
N-S-Ar	127.46	126.29	-1.17	p=0.0894	127.00	126.70	-0.30	p=0.4312	p=0.2208	
	±	±	±		±	±	±			
	4.86	5.10	2.75		4.87	4.58	1.85			
S-Ar-Go	144.22	145.79	1.57	p=0.3786	142.06	143.12	0.26	p=0.7246	p=0.4423	
	±	±	±		±	±	±			
	8.64	8.49	7.38		7.86	6.81	3.59			
Ar-Go-Me	121.29	120.00	-1.29	p=0.3991	120.69	119.78	-0.90	p=0.2249	p=0.7995	
	±	±	±		±	±	±			
	8.64	8.82	6.35		9.94	9.53	3.63			
Björk sum angle	392.96	392.07	-0.89	p=0.2624	390.54	389.60	-0.74	p=0.1601	p=0.8628	
	±	±	±		±	±	±			
	9.02	8.85	3.27		7.03	7.51	2.55			

MW arithmetic means, SD standard deviation.

MW Mittelwert, SD Standardabweichung.

analysis of the variables yielded a statistically significant correlation, a regression line (or fitted curve) was defined. This permits predictions, assuming that the slope was significant. The regression analyses and fitted curves are illustrated separately for each of the two cohorts (You will find illustrations of the correlation and regression analyses in the online version of the manuscript).

We noted significant correlations in the FMA cohort at levels P1–P5: In the first two pharynx levels P1 and P2, there was a proportional correlation between the increase in the vertical parameters and the increase in pharyngeal depth (P1/N-Me:  $p=0.150$ , slope:  $0.1930$ ,  $y=-1.2710+0.1930 \cdot x$ ; P2/N-Me:  $p=0.157$ , slope:  $0.1738$ ,  $y=-1.5711+0.1738 \cdot x$ ; P2/PP/ML:  $p=0.162$ , slope:  $0.2862$ ,  $y=-0.4409+0.2862 \cdot x$ ). By contrast, the change in the pharyngeal depth on levels P3 to P5 was inversely proportional to the increases in sagittal and vertical parameters. Thus the depth of the pharynx on levels P3 and P5 decreased as the posterior facial height increased (P3/S-Go:  $p=0.43$ , slope:  $-0.4594$ ,  $y=1.6145-0.4594 \cdot x$ ; P5/S-Go:  $p=0.016$ , slope:  $-0.5368$ ,  $y=2.8974-0.5368 \cdot x$ ). Analogously, the depth of the pharynx at P4 decreased with increasing forward displacement of the mandible (P4/SN-Pog:  $p=0.045$ , slope:  $-1.0001$ ,  $y=0.8858-1.0001 \cdot x$ ; P4/SNB:  $p=0.043$ , slope:  $-0.9248$ ,  $y=0.7939-0.9248 \cdot x$ ).

The Herbst patients revealed significant correlations on levels P1, P2, P3 and P5 (for illustration 21–29, please see the online version). For pharynx levels P1, P2 and P5, there were propor-

einem linearen Zusammenhang ausgegangen werden. War bei den Variablen ein statistisch signifikanter Zusammenhang anhand einer zusätzlichen Regressionsanalyse zu verzeichnen, wurde eine Regressionslinie bzw. Ausgleichsgerade erstellt, die prognostische Vorhersagen erlaubte, sofern auch der Wert der Steigung signifikant war. Die Regressionsanalysen und Ausgleichsgeraden sind getrennt nach den beiden Behandlungsgruppen abgebildet (Abbildungen zu den Korrelations- und Regressionsanalysen finden sich in der Online-Version des Manuskripts).

Signifikante Zusammenhänge sind bei den FMA-Patienten auf den Ebenen P1 bis P5 zu verzeichnen. Auf den ersten beiden Pharynxebenen P1 und P2 besteht ein proportionaler Zusammenhang zwischen der Zunahme vertikaler Parameter und der Zunahme der Pharynxtiefe (P1/N-Me:  $p=0,150$ , Steigung:  $0,1930$ ,  $y=-1,2710+0,1930 \cdot x$ ; P2/N-Me:  $p=0,157$ , Steigung:  $0,1738$ ,  $y=-1,5711+0,1738 \cdot x$ ; P2/PE/ME:  $p=0,162$ , Steigung:  $0,2862$ ,  $y=-0,4409+0,2862 \cdot x$ ). Auf den Pharynxebenen P3 bis P5 hingegen konnte graphisch sichtbar gemacht werden, dass sich die Veränderung der Pharynxtiefe antiproportional zu Wertzunahmen sagittaler und vertikaler Parameter verhält: So nimmt die Tiefe des Pharynx auf den Ebenen P3 und P5 mit Zunahme der hinteren Gesichtshöhe (P3/S-Go:  $p=0,43$ , Steigung:  $-0,4594$ ,  $y=1,6145-0,4594 \cdot x$ ; P5/S-Go:  $p=0,016$ , Steigung:  $-0,5368$ ,  $y=2,8974-0,5368 \cdot x$ ) und auf der Ebene P4 mit Zunahme der Unterkieferverlagerung (P4/SN-Pog:  $p=0,045$ ,

tional correlations between the increases in various vertical parameters and the increase in pharyngeal depth (P1/N-Me:  $p=0.009$ , slope:  $0.3181$ ,  $y=-1.3072+0.3181 \cdot x$ ; P1/SN/ML:  $p=0.017$ , slope:  $0.5924$ ,  $y=1.0579+0.5924 \cdot x$ ; P1/PP/ML:  $p=0.126$ , slope:  $0.3799$ ,  $y=1.0407+0.3799 \cdot x$ ; P1/Björk sum angle:  $p=0.054$ , slope:  $0.4763$ ,  $y=0.8582+0.4763 \cdot x$ ; P2/SN/ML:  $p=0.128$ , slope:  $0.4636$ ,  $y=1.4130+0.4635 \cdot x$ ; P5/Ar-Go-Me:  $p=0.062$ , slope:  $0.3759$ ,  $y=1.7020+0.3759 \cdot x$ ; P5/SN/ML:  $p=0.135$ , slope:  $0.4439$ ,  $y=1.7760+0.4439 \cdot x$ ). By contrast, on pharynx levels P2 and P3, the change in pharyngeal depth was inversely proportional to the increases in sagittal and vertical parameters. Thus the depth of the pharynx on level P2 decreases when the mandibular forward displacement increases (P2/SN-Pog:  $p=0.173$ , slope:  $-0.6259$ ,  $y=1.9348-0.6259 \cdot x$ ). Pharyngeal depth on level P3 is similarly reduced as the posterior facial height increases (P3/S-Go:  $p=0.090$ , slope:  $-0.4936$ ,  $y=3.5013-0.4936 \cdot x$ ).

## Discussion

### Methods

In this study, we took measurements in patients who were still growing. All our results must be regarded as the summation of natural growth processes and therapeutically-induced effects—thus the changes in distances and angles are combined effects. To isolate the net effects of therapy, a control group would have been necessary to document changes due to growth, and those effects would have to be subtracted from the overall effects. The issue of a control group for studies with still-growing patients has been discussed in principle, although the pattern of growth must also be born in mind. Although Buschang et al. [6, 7] and Bishara et al. [2] found slight differences between eugnathic volunteers and patients with Class II malocclusions, Björk [3] and Björk and Skieller [4, 5] assume that eugnathic and dysgnathic individuals have different growth patterns. All patients in the present study exhibited a Class II malocclusion. It would therefore be possible in principle to use a historic Class II group for comparison to determine the isolated effect of treatment. There is, however, no historical growth study involving untreated Class II patients available—particularly one with all the PAS's soft tissue measurements relevant to this study. Thus we could not refer to a comparable growth study.

### Lateral cephalometric analysis and alternative procedures

A lateral cephalogram of the skull—a static, momentary image of the patient in a conscious state of wakefulness with the head held in an upright position—can be used to evaluate skeletal and soft-tissue structures. Lateral cephalograms are primarily used for diagnosis and follow-ups during orthodontic treatment. The cephalograms evaluated in this study were all taken of ambulant, awake patients, thus no comparison is possible with sleeping patients who keep changing position. Oropharyngeal interrelationships and the tongue's position change when the patient stands up. On the other hand, craniofacial

Steigung:  $-1,0001$ ,  $y=0,8858-1,0001 \cdot x$ ; P4/SNB:  $p=0,043$ , Steigung:  $-0,9248$ ,  $y=0,7939-0,9248 \cdot x$ ) ab.

Bei den Herbst-Patienten werden signifikante Zusammenhänge auf den Ebenen P1, P2, P3 und P5 deutlich (Für Abbildung 21–29 siehe online Version). Auf den Pharynxebenen P1, P2 und P5 bestehen proportionale Zusammenhänge zwischen der Zunahme verschiedener vertikaler Parameter und der Zunahme der Pharynxtiefe (P1/N-Me:  $p=0,009$ , Steigung:  $0,3181$ ,  $y=-1,3072+0,3181 \cdot x$ ; P1/SN/ME:  $p=0,017$ , Steigung:  $0,5924$ ,  $y=1,0579+0,5924 \cdot x$ ; P1/PE/ME:  $p=0,126$ ; Steigung:  $0,3799$ ,  $y=1,0407+0,3799 \cdot x$ ; P1/Summenwinkel:  $p=0,054$ , Steigung:  $0,4763$ ,  $y=0,8582+0,4763 \cdot x$ ; P2/SN/ME:  $p=0,128$ , Steigung:  $0,4636$ ,  $y=1,4130+0,4635 \cdot x$ ; P5/Ar-Go-Me:  $p=0,062$ , Steigung:  $0,3759$ ,  $y=1,7020+0,3759 \cdot x$ ; P5/SN/ME:  $p=0,135$ , Steigung:  $0,4439$ ,  $y=1,7760+0,4439 \cdot x$ ). Auf den Pharynxebenen P2 und P3 hingegen verhält sich die Veränderung der Pharynxtiefe antiproportional zu Wertzunahmen sagittaler und vertikaler Parameter: So nimmt die Tiefe des Pharynx auf der Ebene P2 mit Zunahme der Unterkieferverlagerung (P2/SN-Pog:  $p=0,173$ , Steigung:  $-0,6259$ ,  $y=1,9348-0,6259 \cdot x$ ) und auf der Ebene P3 mit Zunahme der hinteren Gesichtshöhe (P3/S-Go:  $p=0,090$ , Steigung:  $-0,4936$ ,  $y=3,5013-0,4936 \cdot x$ ) ab.

## Diskussion

### Methode der Arbeit

In der vorliegenden Studie wurden Messungen an einem sich im Wachstum befindenden Patientenkollektiv vorgenommen. Alle Messergebnisse müssen demnach als Summationseffekte von natürlich ablaufenden Wachstumsprozessen und therapeutisch induzierten Effekten gewertet werden, sodass die erzielten Strecken- und Winkerveränderungen Bruttowerte darstellen. Zum Erhalt von Nettotherapieeffekten müssten mittels einer Kontrollgruppe die wachstumsbedingten Veränderungen registriert und anschließend vom Gesamteffekt abgezogen werden. Grundsätzlich wird die Thematik einer Kontrollgruppe bei Studien mit im Wachstum befindlichen Probanden in der Literatur diskutiert, wobei auch das Wachstumsmuster beachtet werden muss. Buschang et al. [6, 7] sowie Bishara et al. [2] konnten zwar nur geringe Unterschiede zwischen eugnathen Probanden und Patienten mit Klasse-II-Anomalien beschreiben, Studien von Björk [3] sowie Björk und Skieller [4, 5] gehen allerdings von differierenden Wachstumsmustern zwischen eugnathen und dysgnathen Individuen aus. In der vorliegenden Studie wiesen alle Probanden eine Klasse-II-Anomalie auf; folglich wäre eine historische Klasse-II-Vergleichsgruppe eine Möglichkeit, die Nettoeffekte der Behandlungsabläufe zu bestimmen. Aufgrund der Tatsache, dass bislang keine historische Wachstumsstudie an Probanden mit unbehandelter Klasse-II-Anomalie zur Verfügung steht, die zudem alle für diese Studie relevanten Weichteilmessungen des PAS beinhaltet, konnte in der vorliegenden Studie auf keine vergleichende Wachstumsstudie zurückgegriffen werden.

**Table 6.** Sagittal-skeletal angle changes between maxilla and mandible**Tabelle 6.** Sagittal-skelettale Winkelveränderungen zwischen Maxilla und Mandibula

Measurements	FMA	FMA	FMA	FMA	Herbst	Herbst	Herbst	Herbst	p-Value
	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	
Cephalogram	T1	T2	T2-T1	p-Value	T1	T2	T2-T1	p-Value	p-Value
	MW + SD	MW + SD	MW + SD	intra	MW + SD	MW + SD	MW + SD	intra	
<b>Sagittal-skeletal parameter (degrees)</b>									
ANB	5.54	4.57	-0.98	p=0.0064*	4.71	4.42	-0.30	p=0.6219	p=0.3682
	±	±	±		±	±	±		
	3.25	2.98	1.34		2.67	3.06	2.96		

\*Statistically significant p-value. MW arithmetic means, SD standard deviation.

\*Statistisch signifikanter p-Wert. MW Mittelwert, SD Standardabweichung.

anomalies of the skeletal structures do not depend on position and can be documented by analyzing lateral cephalograms. Obviously, lateral cephalograms only permit the two-dimensional evaluation of an object with three dimensions [21]. As structures in the midsagittal plane can yield good images, but the transversal dimension is not recordable, there is an automatic lack of information concerning the width of the PAS. The fact that its depth can be documented but not its breath and volume limits the reliability of conclusions about PAS changes based on lateral cephalometric analysis.

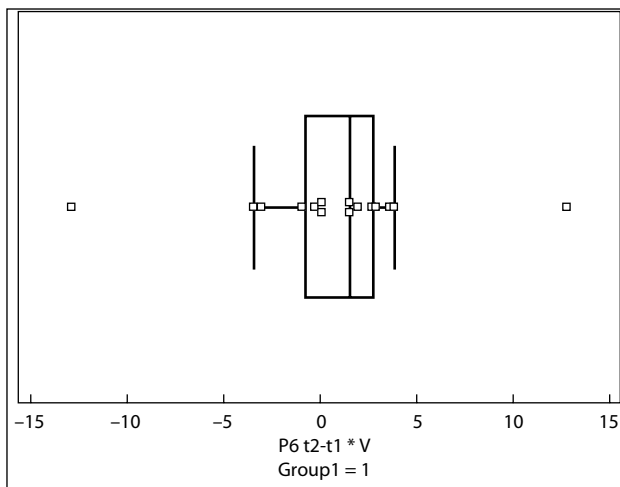
We therefore refrained from calculating the PAS area in this study, as it cannot be imaged, even though others have in fact calculated the volume ([8, 10] among others). On the other hand, Rose et al. [21], Hochban [14] and Fransson et al. [10] simply calculated PAS depth. All three authors recorded the PAS on different levels in the sagittal plane, but with one specific difference: Hochban [14] and Rose et al. [21] determined its extension on the level of the occlusal plane from the posterior pharyngeal wall up to the uvula, while Fransson et al. [10] chose the root of the tongue as the anterior limit of the pharynx, revealing a tendency to yield higher values for the PAS depth on the occlusal-plane level. Although the uvula projects into the PAS, its transverse size in situ is smaller, thus the measurements by Rose et al. [21] and Hochban [14] are too low on the occlusal-plane level. It is usually easy to define the root of the tongue and posterior pharyngeal wall by using the prevertebral fascia. On the other hand, there are methodological problems in identifying soft-tissue landmarks, particularly on the velum (with its greater mobility and variability, which can lead to distortions). For this reason we used Fransson et al.'s [10] approach to measure PAS depth in this investigation.

Some authors have criticized the use of lateral cephalograms in the diagnosis and therapeutic monitoring of the PAS. As the pharynx possesses an oval, non-rigid cross-section, two-dimensional images are thought to provide an inadequate or incomplete record of PAS volume. Even though linear distances can be measured from a two-dimensional lateral cephalogram, they do

### Fernröntgenseitenanalyse und alternative Verfahren

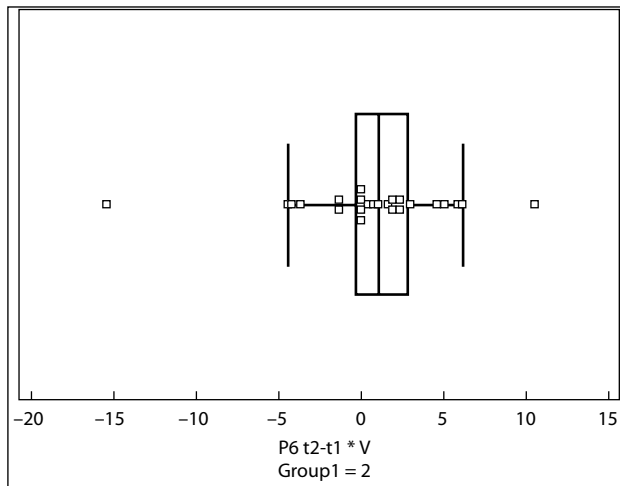
Anhand von lateralen Röntgenaufnahmen des Schädels können sowohl Skelett- als auch Weichteilstrukturen des Patienten beurteilt werden, wobei es sich bei der Auswertungsmethode des FRS um eine statistische Momentaufnahme bei aufrechter Kopfhaltung und im wachen Zustand des Patienten handelt. Es dient primär zur Diagnostik und Therapieverlaufskontrolle im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung. Auch die im Rahmen der vorliegenden Studie ausgewerteten FRS wurden ausnahmslos bei wachen, stehenden Individuen erstellt, sodass keine Parallele zu schlafenden Patienten mit wechselnden Schlafpositionen gezogen werden kann. Die oropharyngealen Verhältnisse und die Lage der Zunge ändern sich durch den Wechsel von der liegenden in die aufrechte Position. Allerdings sind kraniofaziale Anomalien der skelettalen Strukturen nicht lageabhängig und mit der FRS-Analyse erfassbar. Zu beachten ist hierbei, dass das FRS nur eine zweidimensionale Auswertung des dreidimensionalen Objekts zulässt [21]. Durch die Problematik, dass Strukturen in der Mediansagittalebene gut darstellbar sind, die transversale Dimension allerdings nicht erfasst werden kann, kommt es automatisch zu einem Informationsverlust, der die Breite des extrathorakalen Luftwegs betrifft. Dadurch, dass der PAS nur in der Tiefe erfasst werden kann und nicht in der Breiten- und Volumenausdehnung, ist die Aussagekraft des FRS über Veränderungen des extrathorakalen Luftwegs eingeschränkt.

In der vorliegenden Studie wurde aufgrund der mangelnden Darstellbarkeit auf eine Flächenberechnung des PAS verzichtet, obwohl in einigen anderen Studien eine Volumenberechnung durchaus erfolgte ([8, 10] u. a.). Eine reine Tiefenbestimmung des PAS dagegen gab es auch schon in den Studien von Rose et al. [21], Hochban [14] und Fransson et al. [10]. Dabei wurde der pharyngeale Luftraum von allen 3 Autoren auf verschiedenen Ebenen in der Sagittalen mit einer Besonderheit erfasst: Hochban [14] und Rose et al. [21] bestimmten die Ausdehnung des PAS auf Höhe der Okklusionsebene von der Rachenhinterwand bis zur Uvula, Fransson et al. [10] hingegen wählten den Zungen-



**Figure 12.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P6, FMA patients

**Abbildung 12.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P6 bei den FMA-Patienten



**Figure 13.** Distribution of effects on pharyngeal distance level P6, Herbst patients

**Abbildung 13.** Verteilung der Effekte auf die Pharynxstrecke der Ebene P6 bei den Herbst-Patienten

not provide the information needed for a detailed description of pharyngeal constrictions. Battagel et al. [1] even claimed that lateral cephalograms provide no information on PAS.

Three-dimensional (3D) images are needed to provide a better image of the entire pharyngeal respiratory tract and to document all passages more precisely. 3D measurements provided by magnetic resonance tomography (MRT), computed tomography (CT) and cone-beam computed tomography (CBCT) enable more detailed analysis of the relationships between the upper respiratory tract and surrounding tissues [12, 20]. Although our ability to make conclusions based on lateral cephalometric parameters is strictly limited, morphological obstructions in the PAS can be reliably detected by procedures with 3D endoscopy

grund als vordere Pharynxbegrenzung. Sie erhielten dadurch tendenziell eine größere Tiefenausdehnung des extrathorakalen Luftraums auf Höhe der Okklusionsebene. Da sich die Uvula zwar in den PAS projiziert, aber in situ eine geringere transversale Ausdehnung hat, fallen die ermittelten Werte in den Studien von Rose et al. [21] und Hochban [14] auf Höhe der Okklusionsebene zu gering aus. Der Zungengrund ist, ebenso wie die Rachenhinterwand, durch die Fascia praevertebralis meist klar definierbar. Methodische Probleme bei der Bestimmung der Weichteilpunkte, insbesondere des Velums, sorgen dagegen wegen der größeren Mobilität und Variabilität eher für Verzerrungen. Aufgrund dieser Tatsache erfolgte in der vorliegenden Studie die PAS-Tiefenvermessung nach Fransson et al. [10].

Die Wertigkeit von FRS-Analysen hinsichtlich der Diagnostik und Therapieverlaufskontrolle des PAS wird in der Literatur eher kritisch beurteilt. Aufgrund der Tatsache, dass der Pharynx einen ovalen, nichtstarken Querschnitt besitzt, sind zweidimensionale Aufnahmen nicht ausreichend, um das Volumen des extrathorakalen Luftwegs vollständig zu erfassen. Zwar können lineare Streckenmessungen anhand eines zweidimensionalen FRS gewonnen werden, diese liefern aber nicht die Informationen, die für eine detaillierte Bestimmung der pharyngealen Engstellen nötig sind. Battagel et al. [1] sind sogar der Ansicht, dass die zweidimensionalen FRS-Bilder es nicht erlauben, einen Beitrag zum PAS zu liefern.

Um den gesamten Umfang des pharyngealen Luftwegs besser erfassen zu können, sind dreidimensionale Aufnahmen zur näheren Erfassung aller Passagen von Nöten. Die dreidimensionale Messung durch Magnetresonanztomographie (MRT), Computertomographie (CT) oder digitale Volumentechnologie [DVT, engl. „cone beam computed tomography“ (CBCT)] liefert vergleichsweise eine detailliertere Analyse der Beziehungen zwischen dem oberen Luftweg und den umgebenden Geweben [12, 20]. Während aus den pharyngealen kephalometrischen Parametern nur sehr begrenzt Rückschlüsse gezogen werden können, sind morphologisch bedingte Obstruktionen im Bereich des extrathorakalen Luftwegs verlässlich über dreidimensional-endoskopische oder über radiologische Schichtverfahren wie DVT, CT oder MRT detektierbar [15, 21]. Die digitale dreidimensionale Bildgebung ist längst auch im Bereich der Kieferorthopädie von signifikanter Bedeutung und wird ohne Zweifel die Zukunft der Diagnostik entscheidend mitprägen. Hinsichtlich des Einsatzes muss in jedem Fall die Strahlen-, Zeit- und Kostenbelastung für den Arzt und Patienten im Verhältnis zum tatsächlichen Nutzen berücksichtigt werden.

### Klinische Relevanz

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, unter Beachtung der vergleichenden Wachstumsgruppenproblematik vorbehaltlich diskutiert, Effekte der festsitzenden Behandlungsapparaturen bei der Maxilla in der Vertikalen und bei der Mandibula sowohl in der Vertikalen als auch in der Sagittalen. Die sagittalskelettale Veränderung zwischen den Kieferbasen basiert in beiden Gruppen auf einer Ventralentwicklung der Mandibula, die vom Ausmaß her jedoch nur in der FMA-Gruppe statis-



**Table 7.** Effect on pharyngeal distances**Tabelle 7.** Wirkung auf Pharynxstrecken

Measurements	FMA	FMA	FMA	FMA	Herbst	Herbst	Herbst	Herbst	p-Value	p-Value
	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group	Group		
Cephalogram	T1	T2	T2-T1	p-Value	T1	T2	T2-T1	p-Value	Intra	Inter
	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra	MW + SD	MW + SD	MW + SD	Intra		
<b>Distances (mm)</b>										
P1:	25.27	24.80	-0.47	p=0.4825	26.32	26.83	0.51	p=0.4257	p=0.2958	
pP-aP on PP	±	±	±		±	±	±			
	3.29	3.65	2.80		4.22	3.51	3.12			
P2:	21.73	20.88	-0.85	p=0.1751	22.25	23.23	0.98	p=0.1958	p=0.0766	
pP-aP on OL	±	±	±		±	±	±			
	2.94	2.98	2.56		3.74	3.75	3.69			
P3:	13.00	12.68	-0.32	p=0.6789	13.03	13.94	0.91	p=0.4181	p=0.4025	
pP-aP on PC2	±	±	±		±	±	±			
	4.53	3.30	3.25		3.99	3.78	5.49			
P4:	13.27	12.86	-0.40	p=0.5155	13.69	14.07	0.38	p=0.6895	p=0.5259	
pP-aP on ML	±	±	±		±	±	±			
	3.07	2.47	2.58		3.77	3.34	4.70			
P5:	14.07	14.70	0.63	p=0.4236	12.93	14.29	1.36	p=0.0705	p=0.5008	
pP-aP on PC3	±	±	±		±	±	±			
	4.78	4.92	3.28		5.84	5.16	3.60			
P6:	14.43	16.28	1.85	p=0.6506	15.00	15.81	0.81	p=0.4065	p=0.9161	
pP-aP on PC4	±	±	±		±	±	±			
	6.62	5.29	5.32		8.57	8.13	4.78			

MW arithmetic means, pP posterior pharyngeal wall, aP anterior pharyngeal wall, SD standard deviation.

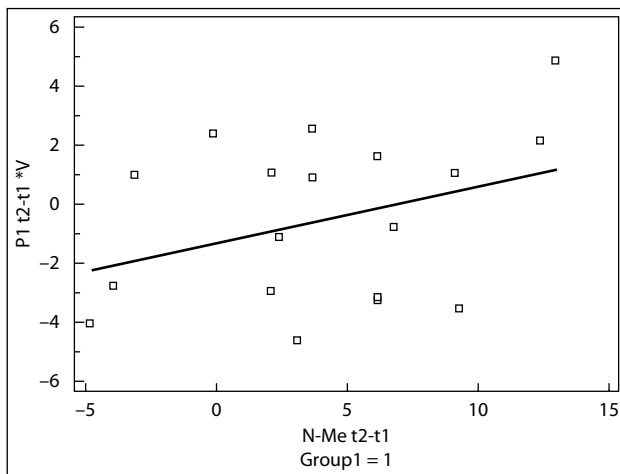
MW Mittelwert, pP Rachenhinterwand, aP Rachenvorderwand, SD Standardabweichung.

or cross-sectional radiography such as CBCT, CT and MRT [15, 21]. Digital 3D imaging has long played an important role in orthodontics and will certainly continue to make major contributions to developments in diagnosis. On the other hand, it should only be used when doctors and patients are convinced that its advantages outweigh its disadvantages, i.e. radiation exposure, time and costs.

### Clinical relevance

Bearing in mind the reservations about potential differences in growth between our cohorts, these results demonstrate effects of fixed treatment appliances on the maxilla on the vertical plane and on the mandible on both the vertical and sagittal planes. Both groups demonstrated that sagittal-skeletal change in the intermaxillary jaw relationship is due to forward development of the mandible, although this was only statistically significant in the FMA group. We should nevertheless assume that the distal bite correction in both cohorts was largely due

tisch signifikant ist. Trotzdem ist davon auszugehen, dass die Korrektur der Distalbißlagen in beiden Gruppen überwiegend als dentoalveoläre Kompensation der skelettalen Dysgnathie erfolgte. Denn in klinischen Studien wurde nachgewiesen, dass mit zunehmendem Alter der Patienten der skelettale Anteil an der Bißlagetherapie stetig abnimmt und dentale Effekte (im Oberkiefer die Distalisation und im Unterkiefer die Mesialisation der Dentition) überwiegen [11, 16, 17, 23]. Das könnte kausal dafür sein, dass die Ergebnisse dieser Studie große interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der unter der Behandlung stattfindenden morphologischen Tiefenveränderungen der 6 definierten Strecken des extrathorakalen Luft-raums verdeutlichen – und zwar sowohl bei Patienten der FMA-Gruppe als auch in der Herbst-Gruppe. Diese interindividuellen Unterschiede sind kausal dafür, dass innerhalb der Gruppen die Veränderungen der Pharynx-tiefen auf dem 5%-Niveau als statistisch nicht signifikant gewertet wurden, wenngleich in Einzelfällen deutliche Veränderungen der Tie-



**Figure 14.** Graphs of the fitted lines for sagittal effects (forward displacement of the lower jaw) and vertical effects on pharyngeal width on levels P1–P5 in the FMA cohort (Group 1 = 1). Pharyngeal width on level P1, N-Me (vertical parameter),  $p=0.150$ , slope:  $0.1930$ ,  $y=-1.2710+0.1930 \cdot x$

**Abbildung 14.** Graphische Darstellung der Ausgleichsgeraden von sagittalen Effekten (Unterkieferverlagerung) und vertikalen Effekten zur Pharynxtiefe auf den Ebenen P1 bis P5 in der FMA-Gruppe (Gruppe 1=1). Pharynxtiefe auf Ebene P1, N-Me (vertikaler Parameter),  $p=0,150$ , Steigung:  $0,1930$ ,  $y=-1,2710+0,1930 \cdot x$

to dentoalveolar compensation for the skeletal discrepancy, as clinical studies have shown that the skeletal contribution in Class II therapy decreases gradually as the patient ages, and that dental effects become dominant—in other words, the upper dentition is distalized and the lower dentition mesialized [11, 16, 17, 23]. This may be the reason for the large inter-individual differences in morphological changes in depth in the six defined distances in the PAS during treatment—in both cohorts. These inter-individual differences meant that the intra-group changes in pharyngeal depths did not reach significance at the 5% level, although there were pronounced individual changes in PAS width. This finding has also been made in individual case reports [18].

According to Rose et al. [22], the decision to treat a patient with an intraoral protrusion appliance is also influenced by the patient's growth pattern. Thus, if the patient's craniofacial morphology has a fairly horizontal configuration, successful therapy is more likely. Intraoral protrusion appliances function by repositioning the mandible forward while causing a vertical opening. Clinical experience shows that major forward displacement of the lower jaw in conjunction with slight vertical opening is better tolerated by patients with a horizontal craniofacial pattern than by patients with a vertical pattern. In the latter patients, major forward displacement of the mandible can easily lead to hyperextension of the affected soft tissues. These patients are more apt to tolerate a larger vertical opening with less protrusion of the mandible, although the enlarged opening can lead to backward rotation of the mandible, resulting in mechanical constriction of the PAS.

fenausdehnung des extrathorakalen Luftraums stattfanden. Dies zeigten auch einzelne Fallstudien [18].

Als Indikationsentscheidung für die Behandlung mit einem intraoralen Protrusionsgerät gilt nach Rose et al. [22] auch das Wachstumsmuster des Patienten. So kann ein eher horizontaler Gesichtsschädelaufbau als prognostisch günstig für einen Therapieerfolg angesehen werden. Die Wirkungsweise der intraoralen Protrusionsgeräte beruht auf der Unterkieferverlagerung in Kombination mit gleichzeitiger vertikaler Sperrung. Die klinische Erfahrung zeigt, dass eine umfangreiche Vorverlagerung des Unterkiefers mit geringfügiger vertikaler Öffnung von Patienten mit einem horizontalen Gesichtsschädelaufbau besser toleriert wird als von Patienten mit einer vertikalen Gesichtsschädelmorphologie, bei denen ein größerer Unterkiefervorschub leicht zu einer Überdehnung der betroffenen Weichgewebe führt. Diese Patienten tolerieren eine größere vertikale Sperrung mit einer geringen Protrusion der Mandibula eher, wobei allerdings die vergrößerte Öffnung zu einer Dorsalrotation der Mandibula führt und damit eine mechanische Einengung des pharyngealen Luftraums resultiert.

In diesem Zusammenhang von Interesse sind die Ergebnisse der Regressionsanalyse aus der vorliegenden Studie, die zeigen, dass Veränderungen der sagittalen und vertikalen Relationen unterschiedliche Effekte auf bestimmte Strecken des PAS in der Tiefenausdehnung haben können. Die beiden Behandlungsgruppen zeigen dabei einheitliche Tendenzen: Bei Zunahmen der vorderen Gesichtshöhe besteht ein proportionaler Zusammenhang zu Tiefenzunahmen des PAS insbesondere im oberen Bereich. Bei Zunahmen der hinteren Gesichtshöhe sowie bei der Unterkieferverlagerung besteht hingegen ein antiproportionaler Zusammenhang: Hier kommt es zu Tiefenabnahmen insbesondere in mittleren und unteren PAS-Bereichen. Inwieweit diese Effekte abhängig sind vom individuellen Wachstumsmuster der Patienten, müssen zukünftige Studien mit größeren Patientenkollektiven zeigen.

Die Aussagekraft der in der vorliegenden Studie gewonnenen Ergebnisse über die Therapieeffekte festsitzender Apparaturen zur Korrektur von Angle-Klasse-II-Anomalien auf den pharyngealen Luftraum ist jedoch insbesondere aufgrund der eingeschränkten Aussagekraft von FRS-Analysen nur als limitiert zu bezeichnen. Zukünftige, prospektive klinische Studien erfordern zwangsläufig ein detailliertes, dreidimensionales Messverfahren und eine begleitende HNO-ärztliche Beteiligung mit endoskopischer Verlaufskontrolle und polygraphischer Untersuchung, da auch dreidimensionale Messungen nicht alle Parameter für die Diagnostik der obstruktiven Schlafapnoe abdecken. Anhand der kumulativ gewonnenen Daten lassen sich die tatsächliche Wirksamkeit festsitzender Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse-II-Anomalie und deren Auswirkungen auf den extrathorakalen Luftraum realistischer beurteilen als dies durch die alleinige kephalometrische Analyse möglich ist.

In this context, our regression analysis results are interesting, as they show that changes in the sagittal and vertical positions have different effects on specific distances in the PAS, indicating changes in depth. Our two cohorts show consistent trends. When the anterior facial height increases, there is a proportionate increase in the depth of the PAS, particularly in the upper area. On the other hand, when the posterior facial height increases or when the lower jaw is advanced, there is an inverse relationship. There is a decrease in depth, particularly in the central and lower PAS regions. Future studies with larger cohorts are needed to establish the extent to which these effects depend on the patient's individual growth pattern.

Nevertheless, due to the use of lateral cephalograms, there must be reservations about the reliability of our results on the therapeutic efficacy of fixed appliances for Class II correction in the pharyngeal airway. Future prospective studies will inevitably have to use a 3D measurement method. The investigators should be supported by an otolaryngologist, with endoscopic follow-up and a polygraphic examination, as even 3D measurements do not cover all parameters for diagnosing OSA. Cumulative data will make it easier to evaluate more realistically the actual efficacy of fixed appliances for correcting Angle Class II, as well as their effects on the PAS, than can cephalometric analysis alone.

## Conclusion

Our results of an analysis of lateral cephalograms indicate that a change in the sagittal and vertical relationships may have different effects on specific differences in the PAS. There is no difference between the FMA and Herbst appliances with respect to their effects on PAS depth. This analysis does not suggest that treatment with fixed appliances for the correction of Angle Class II can help to prevent sleep apnea, as our results on the dimensions of the PAS are not absolutely reliable. While the lateral cephalogram is a standard procedure in orthodontics, it is not entirely appropriate for determining therapeutic changes in the PAS. As the lateral cephalogram provides good images of structures in the midsagittal plane, but is incapable of recording the transverse dimension, there is an automatic lack of information about the precise width and volume of the extrathoracic airways.

## Conflict of interest

The corresponding author states that there is no conflict of interest.

*This article contains additional figures. This supplemental is available under [dx.doi.org/10.1007/s00056-011-0035-2](https://doi.org/10.1007/s00056-011-0035-2)*

## Schlussfolgerung

Ausgehend von den Ergebnissen der FRS-Auswertung kann eine Veränderung der sagittalen und vertikalen Relationen unterschiedliche Effekte auf bestimmte Strecken des PAS haben. Hinsichtlich der Effekte auf die Tiefe des extrathorakalen Luftraums unterscheiden sich die Behandlungsapparaturen FMA und Herbst-Geschiebe nicht. Anhand von FRS-Analysen kann eine Behandlung mit festsitzenden Apparaturen zur Korrektur der Angle-Klasse II jedoch nicht als präventiv bei potenziellen Schlafapnoepatienten gewertet werden. Denn die Aussagekraft der in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse über die Ausdehnung des pharyngealen Luftraums ist nicht absolut. Das FRS hat als Standardaufnahme der Kieferorthopädie keine umfassende diagnostische Relevanz bezüglich therapeutischer Veränderungen des PAS. Da das FRS Strukturen in der Mediansagittalebene gut darzustellen vermag, die transversale Dimension allerdings nicht erfasst werden kann, kommt es automatisch zu einem Informationsverlust, der die Breiten- und Volumenausdehnung des extrathorakalen Luftwegs betrifft.

## Interessenkonflikt

Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

*Dieser Beitrag enthält zusätzliche Abbildungen. Dieses Supplemental finden Sie unter [dx.doi.org/10.1007/s00056-011-0035-2](https://doi.org/10.1007/s00056-011-0035-2)*

## References

1. Battagel J, Johal A, Kotecha B (2000) A cephalometric comparison of subjects with snoring and obstructive sleep apnea. *Eur J Orthod* 22:353–365
2. Bishara SE, Jakobsen JR, Vorhies B et al (1997) Changes in dentofacial structures in untreated Class II division 1 and normal subjects: a longitudinal study. *Angle Orthod* 67:55–56
3. Björk A (1963) Variations in the growth of the human mandible: longitudinal radiographic study by the implant method. *J Dent Res [Suppl]*42:400–411
4. Björk A, Skieller V (1972) Facial development and tooth eruption. An implant study at the age of puberty. *Am J Orthod* 62:339–383
5. Björk A, Skieller V (1983) Normal and abnormal growth in the mandible. A synthesis of longitudinal cephalometric implant studies over a period of 25 years. *Eur J Orthod* 5:1–46
6. Buschang PH, Tanguay R, Turkewicz J et al (1986) Polynomial approach to craniofacial growth: description and comparison of adolescent males with normal occlusion and those with untreated Class II malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 90:437–442
7. Buschang PH, Tanguay R, Demirjian A et al (1988) Mathematical models of longitudinal mandibular growth for children with normal and untreated Class II, division 1 malocclusion. *Eur J Orthod* 10:227–234
8. Cooke ME, Battagel JM (2006) A thermoplastic mandibular advancement device for the management of non-apnoeic snoring: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod* 28:327–338
9. Dahlberg G (1940) Statistical methods for medical and biological students. Interscience Publications, New York
10. Fransson AMC, Tegelberg A, Svenson BAH et al (2000) Influence of mandibular protruding device on airway passages and dentofacial characteristics in obstructive sleep apnea and snoring. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 122:371–379
11. Frye L, Diedrich PR, Kinzinger GSM (2009) Class II treatment with fixed functional orthodontic appliances before and after the pubertal growth peak—a cephalometric study to evaluate differential therapeutic effects. *J Orofac Orthop* 70:511–527
12. Grauer D, Cevidanes LSH, Styner MA et al (2009) Pharyngeal airway volume and shape from cone-beam computed tomography: relationship to facial morphology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:805–814
13. Hilgers RD, Bauer P, Scheiber V (2002) Einführung in die medizinische Statistik. Springer, Berlin Heidelberg New York
14. Hochban W (1995) Das obstruktive Schlafapnoesyndrom. Diagnostik und Therapie unter besonderer Berücksichtigung kraniofazialer Anomalien 1. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin Wien
15. Iwasaki T, Hayasaki H, Takemoto Y et al (2009) Oropharyngeal airway in children with Class III malocclusion evaluated by cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:318–319
16. Kinzinger G, Diedrich P (2005) Skeletal effects in Class II treatment with the Functional Mandibular Advancer (FMA)? *J Orofac Orthop* 66:469–490
17. Kinzinger G, Frye L, Diedrich P (2009) Class II treatment in adults: comparing camouflage orthodontics, dentofacial orthopedics and orthognathic surgery—a cephalometric study to evaluate various therapeutic effects. *J Orofac Orthop* 70:63–91
18. Kinzinger G, Czapka K, Ludwig B et al (2011) Treatment effects of fixed functional appliances during correction of Angle Class II, Div. 1 malocclusions on the depth of the extrathoracal airway—4 case reports. *Kieferorthop* 25:37–50
19. Kinzinger G, Czapka K, Ludwig B et al (2011) Bite jumping with the Herbst-appliance—short term and long term effects on the pharyngeal airway depth. *J Clin Orthod* (in press)
20. Lowe AA, Fleetham J, Adachi S et al (1995) Cephalometric and computed tomographic predictors of obstructive sleep apnea severity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107:589–595
21. Rose EC, Staats R, Lehner M et al (2002) Cephalometric analysis in patients with obstructive sleep apnea. Part I: Diagnostic value. *J Orofac Orthop* 63:143–153
22. Rose EC, Germann M, Sorichter S et al (2004) Case control study in the treatment of obstructive sleep-disordered breathing with a mandibular protrusive appliance. *J Orofac Orthop* 65:489–500
23. Ruf S, Pancherz H (1999) Dentoskeletal effects and facial profile changes in young adults treated with the Herbst appliance. *Angle Orthod* 69:239–246
24. Schönhofer B, Hochban W, Siemon K et al (1998) Effektivität einer den Unterkiefer vorverlagernden Protrusionsschiene bei der obstruktiven Schlafapnoe. *Somnologie* 2:123–128

## Correspondence Address

Prof. Dr. Gero Kinzinger  
 Department of Orthodontics  
 University of Saarland  
 Kirrberger Straße 100  
 66424 Homburg/Saar  
 Germany  
 e-mail: kinzinger@kfo-homburg.de