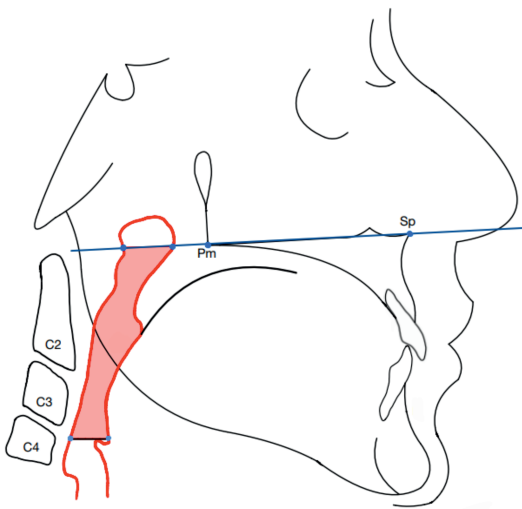

Veränderungen des pharyngealen Luftweges
während und nach Klasse II:1-Therapie
mittels Herbst-Multibracket-Apparatur



INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei dem Autor dieses Werkes.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2026

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publisher.

1st Edition 2026

© 2026 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, 35396 GIESSEN, GERMANY
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

**Veränderungen des pharyngealen Luftweges
während und nach Klasse II:1-Therapie
mittels Herbst-Multibracket-Apparatur**

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Gianluca Sonntag

aus Langen

Gießen 2024

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Poliklinik für Kieferorthopädie

Gutachter: Prof. Dr. Niko Christian Bock

Gutachter: Prof. Dr. Christoph Arens

Tag der Disputation: 03.12.2025

*In Liebe und Dankbarkeit
meinen Eltern und Großeltern gewidmet.*

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	- 1 -
1.1	Posterior Airway Space	- 1 -
1.2	Angle Klasse II:1 – Ätiologie.....	- 2 -
1.3	Angle Klasse II:1 – Therapie	- 4 -
1.4	Herbst-Apparatur.....	- 5 -
1.5	Therapeutische Beeinflussung des pharyngealen Luftweges.....	- 6 -
2	Ziel	- 12 -
3	Patienten und Methode.....	- 13 -
3.1	Patienten	- 13 -
3.2	Methode	- 15 -
3.2.1	Auswertung der Röntgenbilder.....	- 21 -
3.3	Statistische Methoden	- 26 -
4	Ergebnisse	- 28 -
4.1	Hauptzielparameter	- 29 -
4.1.1	Fläche A(PAS).....	- 29 -
4.1.2	Strecke p	- 34 -
4.1.3	Strecke t	- 38 -
4.1.4	Strecke pC2.....	- 42 -
4.1.6	Strecke pC4.....	- 51 -
4.2	Nebenzielparameter	- 56 -
4.2.1	Overjet.....	- 56 -
4.2.2	Wits appraisal	- 58 -
4.2.3	ANB-Winkel	- 61 -
4.2.4	ML/NSL-Winkel	- 63 -
4.2.5	ArGo'Gn-Winkel	- 66 -
5	Diskussion.....	- 69 -
5.1	Diskussion der Methoden	- 69 -
5.1.1	Patientenkollektiv	- 69 -
5.1.2	Methode	- 70 -
5.2	Diskussion der Ergebnisse.....	- 74 -
5.3	Klinische Relevanz und Schlussfolgerung	- 79 -
6	Zusammenfassung	- 80 -
7	Summary.....	- 81 -
8	Darstellungsverzeichnis	- 82 -
8.1	Abbildungsverzeichnis.....	- 82 -
8.2	Tabellenverzeichnis.....	- 85 -

9 Literaturverzeichnis.....	- 87 -
10 Publikationsverzeichnis.....	- 95 -
11 Anhang.....	- 96 -
11.1 Tabellen.....	- 96 -
11.2 Votum der Ethik-Kommission	- 99 -
11.3 Ehrenwörtliche Erklärung	- 101 -
12 Danksagung.....	- 102 -
13 Lebenslauf	- 103 -

1 EINLEITUNG

1.1 Posterior Airway Space

Der Posterior Airway Space (PAS) ist ein Teil des extrathorakalen Luftraumes und liegt zwischen der Rachenhinterwand und dem Zungengrund bzw. dem Gaumensegel.²⁶ Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe (OSA) weisen oftmals einen verminderten PAS auf.^{8,9,67,69} Die Prävalenz der OSA beträgt circa 2-7%, wobei Männer häufiger betroffen sind als Frauen.^{17,83,86}

Bei Patienten, die an einer OSA leiden, kommt es während des Schlafens zu einer Verringerung oder sogar zu einem kompletten Aussetzen der Atmung durch eine Verengung des Rachenraums. Dies führt zu einer arteriellen Sauerstoffuntersättigung. Zu den Symptomen der OSA zählen lautes Schnarchen, Tagesmüdigkeit und Antriebslosigkeit. Außerdem wird die Schlafapnoe mit Komorbiditäten wie vermindertem Konzentrationsvermögen, verminderten kognitiven Fähigkeiten, erhöhtem Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und erhöhter Mortalität in Zusammenhang gebracht.^{12,25,55,61,71,107}

Als prädisponierende Faktoren für die Ausbildung einer OSA gelten vergrößerte Tonsillen, eine verkleinerte Mandibula, ein vergrößertes Gaumensegel, eine atypische Zungenposition, Adipositas und Alkohol- beziehungsweise Nikotinkonsum.^{24,27,46,87,96,106,107} Zur Diagnostik wird in der Regel eine Polysomnographie, bei der über Nacht die Atmung, die Herzfrequenz und die Sauerstoffsättigung aufgezeichnet werden, durchgeführt. Kommt es im Schlaf mehrmals zu einer Atmungsunterbrechung von über 10 Sekunden, spricht man von einer Schlafapnoe.^{56,107}

Bei der Therapie wird primär ein kausaler Ansatz gewählt, so dass den Patienten zur Gewichtsreduktion und zur Einstellung von Nikotin- und Alkoholabusus geraten wird.^{6,19,35} Oftmals kommen sogenannte CPAP-Masken (CPAP = „continuous positive airway pressure“) zum Einsatz. Sie sorgen durch einen Überdruck dafür, dass die Atemwege während der Nacht offengehalten werden und die Atmung normalisiert wird.^{60,70,103} Als effektive Maßnahme zur Behandlung der OSA gilt außerdem eine chirurgische Vorverlagerung des Unterkiefers, welche zwangsläufig die Dimension des PAS erweitert.^{18,36,48} Dadurch wird sowohl die Schlafqualität verbessert, als auch die mit der Erkrankung vergesellschafteten Symptome verringert.^{18,32,36}

In diversen wissenschaftlichen Untersuchungen von Arbeitsgruppen aus dem Fachgebiet der Kieferorthopädie konnte bereits nachgewiesen werden, dass Patienten mit einer Angle-Klasse II wesentlich häufiger an einer obstruktiven Schlafapnoe leiden als Patienten mit einer Neutralbisslage.^{3,58,108} Dies lässt sich vor allem auf den in Relation zum Oberkiefer zu weit posterior gelegenen Unterkiefer zurückführen, der mit dem umliegenden Weichgewebe die Dimension der pharyngealen Atemwege vermindert.^{3,11,58}

1.2 Angle Klasse II:1 - Ätiologie

Bereits im Jahr 1907 beschrieb E. H. Angle die bis heute in der Kieferorthopädie gebräuchliche Angle-Klassifikation zur Bestimmung der Bisslage.^{5,94} Mit der Bisslage wird die sagittale Relation der ersten bleibenden Molaren nach Rekonstruktion etwaiger Einzelzahnfehlstellungen und -wanderungen zueinander dargestellt.⁹⁴ Die Angle-Klasse I wird als Neutralbisslage, die Angle-Klasse II als Distalbisslage und die Angle-Klasse III als Mesialbisslage bezeichnet.⁹⁴ Die Angle-Klasse II wird, im Gegensatz zu den anderen beiden Klassen, durch zwei Subtypen, die zusätzlich die Stellung der Frontzähne berücksichtigen, präzisiert. Hierbei beschreibt die Klasse II:1 eine Distalbisslage mit proklinierten Frontzähnen und die Klasse II:2 eine Distalbisslage mit retroklinierten Frontzähnen.^{5,94} Aufgrund der Proklination der Frontzähne weisen Patienten mit einer Angle-Klasse II:1 meist einen vergrößerten Overjet auf, welcher als Abstand der Labialflächen der Unterkiefer- und Oberkieferfrontzähne in der Sagittalebene definiert ist.

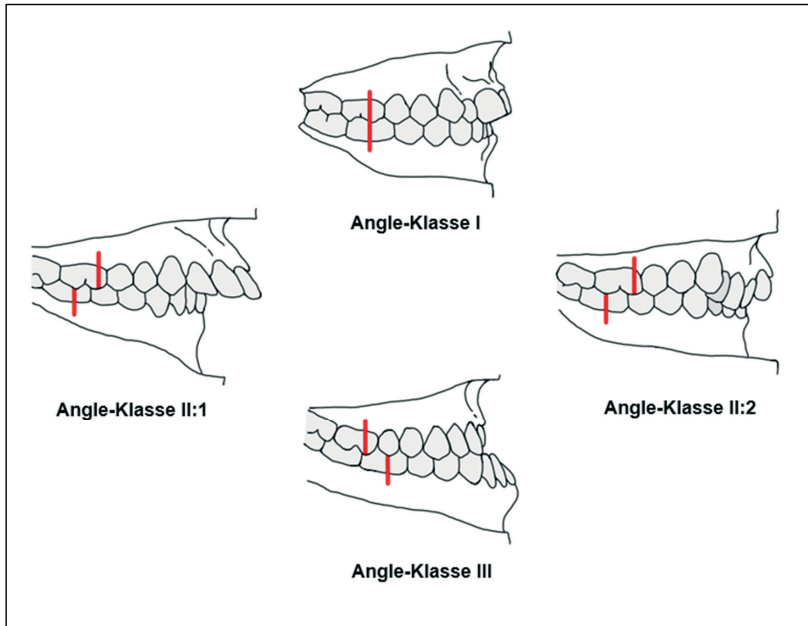


Abb. 1.1: Bisslagen nach Angle

Die Prävalenz der Angle-Klasse II liegt bei ca. 20%.^{1,22,59} Sie kann skelettal, dental oder kombiniert skelettal-dental bedingt sein.⁸¹ Bei den dentalen Typen der Angle-Klasse II:1 unterscheidet man die mandibuläre Retrusion und die maxilläre Protrusion. Hierbei sorgt entweder eine zu weit posterior gelegene Position der Unterkieferzähne oder eine zu weit anterior gelegene Position der Oberkieferzähne bei korrekter skelettaler Relation von Ober- zu Unterkiefer für eine Distalokklusion.

Die skelettalen Typen hingegen beschreiben eine inkorrekte Relation von Ober- bzw. Unterkiefer zur Schädelbasis. Man spricht von einer mandibulären Retrognathie, wenn der Unterkiefer zu weit posterior liegt. Bei einem zu weit anterior gelegenen Oberkiefer spricht man von einer maxillären Prognathie.^{80,93}

1.3 Angle Klasse II:1 – Therapie

Es gibt verschiedene Optionen für die Klasse II:1-Therapie, die vor allem von individuellen Charakteristika der Patienten abhängen. Entscheidend für die Therapieplanung sind vor allem die dentale Reife und das Wachstumsmuster des Patienten, sowie die Wachstumsperiode, in der sich der Patient befindet.^{39,47,64,78}

Die Therapie der Angle Klasse II:1 erfolgt vornehmlich mit herausnehmbaren oder festsitzenden funktionskieferorthopädischen Apparaturen. Diese haben in der Regel sowohl eine dentale als auch eine skelettale Wirkung. Außerdem können, je nach Ausmaß der Distalokklusion und der Platzverhältnisse, Extraktionen mit anschließendem kieferorthopädischem Lückenschluss oder eine chirurgische Umstellungsosteotomie in Erwägung gezogen werden. Als Beispiele für herausnehmbare funktionskieferorthopädische Apparaturen, die zur Korrektur der Angle-Klasse II:1 verwendet werden, gelten der Andresen-Aktivator⁴, der Bionator nach Balters¹⁴, der Funktionsregler nach Fränkel³³ und die Vorschubdoppelplatte.²⁹ Die skelettalen Wirkmechanismen der Apparaturen bestehen vor allem in der Stimulation des mandibulären Wachstums und in der Hemmung des maxillären Wachstums.^{34,50,82} Die dentoalveolären Auswirkungen der funktionskieferorthopädischen Apparaturen bestehen aus der Retroklination bzw. Proklination der Frontzähne und der Distalisation bzw. Mesialisation der Seitenzähne, welche im Ergebnis zu einer Verringerung des Overjets und einer Korrektur der Molarenrelation führen.^{66,76,101} Das Grundprinzip der Funktionskieferorthopädie ist das von Norman Kingsley im Jahr 1879 postulierte „jumping-the-bite“-Prinzip, bei dem es durch eine Vorverlagerung des Unterkiefers zu einer Korrektur der Distalokklusion kommt.¹⁰²

In diversen radiologischen und tierexperimentellen Studien konnte bereits gezeigt werden, dass es im Zuge der mandibulären Vorverlagerung im Sinne des „jumping-the-bite“-Prinzips zu Veränderungen im Bereich des Kiefergelenkes kommt.^{31,49,63,100,105} Histologisch beobachtete man Resorptionsprozesse im anterioren Bereich und Appositionsvorgänge im posterioren Bereich des Kondylus. Im anterioren Bereich der Fossa mandibularis zeigten sich Appositions- und im posterioren Bereich Resorptionsvorgänge.^{31,49,63,100,105} Da vor allem die skelettale Komponente der Retrognathie die Ausbildung einer OSA bzw. die Verminderung des PAS beeinflusst^{43,11,58}, kann im Hinblick auf die soeben beschriebenen skelettalen Veränderungen davon ausgegangen werden, dass eine Vorverlagerung des Unterkiefers auch die Dimension des PAS beeinflusst.

Generell sollte beachtet werden, dass die Behandlung mit herausnehmbaren funktionskieferorthopädischen Apparaturen maßgeblich von der Compliance des Patienten abhängig ist.^{37,72,92} Dies bedeutet, dass der Patient hinsichtlich eines regelmäßigen Tragens der Apparatur motiviert werden muss, da die gewünschten skelettalen und dentoalveolären Effekte sonst ausbleiben. Von der Compliance unabhängig sind festsitzende funktionskieferorthopädische Apparaturen, wie beispielsweise die nachfolgend beschriebene Herbst-Apparatur.^{37,85}

1.4 Herbst-Apparatur

Die Herbst-Apparatur ist eine funktionskieferorthopädische, festsitzende Apparatur, die im Jahr 1910 erstmals durch Emil Herbst beschrieben wurde.⁴³ Sie besteht aus bilateralen Teleskopen, die beispielsweise über gegossene Kappenschienen an den oberen und unteren Seitenzähnen befestigt werden.⁴³ Die Teleskope verlaufen vom posterioren Oberkieferzahnbogen zum anterioren Unterkieferzahnbogen und erlauben sowohl Öffnungsbewegungen als auch in geringem Ausmaß Lateralbewegungen. Sie sorgen dafür, dass der Unterkiefer in eine protrudierte Position gebracht und dauerhaft dort gehalten wird.^{74,75}



Abb. 1.2: Herbst-Apparatur in situ (Ruehl et al.⁸⁹)

1.5 Therapeutische Beeinflussung des pharyngealen Luftweges

In einer umfangreichen 2D-Querschnittsstudie haben *Mislik et al.*⁶⁵ dargestellt, dass die Dimension des PAS bei 6- bis 17-Jährigen einer großen interindividuellen Variation unterliegt. Dies zeigt sich an IQR-Werten („interquartile range“) von bis zu 7,7 mm bei einem Mittelwert von 10,6 mm für den Hauptparameter ‚p‘. Als Hauptparameter wurden ‚p‘ (kürzester Abstand zwischen weichem Gaumen und Rachenhinterwand) und ‚t‘ (kürzester Abstand zwischen Zungenbasis und Rachenhinterwand) betrachtet. Sie konnten durch die kephalometrische Auswertung von insgesamt 880 Fernröntgenseitenbildern (FRS) zeigen, dass sich der PAS im Querschnitt im Alter von 6 bis 10 Jahren verkleinert, danach jedoch wieder bis zum Alter von 17 Jahren vergrößert und nicht maßgeblich zwischen Jungen und Mädchen variiert. Außerdem fanden die Autoren keinen Zusammenhang zwischen der PAS-Dimension und dem ANB-Winkel, das heißt, dass die Größe des pharyngealen Luftweges unabhängig von der sagittalen skelettalen Relation von Oberkiefer zu Unterkiefer ist (Cave: 2D). Die Bedeutung der Studie ist durch die große Probandenzahl hoch, liefert jedoch keine longitudinalen Daten bezüglich der individuellen Veränderungen des PAS und des Einflusses von kieferorthopädischen Behandlungsmitteln auf diesen.

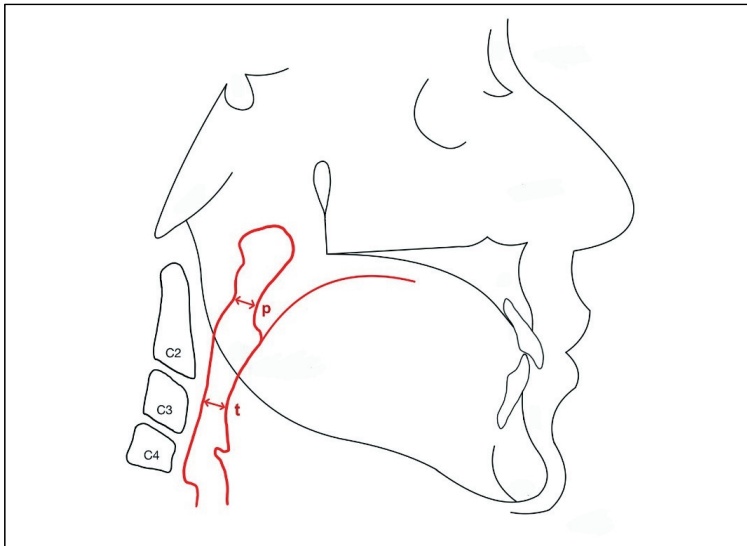


Abb. 1.3: Visuelle Darstellung der PAS-Werte ‚p‘ und ‚t‘, die von *Mislik et al.*⁶⁵ verwendet wurden

Im Jahr 2018 haben *Drosen et al.*³⁰ die Auswirkungen der Herbst-Therapie auf den PAS untersucht. Hierbei verglichen sie FRS von Klasse II-Patienten, die mittels Herbst-Apparatur behandelt worden waren mit unbehandelten Klasse II- sowie Klasse I-Individuen. Jede dieser drei Gruppen umfasste jeweils 13 Patienten. Dabei wurden vor der Behandlung, nach der Behandlung und nach der durchschnittlich 1,3 Jahre andauernden Retentionsphase angefertigte Fernröntgenseitenbilder (2D) ausgewertet und ebenfalls hinsichtlich ‚t‘ und ‚p‘ verglichen. Die aktive Behandlungsdauer mit der Herbstapparatur betrug durchschnittlich 6 Monate. Die Nachbeobachtungsphase nach Abschluss der Therapie betrug durchschnittlich 6 Jahre, wobei man ein Mindestalter von 18 Jahren am Ende der Nachbeobachtungsphase voraussetzte. Als Ergebnis wurde zwar eine signifikante Vergrößerung des PAS nach der Behandlung mit der Herbst-Apparatur bis zum Ende der Nachbeobachtungsphase (Δp : 2,3 mm, Δt : 3,3 mm) im Vergleich zu den beiden Kontrollgruppen beobachtet (Δp : 0,5 mm, Δt : 0,5 mm, beziehungsweise Δp : 0,7 mm, Δt : 1,6 mm), jedoch schloss die Studie insgesamt lediglich 39 Probanden ein und zeigte ebenfalls große interindividuelle Unterschiede.

Nach dem Vergleich zweier festsitzender kieferorthopädischer Behandlungsmittel - Functional Mandibular Advancer (FMA) und Herbst-Apparatur - resümierten *Kinzinger et al.*⁵¹, dass der Einfluss beider Therapeutika auf den extrathorakalen Luftraum nicht signifikant sei. Dabei bewerteten sie FRS, die jeweils vor und unmittelbar nach der Behandlung angefertigt worden waren. Die durchschnittliche Behandlungsdauer mit dem FMA betrug 18 Monate und mit der Herbst-Apparatur 19,5 Monate. Sie betrachteten unter anderem die Distanz zwischen der anterioren und posterioren Pharynxwand in den Ebenen der zervikalen Wirbelkörper C2-C4. Hierzu wurden Ausgleichsgeraden am Unterrand der Wirbelkörper gezogen, die jeweils den kaudo-anterioren und kaudo-posterioren Punkt verbinden. Die größte Veränderung des PAS ergab sich in der Ebene von C3 (+1,36 mm bzw. +10,5%) und die geringste Änderung in der Ebene von C4 (+0,81 mm bzw. +5,4%). Durchschnittlich konnte eine Vergrößerung des pharyngealen Luftweges von 0,83 mm (+6,1%) durch die Herbst-Therapie beobachtet werden. Die Behandlung mit dem FMA ergab Verringerungen der Pharynxtiefe (durchschnittlich -2,81%) für alle Streckenmessungen, die kranial von C3 durchgeführt worden waren. Auf der Höhe von C3 konnte eine Vergrößerung von +4,48% und auf der Höhe von C4 eine Vergrößerung von +12,82% beobachtet werden. Auch diese Arbeitsgruppe konstatierte eine große Varianz der PAS-Werte bei relativ kleiner Probandenzahl (n = 43). *Hourfar et al.*⁴⁴ kamen bei einem ähnlichen Studiendesign zu den selben Schlussfolgerungen.

Koay *et al.*⁵³ untersuchten in ihrer Studie anhand von FRS, inwiefern sich die Dimension der oberen Atemwege durch eine zweiphasige Therapie mit der Herbst- und der Edgewise-Multibracket-Apparatur verändert. Nachdem die 27 Patienten mit einer Herbst-Apparatur und anschließend mit einer Multibracket-Apparatur für durchschnittlich 3 Jahre behandelt worden waren, zeigten sich signifikante Vergrößerungen der Atemwege von 1,1 mm (+10,7%) retropalatal, 1,3 mm (+12,3%) retroglossal und 1,6 mm (+9,1%) im Bereich des Hypopharynx, die bis direkt nach der Multibracket-Phase stabil blieben. Es erfolgte keine Nachbeobachtung, die die Veränderung in der Zeit nach dem Therapieende aufzeigt. Außerdem beobachtete man eine negative Korrelation zwischen der retroglossalen Pharynxtiefe und dem Mandibularbasiswinkel (ML/NSL).

*Celikoglu et al.*²¹ haben die Herbst-Apparatur mit der Fatigue Resistant Device (FRD) bezüglich des Einflusses auf den pharyngealen Luftraum verglichen. Jeweils 15 Patienten mit mandibulärer Retrognathie, die mit FRD oder Herbst-Apparatur behandelt worden waren, wurden im Rahmen dieser Studie untersucht. In beiden Gruppen kam es zu einem signifikanten Anstieg des PAS in den ausgewerteten FRS, wobei es während der Behandlung mit der Herbst-Apparatur durchschnittlich zu einer Vergrößerung der unteren Atemwege von 1,11 mm (+11,7%) und bei der Behandlung mit der FRD zu einer Vergrößerung von 1,90 mm (+21,2%) kam. Die Behandlungszeit lag bei 7,69 (Herbst), beziehungsweise 7,22 Monaten (FRD). Auch bei dieser Untersuchung konnte eine große interindividuelle Varianz beobachtet werden.

Um den Einfluss des Aktivators in Kombination mit einem Headgear auf den pharyngealen Luftweg zu betrachten, haben *Hänggi et al.*³⁸ FRS von 32 Patienten, die eine kombinierte Aktivator-Headgear-Therapie erhalten hatten, mit denen von 32 Patienten einer Kontrollgruppe verglichen, die nur geringfügige Zahnstellungskorrekturen ohne Änderung der Okklusion mit teilweise oder vollständig festsitzenden Apparaturen erhielten. Die Untersuchungszeitpunkte waren vor der Behandlung, nach der Behandlung und nach einer Nachbeobachtungsphase von durchschnittlich 7,6 Jahren. Der kürzeste Abstand zwischen dem weichen Gaumen und der Rachenhinterwand (p') vergrößerte sich in Folge der Aktivator-Headgear-Behandlung im Mittel um 0,7 mm. In der Nachbeobachtungsphase kam es zu einem weiteren Anstieg von p um 0,6 mm, sodass sich die Dimension des extrathorakalen Luftweges um insgesamt 1,3 mm (+15,7%) vergrößerte. Die Patienten der Kontrollgruppe wiesen insgesamt eine Vergrößerung des PAS um 1,4 mm (+17,7%) auf. Die Arbeitsgruppe hat zusätzlich eine Flächenberechnung des PAS durchgeführt, indem sie den Flächeninhalt des

pharyngealen Luftweges zwischen der Linie p und einer horizontalen Linie durch den kaudalsten Punkt des vierten zervikalen Wirbelkörpers berechnet haben. Hierbei kam es nach der Therapie zu einer Vergrößerung der Fläche um $163,2 \text{ mm}^2$ (+36,6%) und während des Nachbeobachtungszeitraumes zu einer Vergrößerung um $115,5 \text{ mm}^2$ (+25,9%), sodass die Fläche sich insgesamt um $278,7 \text{ mm}^2$ (+62,5%) vergrößerte. Im Vergleich hierzu beobachtete man in der Kontrollgruppe eine Flächenvergrößerung von insgesamt 24,1%. Dies bedeutet, dass die Dimension des PAS durch die Aktivator-Headgear-Therapie nicht nur direkt nach der Therapie vergrößert war, sondern auch über einen relativ langen Zeitraum nach Abschluss der Therapie stabil blieb.

Es gilt zu beachten, dass die bisher aufgeführten Studien die Dimension des PAS lediglich mithilfe zweidimensionaler Bildgebungen beurteilt haben. Die Beurteilbarkeit ist dementsprechend eingeschränkt, da hierbei nur Rückschlüsse auf die Größenveränderungen des pharyngealen Luftweges in anterior-posteriorer Richtung möglich sind. Eine Beurteilung des absoluten Volumens beziehungsweise der Querschnittsfläche ist nur durch eine dreidimensionale Bildgebung möglich.

Zu erwähnen ist diesbezüglich die von *Hassing et al.*⁴¹ durchgeführte Studie, bei der 128 Patienten vor und nach bimaxillärer Umstellungsosteotomie untersucht wurden. Das oropharyngeale Volumen wurde mit Hilfe digitaler Volumetomographie (DVT) präoperativ und zu mehreren postoperativen Zeitpunkten (1-6 Wochen, 6 Monate, 1 Jahr und 2 Jahre) gemessen. Die Patienten wurden nach dem Ausmaß der Vorverlagerung des Unterkiefers in verschiedene Gruppen unterteilt. Man unterschied mandibuläre Vorverlagerungen von $< 5 \text{ mm}$, $5-10 \text{ mm}$ und $> 10 \text{ mm}$. Hierbei ergab sich, dass es bei einer anterioren Verlagerung des Unterkiefers von mindestens $5-10 \text{ mm}$ zur deutlichsten Vergrößerung des PAS (+32,1%) kam. Darüber hinaus wurde ersichtlich, dass sich der PAS langfristig (über 2 Jahre) lediglich bei einer mandibulären Verlagerung von über 10 mm vergrößert (+30,0% im Vergleich zum präoperativen Wert) bzw. stabil blieb.

*Iwasaki et al.*⁴⁵ untersuchten die Auswirkung der Herbst-Apparatur auf den PAS ebenfalls anhand von dreidimensionalen DVT-Aufnahmen. Hierzu wurden 24 Patienten mit Angle-Klasse II und Herbst-Multibracket-Therapie mit 20 Patienten der Angle-Klasse I, die nur mit einer Multibracket-Apparatur behandelt wurden, verglichen. Es wurden jeweils unmittelbar vor und nach der Therapie angefertigte DVTs hinsichtlich des oropharyngealen Volumens verglichen. Es ergaben sich signifikante Werte für die PAS-Vergrößerung bei den Patienten, die ein Herbst-Scharnier trugen (+88,9%) im Vergleich

zur Kontrollgruppe.

*Souza Carvalho et al.*⁹⁸ beobachteten in ihrer Studie den Einfluss der chirurgischen bimaxillären Umstellung auf den pharyngealen Luftweg bei Klasse II-Patienten anhand von DVTs und FRS die sie jeweils vor der Operation, direkt nach der Operation und 6 Monate danach anfertigten. Es wurden 20 Patienten in die Untersuchung einbezogen. Die Autoren beobachteten einen Anstieg des PAS-Volumens direkt nach der Operation von 7500 mm^3 (+41,6%) in der digitalen Volumentomographie beziehungsweise von 3,7 mm (+46,8%; gemessen auf der Höhe des kephalometrischen Punktes B) im Fernröntgenseitenbild. Die 6 Monate später angefertigten Aufnahmen zeigten ein Rezidiv des gewonnenen Volumens von 4200 mm^3 (DVT) und 1,2 mm im FRS. Dies bedeutet, dass es in den ersten 6 Monaten nach der skelettalen Umstellung zu einem Verlust der Volumenzunahme des extrathorakalen Luftweges von 56,0% (DVT) beziehungsweise 32,4% (FRS) kam. Dies kann zum einen durch ein skelettales Rezidiv erklärt werden, bei denen der Unterkiefer nach der Operation wieder eine posteriore Lage einnimmt.^{68,95} Als Gründe hierfür werden starke muskuläre Kräfte, instabile Osteosynthesen und große Verlagerungsstrecken angesehen.⁹⁵ Außerdem kann die Dimension des pharyngealen Luftweges dadurch rezidivieren, dass sich die im Rahmen der Umstellungsosteotomie mit dem Unterkiefer nach anterior verlagerten Weichgewebe wieder nach posterior orientieren.⁶⁸

Im Rahmen einer Metaanalyse untersuchten *Shokri et al.*⁹⁷ die Veränderung der oberen Atemwege nach chirurgischer Intervention anhand von digitaler Volumentomographie. Die insgesamt 30 einbezogenen Studien umfassten 929 Patienten. Es konnte gezeigt werden, dass sich das pharyngeale Volumen nach einer maxillomandibulären Vorverlagerung um durchschnittlich $823,66 \text{ mm}^3$ (+14,9%) vergrößert. Außerdem wurde beobachtet, dass der PAS sich bei einer Unterkieferrückverlagerung um durchschnittlich $4608,21 \text{ mm}^3$ (-15,7%) verkleinert. Auch eine Oberkiefervorverlagerung mit gleichzeitiger Unterkieferrückverlagerung sorgte für eine Verminderung des pharyngealen Volumens, die im Mittel $438,11 \text{ mm}^3$ (-1,5%) betrug. Dies ließ die Autoren zu dem Schluss kommen, dass die Unterkiefervorverlagerung im Sinne einer Umstellungsosteotomie die einzige chirurgische Maßnahme ist, die zu einer Vergrößerung der hinteren Atemwege führt.

Zusammenfassend kann man konstatieren, dass die aufgeführten Studien unterschiedlichste Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses kieferorthopädischer Korrekturen von Malokklusionen auf die Dimension des extrathorakalen Luftraumes zeigen. Eine deutliche interindividuelle Varianz wird in fast allen bisherigen Publikationen durch die

entsprechenden Autoren beschrieben. Mit besonderem Blick auf die Klasse II:1-Therapie durch die Herbst-Apparatur, gibt es bisher keine aussagekräftigen, longitudinalen Untersuchungen mit einer hinreichend großen Probandenzahl, welche als repräsentativ für die Allgemeinheit gewertet werden könnten.

Hinsichtlich der posttherapeutischen Stabilität konnte bereits gezeigt werden, dass die skelettalen Veränderungen, die durch die Behandlung mit herausnehmbaren funktionskieferorthopädischen Apparaturen erzielt werden, bei jugendlichen Patienten zumindest teilweise stabil bleiben.^{15,38,104} So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass ein Jahr nach dem Therapieende mit funktionskieferorthopädischen Apparaturen der zuvor korrigierte ANB-Winkel noch 87,6% und das Wits appraisal noch 80,6% des Wertes unmittelbar nach der Therapie betrug.^{15,23} Nach 3 Jahren entsprach der ANB-Winkel 94,3% und das Wits appraisal 61,4% des posttherapeutischen Wertes.^{15,23} Bezüglich des Overjets konnte beobachtet werden, dass dieser ein Jahr nach der Therapie mit funktionskieferorthopädischen Apparaturen noch 73,8% des zuvor erzielten Wertes betrug.¹⁵ Bei der sagittalen Molarenrelation, die zusammen mit dem Overjet als Indikator für die dentoalveolären Veränderungen der Therapie angesehen werden kann, betrug der Wert nach einem Jahr noch 93,5%.¹⁵

In einer Metaanalyse untersuchten *Bock et al.*¹⁶ ebenfalls die Stabilität der Behandlungsergebnisse nach einer Therapie (mindestens 1 Jahr nach Therapieende) mit festsitzenden funktionskieferorthopädischen Apparaturen. Hierbei wurden insgesamt 19 wissenschaftliche Untersuchungen einbezogen, bei denen die Patienten mit der Herbst-Apparatur behandelt wurden. Das Durchschnittsalter der Patienten vor der Therapie betrug 15,2 Jahre. In Relation zu den Veränderungen während der Therapie ergaben sich nach der Beobachtungsphase folgende Rezidive: ANB-Winkel -0,2 Grad (-12,4 %), Wits appraisal -0,5 mm (-19,5%), Overjet -1,8 mm (-26,2 %), Overbite 1,4 mm (-44,7 %).

Aus den zuvor beschriebenen Beobachtungen ergibt sich die Fragestellung, wo und in welchem Ausmaß Veränderungen des pharyngealen Luftweges während der Behandlung mittels Herbst-Multibracket-Apparatur bei Klasse II:1-Patienten im Allgemeinen auftreten und inwiefern diese stabil bleiben.

2 ZIEL

Das Ziel dieser Studie war daher die Untersuchung der Entwicklung des PAS bei Klasse II:1-Patienten, die mittels Herbst-Multibracket-Apparatur behandelt wurden. Dabei sollte ein hinreichend großes Patientengut eingeschlossen werden, um repräsentative Daten zu generieren. Es sollten sowohl die Veränderungen während der aktiven Therapie als auch die einer Nachbeobachtungsphase betrachtet werden. Zusätzlich sollten kephalometrische Strecken und Winkel, die skelettale Reife des Patienten und die Behandlungsdauer als Nebenzielparameter bestimmt und bezüglich eventueller Zusammenhänge betrachtet werden.

3 PATIENTEN UND METHODE

3.1 Patienten

Es wurden alle ehemaligen Patienten der Poliklinik für Kieferorthopädie des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen, die in den Jahren 1986 bis 2023 die aktive Therapie mit einer Herbst-Multibracket-Apparatur sowie einen Nachbeobachtungszeitraum von mindestens 12 Monaten vollendet haben, in die Studie einbezogen.

Folgende Einschlusskriterien wurden formuliert:

- Angle-Klasse II:1 bei Behandlungsbeginn
- Herbst-Multibracket-Behandlung
- Abschluss der aktiven Therapie und einer mindestens 12-monatigen Nachbeobachtungsphase bis Oktober 2023

Spezielle Ausschlusskriterien wurden nicht formuliert. Allerdings schließen folgende Kriterien die Berücksichtigung einzelner Röntgenbilder für die gegenständliche Untersuchung aus:

- nicht auswertbare FRS durch eine offensichtlich unnatürliche Positionierung des Patienten im Röntgengerät (Gefahr der Beeinflussung der oberen Atemwege in ihrer Darstellung)
- radiologische Überlagerungen, die dafür sorgen, dass notwendige kephalometrische Referenzpunkte nicht erkennbar sind
- unvollständige Dokumentation bzw. fehlende Röntgenbilder zu den entsprechenden Untersuchungszeitpunkten T0, T1 oder T2

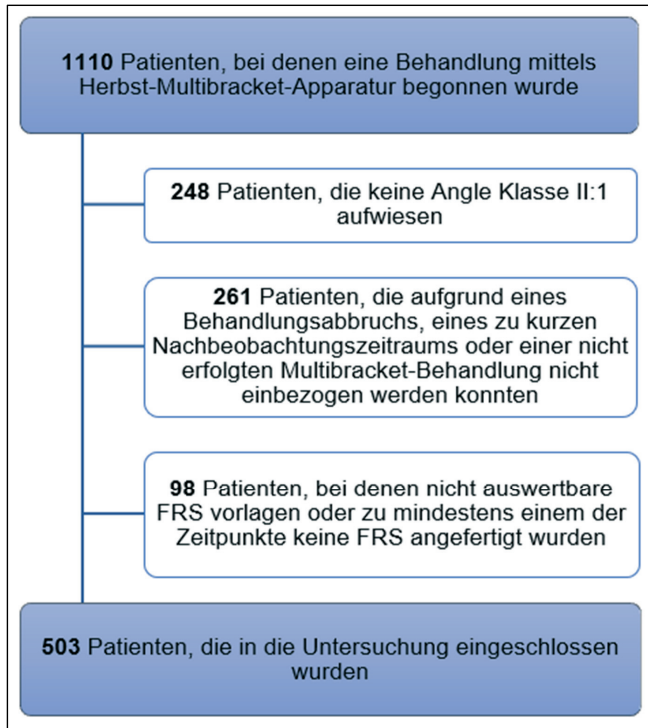


Abb. 3.1: Flussdiagramm zum Ablauf der Patientenrekrutierung

3.2 Methode

Unter Berücksichtigung bisheriger Publikationen zur Thematik sollte eine retrospektive Auswertung von FRS mit Blick auf folgende Parameter erfolgen:

- A) Hauptzielparameter (graphische Darstellung in Abb. 3.2 und 3.3, S. 19 und 20):
- *Fläche (A)PAS*: zweidimensionale Fläche des pharyngealen Luftweges; die kraniale Begrenzung liegt auf Höhe der Verbindungslinie der Punkte Pm (Schnittpunkt harter/weicher Gaumen mit der hinteren Kontur des Corpus maxillae) und Sp (Spina nasalis anterior); die kaudale Begrenzung liegt auf Höhe des am weitesten kranial gelegenen Anteils der Epiglottis
 - *p*: kürzester Abstand zwischen weichem Gaumen und Rachenhinterwand
 - *t*: kürzester Abstand zwischen Zungenbasis und Rachenhinterwand
 - *pC2*: Abstand zwischen Rachenvorder- und Rachenhinterwand auf Höhe des Unterrandes des 2. zervikalen Wirbelkörper C2

Hierzu wird eine Verbindungslinie durch den am weitesten dorsal gelegenen und den am weitesten ventral gelegenen Punkt der Wirbelkörperunterseite gezogen. In dieser Ebene wird der Abstand zwischen Rachenvorder- und Rachenhinterwand gemessen.

- *pC3*: Abstand zwischen Rachenvorder- und Rachenhinterwand auf Höhe des Unterrandes des 3. zervikalen Wirbelkörper C3

Hierzu wird eine Verbindungslinie durch den am weitesten dorsal gelegenen und den am weitesten ventral gelegenen Punkt der Wirbelkörperunterseite gezogen. In dieser Ebene wird der Abstand zwischen Rachenvorder- und Rachenhinterwand gemessen.

- *pC4*: Abstand zwischen Rachenvorder- und Rachenhinterwand auf Höhe des Unterrandes des 4. zervikalen Wirbelkörper C4

Hierzu wird eine Verbindungslinie durch den am weitesten dorsal gelegenen und den am weitesten ventral gelegenen Punkt der Wirbelkörperunterseite gezogen. In dieser Ebene wird der Abstand zwischen Rachenvorder- und Rachenhinterwand gemessen.

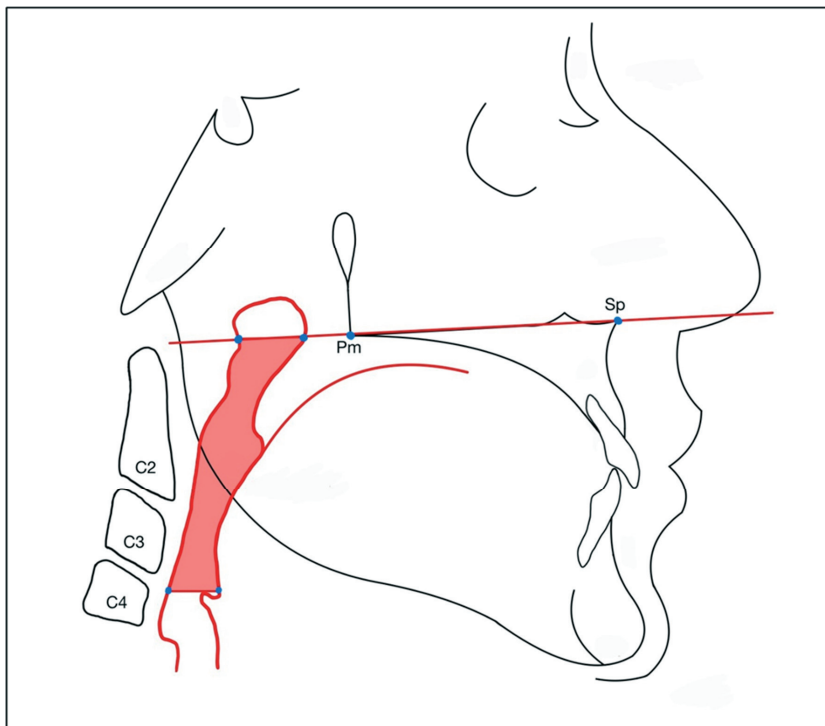


Abb. 3.2: Visuelle Darstellung der Hauptzielparameter (Teil 1)

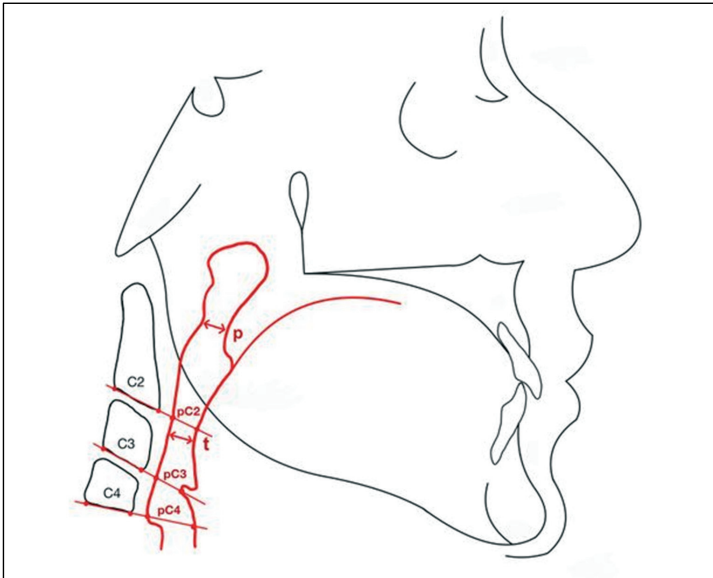


Abb. 3.3: Visuelle Darstellung der Hauptzielparameter (Teil 2)

B) Nebenzielparameter (graphische Darstellung in Abb. 3.4-3.6, Seite 21-23)

- *Overjet (OJ)*: sagittaler Abstand zwischen der labialen Schneidekante des am weitesten labial stehenden Schneidezahnes und der Labialfläche seines Antagonisten
- *Wits appraisal*: Abstand der Punkte A' und B', die durch Fällen eines Lotes von A und B auf die Okklusionsebene (OE) entstehen (A entspricht dem tiefsten Punkt der anterioren Kontur des Processus alveolaris der Maxilla; B entspricht dem tiefsten Punkt der Einziehung im Bereich des Processus alveolaris der Mandibula)
- *ANB-Winkel*: Winkel zwischen den Strecken NA und NB (NA entspricht der Verbindungslinie zwischen dem Nasion (N) und dem Punkt A; NB entspricht der Verbindungslinie zwischen N und dem Punkt B)
- *ML/NSL-Winkel*: Winkel zwischen der Nasion-Sella-Linie (NSL) und der Mandibular-Linie (ML)
- *ArGo'Gn-Winkel*: Winkel, der durch die Strecke ArGo' (Verbindung von Articulare und Gonion-Tangentenpunkt) und dem Gnathion (Gn) gebildet wird

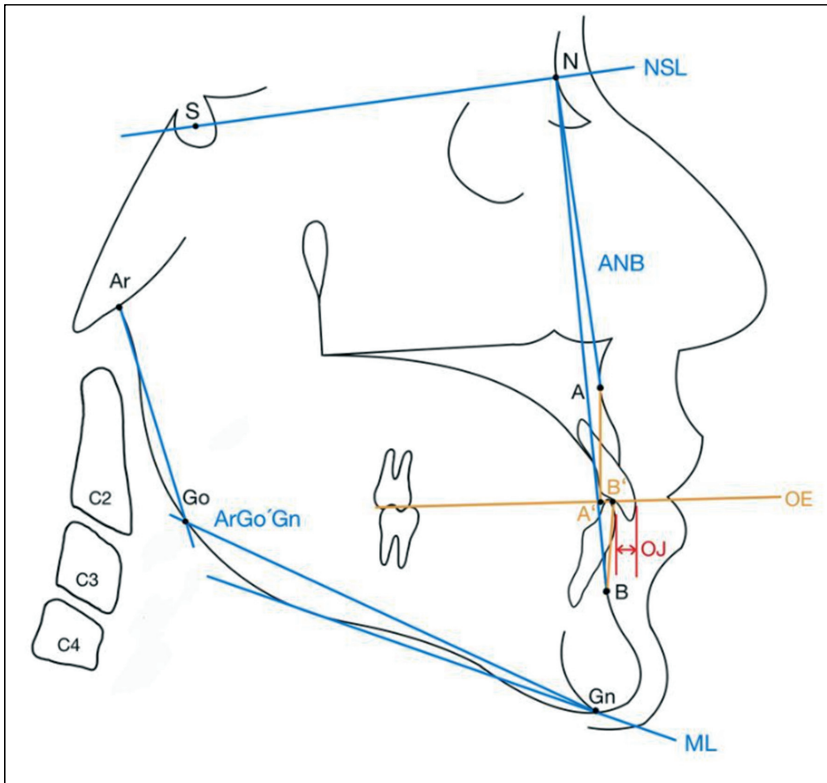


Abb. 3.4: Visuelle Darstellung der Nebenzielparameter

- skeletale Reife (C3-Stadium nach *Hassel und Farman*⁴⁰, 1995):
 - S1: Die kaudale Begrenzung des 3. zervikalen Wirbelkörpers bildet eine gerade Linie, die kraniale Begrenzung fällt von posterior nach anterior ab. Das Stadium korreliert mit dem Anfang des pubertären Wachstumsschubes.
 - S2: Die kaudale Begrenzung des 3. zervikalen Wirbelkörpers zeigt eine leichte Konkavität, die kraniale Begrenzung fällt weniger steil von posterior nach anterior ab. Die Wachstumsamplitude steigt, jedoch ist das Maximum noch nicht erreicht.
 - S3: Die kaudale Begrenzung des 3. zervikalen Wirbelkörpers zeigt eine ausgeprägtere Konkavität, die kraniale Begrenzung fällt nur leicht von posterior nach anterior ab. Der Patient steht kurz vor dem pubertärem Wachstumsmaximum.

- S4: Die kaudale Begrenzung des 3. zervikalen Wirbelkörpers ist konkav, die kraniale Begrenzung ist rechteckig. Bei diesem Stadium wurde das pubertäre Wachstumsmaximum überschritten.
- S5: Die kaudale Begrenzung des 3. zervikalen Wirbelkörpers zeigt eine noch ausgeprägtere Konkavität, die kraniale Begrenzung ist rechteckig. Die vertikale Dimension des Wirbelkörpers ist leicht größer als die horizontale Dimension. Die Wachstumsamplitude nimmt ab, ein geringes Restwachstum ist vorhanden.
- S6: Die kaudale Begrenzung des 3. zervikalen Wirbelkörpers ist nun noch konkaver, die kraniale Begrenzung ist rechteckig. Die vertikale Dimension ist deutlich größer als die horizontale Dimension. Es ist kein bzw. sehr wenig Restwachstum vorhanden.

Um die Übersichtlichkeit zu verbessern, wurden die Reifestadien S1 und S2 zur Gruppe „pre-peak“, die Reifestadien S3 und S4 zur Gruppe „peak“ und die Reifestadien S5 und S6 zur Gruppe „post-peak“ zusammengefasst.

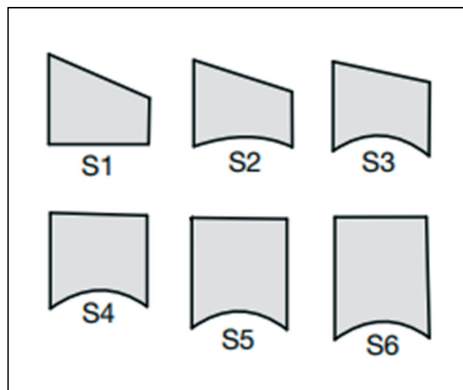
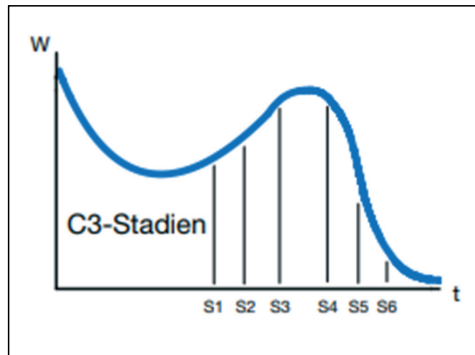


Abb. 3.5: C3-Stadien nach Hassel und Farman¹⁸ zur Bestimmung der skelettalen Reife anhand der Morphologie des 3. Halswirbelkörpers



*Abb. 3.6: Wachstumskurve mit entsprechender Zuordnung der C3-Stadien;
W = Wachstum;
t = Zeit*

Für alle Haupt- und Nebenzielparameter wurden folgende Zeitpunkte betrachtet:

- T0: vor Behandlung
- T1: nach Herbst-Multibracket-Behandlung
- T2: mindestens 12 Monate nach Herbst-Multibracket-Behandlung

3.2.1 Auswertung der Röntgenbilder

Die Fernröntgenseitenbilder der Patienten, die in der Poliklinik für Kieferorthopädie des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Gießen mittels Herbst-Multibracket-Apparatur behandelt wurden, liegen teilweise analog und teilweise digital vor. Daher mussten zwei verschiedene Verfahren zur Vermessung der Röntgenbilder angewendet werden.

Für alle Patienten, bei denen sowohl digitale als auch analoge Fernröntgenseitenbilder vorlagen, wurden Ausdrücke der digitalen Röntgenbilder angefertigt, sodass eine standardisierte Auswertung sichergestellt werden konnte. Hierzu wurden alle digitalen Bilder zunächst in ihrer Vergrößerung an die analogen Bilder angepasst und anschließend auf Fotopapier (150g/m²) gedruckt. Anschließend erfolgte die Auswertung exakt wie bei allen analogen Röntgenbildern mithilfe eines Lichtkastens.

*Tabelle 3.1: Verteilung analoger und digitaler Röntgenbilder zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten; mit * markierte Zahlen entsprechen der Anzahl digitaler Röntgenbilder, die ausgedruckt und analog vermessen wurden*

	T0	T1	T2
Analog	373	373 (62*)	373 (86*)
Digital	130	130	130
Gesamt	503	503	503

Analoge Auswertung:

Bei den meisten Patienten lagen Röntgenbilder in analoger Form vor. Diese wurden mittels analogem Tracingverfahren vermessen. Dazu wurden folgende Materialien benötigt:

- Acetatfolie
- Geodreieck
- Druckbleistift
- Klebeband
- Lichtkasten

Die Acetatfolie wurde mithilfe zweier Klebestreifen an den Röntgenbildern, die mit dem Profil nach rechts ausgerichtet waren, befestigt. Das Röntgenbild wurde auf einem Lichtkasten platziert und externe Lichtquellen eliminiert. Hierzu wurden alle irrelevanten Bereiche des Lichtkastens mit schwarzem Karton bedeckt und der gesamte Raum abgedunkelt. Die für die Auswertung relevanten Knochen- und Weichteilstrukturen wurden durchgezeichnet, wobei Doppelkonturen gemittelt wurden. Die Inzisalkanten der am weitesten anterior gelegenen Frontzähne und die mesialen Höckerspitzen der ersten Molaren des Ober- und Unterkiefers wurden markiert. Anschließend wurden die kephalometrischen Referenzpunkte und -strecken dargestellt. Die Haupt- und Nebenzielparameter wurden mittels Geodreieck (Genauigkeit: 0,5 mm bzw. 0,5 Grad) gemessen.

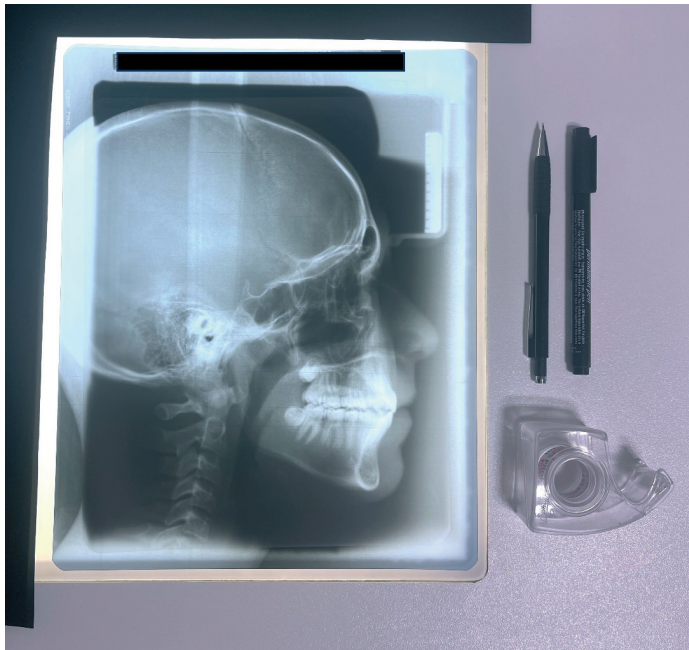


Abb. 3.7: Auswertung analoger Röntgenbilder mithilfe eines Lichtkastens

Digitale Auswertung:

Für einige Patienten lagen digitale Röntgenbilder vor, die mithilfe des Programmes *ivoris® analyze* (Computer konkret AG, Falkenstein/Vogtland, Programmversion 8.2.60.100) hinsichtlich der Haupt- und Nebenzielparemeter vermessen und analysiert wurden. Für alle Patienten, bei denen zu allen Untersuchungszeitpunkten digitale Fernröntgenseitenbilder vorlagen, erfolgte außerdem eine Flächenberechnung des PAS. Der Flächeninhalt wurde mithilfe des Programmes *PDF-XChange Editor* (*PDF-XChange Co Ltd., Chemainus, British Columbia, Canada, Version 10.1.1*) vermessen.

Die Kalibrierung der Röntgenbilder zur Flächenberechnung erfolgte mithilfe des Kalibrierungstools des Programmes *PDF-XChange Editor*. Hierzu wurde bei jedem Bild eine Skala angefertigt, indem jeweils ein Punkt an die kranialste Markierung und ein Punkt an die kaudalste Markierung des Lineals auf dem Röntgenbild gesetzt wurde (Abb. 4.6). Da das Lineal eine definierte Länge (in der Regel 50 mm) aufweist, kann das Programm mithilfe der individuell markierten Skala alle Strecken und Flächen an die tatsächlichen Längenverhältnisse anpassen. Hierdurch war es außerdem möglich Röntgenbilder auszuwerten, die nicht in der Poliklinik für Kieferorthopädie in Gießen angefertigt worden waren.

Auch bei der Flächenberechnung wurden alle externen Lichtquellen ausgeschaltet und der Raum wurde abgedunkelt. Wie in Kapitel 3.2 beschrieben wurde die Fläche des pharyngealen Luftweges zwischen dem harten Gaumen und dem kranialsten Punkt der Epiglottis berechnet. Als anteriore und posteriore Grenzen galten die Rachenvorderbeziehungsweise Rachenhinterwand. Dazu wurden Punkte entlang der Begrenzungen des zu berechnenden Flächeninhaltes gesetzt und durch das Programm automatisch miteinander verbunden.

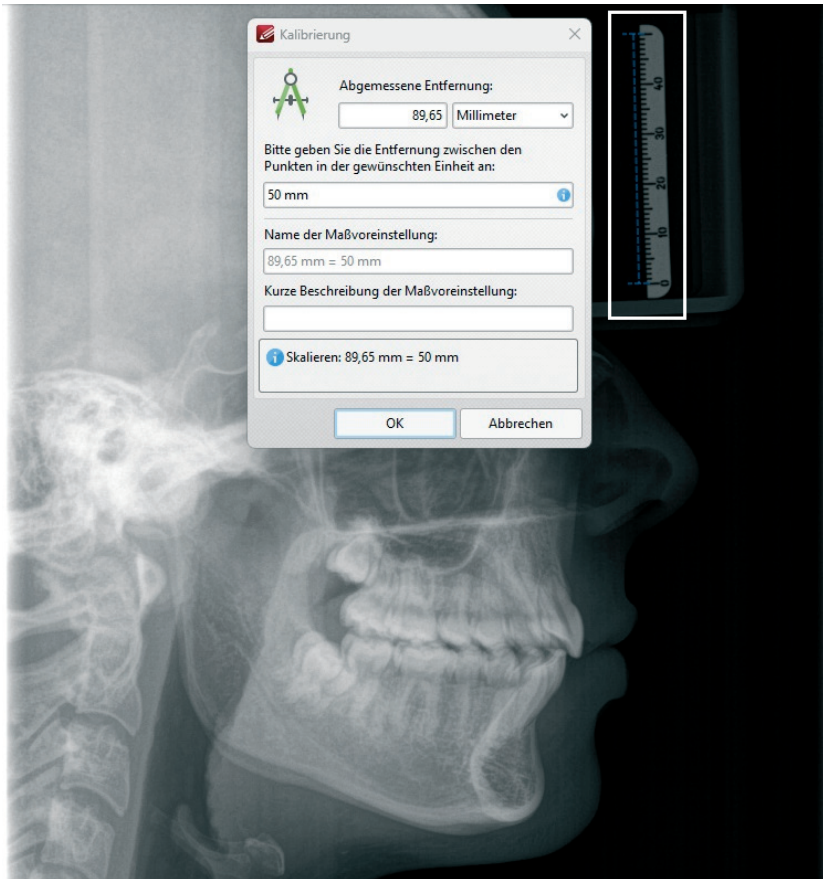


Abb. 3.8: Kalibrierung der Röntgenbilder im Programm PDF-XChange Editor vor der Flächenberechnung

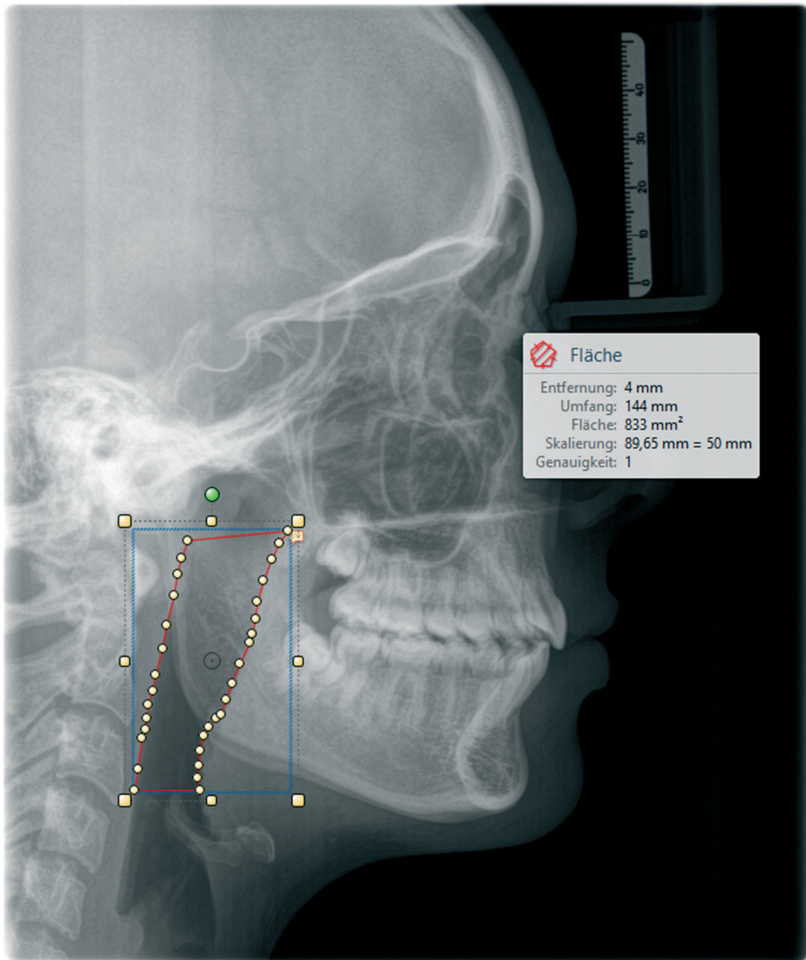


Abb. 3.9: Darstellung der Flächenberechnung mithilfe des Programms PDF-XChange Editor

3.3 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung der Studiendaten erfolgte mithilfe der Software SPSS Statistics (IBM, Armonk, USA, Version 29) und wurde durch Herrn Dr. Johannes Herrmann (Gießen) betreut.

Alle erhobenen Werte zeigten eine hinreichende Annäherung an eine Normalverteilung, sodass arithmetische Mittelwerte berechnet wurden. Deskriptive Statistiken wurden für alle interessierenden Variablen zu allen Zeitpunkten berechnet. Außerdem wurden mittlere Unterschiede und 95-Prozent-Konfidenzintervalle (CIs) für die Unterschiede zwischen den Gruppen berechnet. Ein gepaarter *t*-Test wurde verwendet, um signifikante Veränderungen zwischen den Untersuchungszeitpunkten zu testen. Mithilfe der Spearman-Korrelation wurden Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Haupt- und Nebenzielparametern untersucht. Um die verschiedenen Gruppen der C3-Stadien (pre-peak, peak und post-peak) miteinander zu vergleichen, wurde die Welch-ANOVA für varianzheterogene Daten angewendet. Wo diese signifikant ausfiel, wurden Games-Howell post-hoc Tests durchgeführt.

Für die Korrelationskoeffizienten wurde festgelegt, dass eine schwache Korrelation ab einem Wert von 0,2 (bzw. -0,2), eine mittlere Korrelation ab einem Wert von 0,4 (bzw. -0,4) und eine starke Korrelation ab einem Wert von 0,6 (bzw. -0,6) vorliegt.

Die Parameter Fläche A(PAS) ($n = 130$) und pC4 ($n = 207$) wurden nicht für alle Patienten bestimmt. Um zu gewährleisten, dass diese 130 bzw. 207 Patienten sich nicht maßgeblich von den anderen Patienten, die in die Untersuchung einbezogen wurden, unterscheiden, wurden *t*-Tests für die Mittelwertgleichheit durchgeführt. Lediglich zwischen den 130 Patienten, für die ausschließlich digitale FRS vorlagen und den anderen Patienten konnten signifikante Unterschiede beobachtet werden (Tabelle 11.1 und Tabelle 11.2, Anhang), welche zumindest teilweise durch die angepasste Vergrößerung (2%) zwischen analogen und digitalen Röntgenbildern erklärt werden kann.

Um auszuschließen, dass die Art der Retention (monomaxillär bzw. bimaxillär) einen Einfluss auf die Veränderung des PAS während der Nachbeobachtungsphase (T2-T1) hatte, wurden ebenfalls *t*-tests durchgeführt. Diesbezüglich konnten keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden (Tabelle 11.2, Anhang).

Zur Beurteilung der Reliabilität der Messungen wurden die Röntgenbilder von 20 Patienten, bei denen alle Bilder in digitaler Form vorlagen und von 20 Patienten, bei denen alle Bilder in analoger Form vorlagen, ein zweites Mal vom gleichen Untersucher

vermessen. Anschließend wurde die Intraklassenkorrelation (ICC, zweifach zufällig, konsistent, einzelne Maße) bestimmt. Hierbei wurden Korrelationswerte von $>0,91$ als sehr stark übereinstimmend interpretiert. Alle gemessenen Haupt- und Nebenzielparameter zeigten zu allen drei Untersuchungszeitpunkten eine sehr starke Übereinstimmung ($r > 0,91$).

Für die statistische Analyse wurde festgelegt, dass ein signifikanter Unterschied vorliegt, wenn $p \leq 0,05$ (5%) ist. Statistisch nicht signifikante Unterschiede liegen vor, wenn $p > 0,05$ (5%) ist.

4 ERGEBNISSE

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der einzelnen Haupt- und Nebenzielparameter, wie sie in Kapitel 3 beschrieben wurden, in Form von Boxplot-Diagrammen und Tabellen für die Untersuchungszeitpunkte T0, T1 und T2 dargestellt. Es werden Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (SD), Mediane, Minima und Maxima für die jeweiligen Parameter aufgeführt. Anschließend werden die Veränderungen der Untersuchungsparameter zwischen den Zeitpunkten T0 und T1, T1 und T2, sowie T0 und T2 betrachtet. Abschließend werden Zusammenhänge zwischen den Veränderungen der Haupt- und Nebenzielparameter unter Berücksichtigung des Patientenalters, des Geschlechts und der Behandlungsdauer dargestellt.

Insgesamt wurden 268 weibliche und 235 männliche Patienten in die Untersuchung einbezogen. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug zu Behandlungsbeginn $13,8 \pm 3,4$ Jahre. Der Zeitraum zwischen T0 und T1 betrug $24,9 \pm 9,2$ Monate und zwischen T1 und T2 durchschnittlich $26,1 \pm 8,0$ Monate. Die Behandlung mit der Herbst-Apparatur erstreckte sich im Mittel über einen Zeitraum von $8,4 \pm 5,6$ Monaten, wohingegen die anschließende Behandlung mit der Multibracket-Apparatur $16,5 \pm 7,2$ Monate dauerte.

4.1 Hauptzielparameter

4.1.1 Fläche A(PAS)

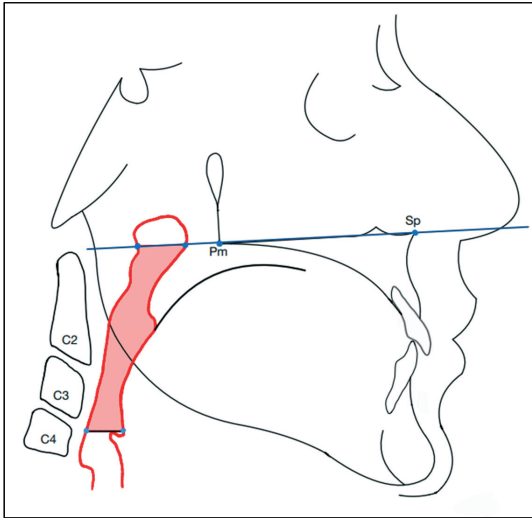


Abb. 4.1: Visuelle Darstellung der Fläche A(PAS)

Der Mittelwert der Fläche A(PAS) betrug vor der Therapie mittels Herbst-Multibracket-Apparatur 514,1 mm² (Tabelle 4.1). Die Fläche vergrößerte sich während der Therapie signifikant ($p < 0,001$) um durchschnittlich 117,0 mm² (+22,7%) und betrug anschließend 631,0 mm². Im Mittel vergrößerte sich der Flächeninhalt in diesem Zeitraum um 4,7 mm² pro Monat. Während des Nachbeobachtungszeitraums vergrößerte sich der Mittelwert des (A)PAS insgesamt um weitere 0,5 mm² (<0,1%), wobei die Werte für Minimum (-672,0 mm²) und Maximum der Veränderung (415,0 mm²) nach der Therapie zwischen den Individuen erheblich schwanken. Die Veränderung während des Nachbeobachtungszeitraumes war nicht signifikant ($p = 0,962$). Zwischen den Untersuchungszeitpunkten T0 und T2 konnte eine signifikante ($p < 0,001$) Vergrößerung des Mittelwertes der pharyngealen Fläche von insgesamt 117,5 mm² (+22,9%) beobachtet werden. Bei 113 Patienten (86,9%) kam es zu einer Vergrößerung und bei 17 Patienten (13,1%) zu einer Verkleinerung der Fläche A(PAS) während der Therapie. Während des Nachbeobachtungszeitraumes konnte bei 62 Patienten (47,7%) eine Vergrößerung und bei 68 Patienten (52,3%) eine Verkleinerung des Flächeninhaltes beobachtet werden. Insgesamt vergrößerte sich die Fläche A(PAS) bei 106 Patienten (81,5%) und

verkleinerte sich bei 24 Patienten (18,5%) über den gesamten Untersuchungszeitraum (T2-T0).

Eine erhebliche interindividuelle Variation wird anhand der Minima und Maxima zu allen Beobachtungszeitpunkten deutlich. Beispielsweise schwankt der Flächeninhalt des PAS unmittelbar nach der Therapie (T1) zwischen 353,0 mm² und 1354,0 mm². Die Streubreite wurde mithilfe eines Punktdiagrammes in Abbildung 4.4 für die Zeitpunkte T0, T1 und T2 visuell dargestellt.

Für die Fläche A(PAS) zu T0 konnte ein signifikanter, mittlerer Zusammenhang ($r = 0,444$; $p < 0,001$) zum Alter der Patienten vor der Therapie festgestellt werden. Zwischen der Fläche A(PAS) zu den Zeitpunkten T1 ($r = 0,327$; $p < 0,001$) und T2 ($r = 0,292$; $p = 0,001$) und dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt T0 konnten schwache, signifikante Zusammenhänge beobachtet werden. Das bedeutet, dass ältere Patienten zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten eine größere Fläche A(PAS) aufwiesen als jüngere Patienten.

Ein ebenfalls schwacher, signifikanter Zusammenhang konnte zwischen der Fläche des (A)PAS unmittelbar nach Therapieende (T1) und dem Ausgangswert (T0) des Wits appraisal ($r = 0,226$; $p = 0,010$) dargestellt werden. Außerdem wurde ein schwacher, signifikanter Zusammenhang ($r = 0,227$; $p = 0,009$) zwischen der Veränderung von A(PAS) während der Therapie (T1-T0) und dem prätherapeutischen Wits appraisal (T0) deutlich. Demnach kam es während der Therapie zu einer größeren Flächenzunahme bei Patienten mit einem größeren prätherapeutischen Wits appraisal.

Die Veränderung der Fläche während der Behandlung (T1-T0) hatte einen schwachen, negativen Zusammenhang ($r = -0,228$; $p = 0,009$) mit der Veränderung der Fläche nach der Therapie (T2-T1), sodass größere Veränderungen der Fläche während der Therapie mit kleineren (oder negativen) Veränderungen nach der Therapie assoziiert waren.

Am Ende des Beobachtungszeitraums (T2) wurde ein schwacher, negativer Zusammenhang ($r = -0,218$; $p = 0,013$) zwischen der Fläche des A(PAS) und dem ML/NSL-Winkel ersichtlich; das heißt, dass bei Patienten mit kleineren ML/NSL-Winkeln größere Werte für die Fläche A(PAS) vorlagen.

Signifikante Unterschiede der Fläche A(PAS) konnten zwischen den verschiedenen Reifestadien (C3-Stadien), in denen sich die Patienten zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten befanden, beobachtet werden. Die pre-peak-Gruppe zeigte signifikant geringere Flächeninhalte im Vergleich zu den peak- ($p < 0,001$) und post-peak-Gruppen ($p < 0,001$) zum Zeitpunkt T0. Selbiges konnte unmittelbar nach der Therapie

4 Ergebnisse

(T1) festgestellt werden (peak $p = 0,014$ bzw. post-peak $p = 0,039$). Am Ende des Beobachtungszeitraums (T2) lagen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Fläche A(PAS) zwischen den jeweiligen Gruppen vor. Die Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima der pre-peak-, peak- und post-peak-Patienten sind für die jeweiligen Untersuchungszeitpunkte für alle Hauptzielparameter in den Tabellen 11.3 bis 11.5 (Anhang) dargestellt.

Zu beachten ist, dass nicht für alle 503 Patienten eine Flächenberechnung durchgeführt wurde, sondern lediglich für alle Patienten, bei denen die FRS zu allen drei Untersuchungszeitpunkten digital vorlagen ($n = 130$).

Tabelle 4.1: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Fläche A(PAS) [in mm²]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	514,1 ± 153,2	631,0 ± 175,1	631,6 ± 161,4	117,0 ± 130,0 (22,7 ± 25,3%)	0,5 ± 128,4 (0 ± 25%)	117,5 ± 147,9 (22,9 ± 28,8%)
Median	482,5	589,0	593,0	105,0	-4,0	104,5
Minimum	231,0	353,0	261,0	-139,0	-672,0	-283,0
Maximum	1097,0	1354,0	1175,0	584,0	415,0	486,0
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				4,7 ± 5,6	0,1 ± 5,1	
p-Wert				< 0,001	0,962	< 0,001

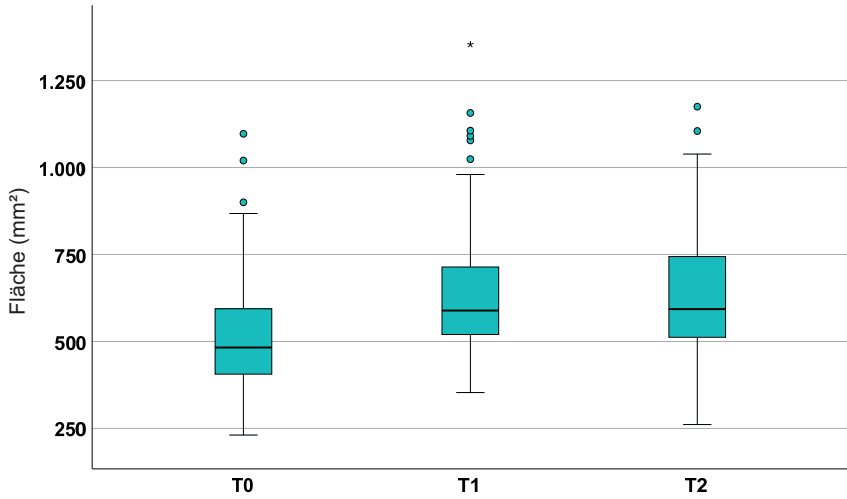


Abb. 4.2: Boxplot-Diagramme für die Fläche A(PAS) zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

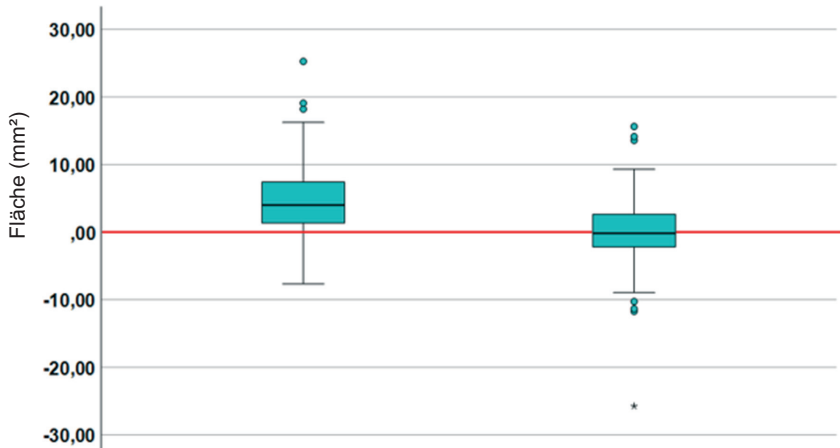


Abb. 4.3: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Fläche A(PAS) zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

Tabelle 4.2: Zusammenhänge zwischen der Fläche A(PAS) und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$

Parameter 1	Parameter 2	r	p
A(PAS) [T0]	Alter [T0]	0,444	< 0,001
A(PAS) [T1]	Alter [T0]	0,327	< 0,001
A(PAS) [T1]	Wits [T0]	0,226	0,010
A(PAS) [T2]	Alter [T0]	0,292	0,001
A(PAS) [T2]	ML/NSL [T2]	-0,218	0,013
A(PAS) [T1-T0]	Wits [T0]	0,227	0,009
A(PAS) [T1-T0]	A(PAS) [T2-T1]	-0,228	0,009

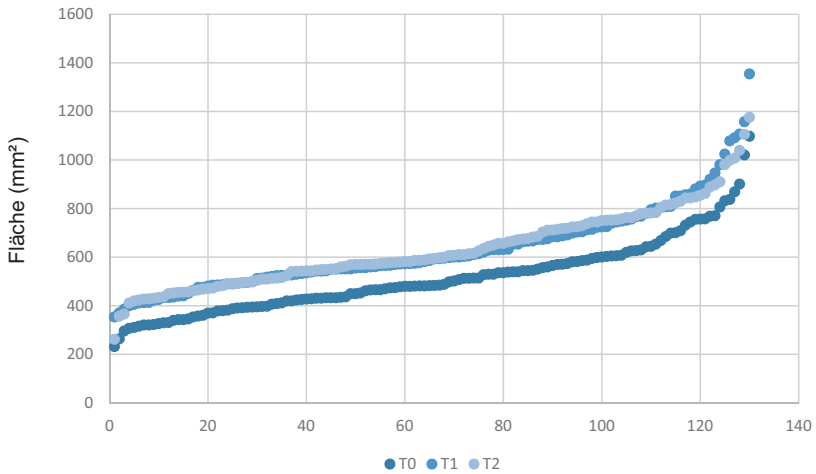


Abb. 4.4: Visuelle Darstellung der Streubreite der Fläche A(PAS) für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert.

4.1.2 Strecke p

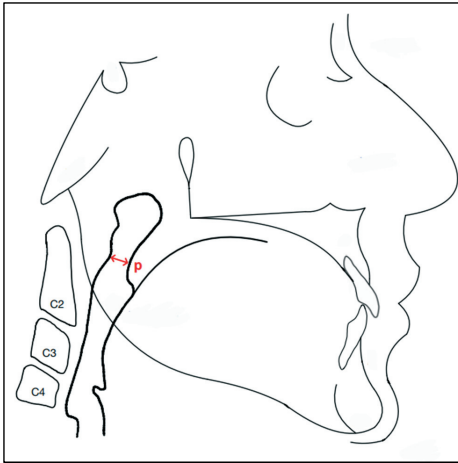


Abb. 4.5: Visuelle Darstellung der Strecke p

Der Mittelwert der Strecke p betrug vor der Therapie durchschnittlich 8,8 mm (Tabelle 4.3). Während der Therapie mittels Herbst-Multibracket-Apparatur vergrößerte sich die Strecke signifikant ($p < 0,001$) um 1,1 mm (+12,5%) auf durchschnittlich 10,0 mm. Im Nachbeobachtungszeitraum kam es zu einer weiteren, nicht signifikanten ($p = 0,348$) Vergrößerung der Strecke p um 0,1 mm (+1,1%). Im Mittel vergrößerte sich der pharyngeale Luftweg im Bereich der Strecke p während der Therapie und dem Nachbeobachtungszeitraum insgesamt um 1,3 mm (+14,8%) auf 10,1 mm. Diese Veränderung war signifikant ($p < 0,001$). Bei 336 Patienten (66,8%) konnte eine Vergrößerung, bei 119 Patienten (23,7%) eine Verkleinerung und bei 48 Patienten (9,5%) konnte keine Veränderung der Strecke p während der Behandlung beobachtet werden. Während der Nachbeobachtungsphase blieb das Ausmaß der Strecke p bei 59 Patienten (11,7%) gleich, während sie sich bei 235 Patienten (46,7%) vergrößerte und bei 209 Patienten (41,6%) verkleinerte. Zwischen den Zeitpunkten T0 und T2 konnte insgesamt bei 331 Patienten eine Vergrößerung, bei 134 Patienten eine Verkleinerung und bei 38 Patienten keine Veränderung der Strecke p gemessen werden.

Auch dieser Parameter wies deutliche interindividuelle Variationen auf, welche anhand der Minima und Maxima deutlich werden. So schwankten die Werte unmittelbar nach der Therapie (T1) zwischen 4,0 mm und 20,0 mm. Während der Therapie (T1-T0) kam es sowohl zu starken Vergrößerungen (+8,0 mm), als auch zu deutlichen Verringerungen (-6,0 mm) der Strecke p.

Es wurde ein schwacher, signifikanter ($r = 0,213$; $p < 0,001$) Zusammenhang zwischen der Strecke p und dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt T0 beobachtet. Demnach zeigten ältere Patienten eine größere Strecke p vor dem Behandlungsbeginn.

Außerdem wurde ersichtlich, dass ein schwacher, signifikanter ($r = 0,276$; $p = 0,001$) Zusammenhang zwischen der Veränderung der Strecke p während der Therapie (T1-T0) und der Fläche A(PAS) nach der Therapie (T1) besteht. Dies lässt darauf schließen, dass die Fläche A(PAS) nach der Therapie umso größer war, je ausgeprägter die Streckenzunahme von p während der Therapie war.

Vor der Therapie (T0) konnten bezüglich der Strecke p statistisch signifikant geringere Werte bei den pre-peak-Patienten als bei den peak- ($p = 0,002$) bzw. post-peak-Patienten ($p = 0,000$) beobachtet werden. Im Anschluss an die Herbst-Multibracket-Behandlung (T1) konnten ebenfalls signifikant kleinere Strecken bei den pre-peak-Patienten als bei den peak- ($p < 0,001$) bzw. post-peak-Patienten ($p < 0,001$) konstatiert werden. Auch nach dem Beobachtungszeitraum (T2) war die Strecke p bei den pre-peak-Patienten signifikant ($p = 0,032$) kürzer als bei den peak- ($p = 0,014$) bzw. post-peak-Patienten. Zwischen den peak- und post-peak-Patienten konnte zu keinem Untersuchungszeitpunkt ein statistisch signifikanter Unterschied der Dimension der Strecke p beobachtet werden.

4 Ergebnisse

Tabelle 4.3: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke p [in mm]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	8,8 ± 2,6	10,0 ± 2,6	10,1 ± 2,8	1,1 ± 2,2 (12,5 ± 25,0%)	0,1 ± 2,2 (1,1 ± 25%)	1,3 ± 2,4 (14,8 ± 27,3%)
Median	9,0	10,0	10,0	1,0	0	1,5
Minimum	1,5	4,0	2,5	-6,0	-10,5	-8,0
Maximum	18,0	20,0	19,0	8,0	8,0	8,0
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				0,05 ± 0,11	0,005 ± 0,09	
p-Wert				< 0,001	0,348	< 0,001

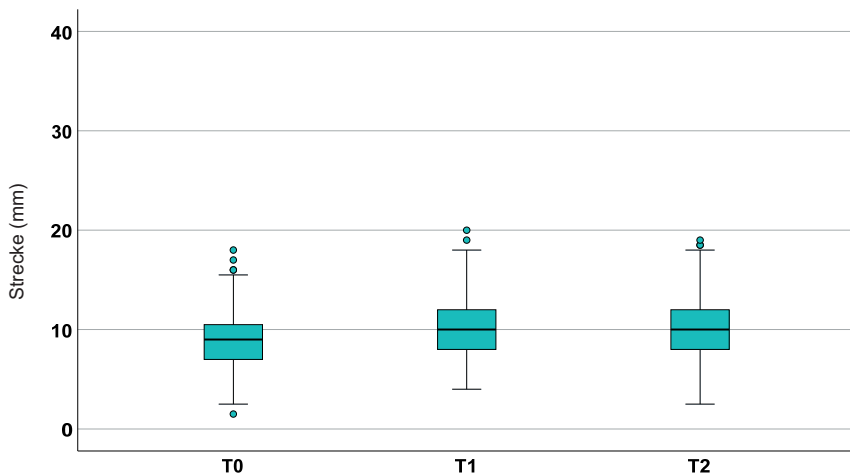


Abb. 4.6: Boxplot-Diagramme für die Strecke 'p' zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

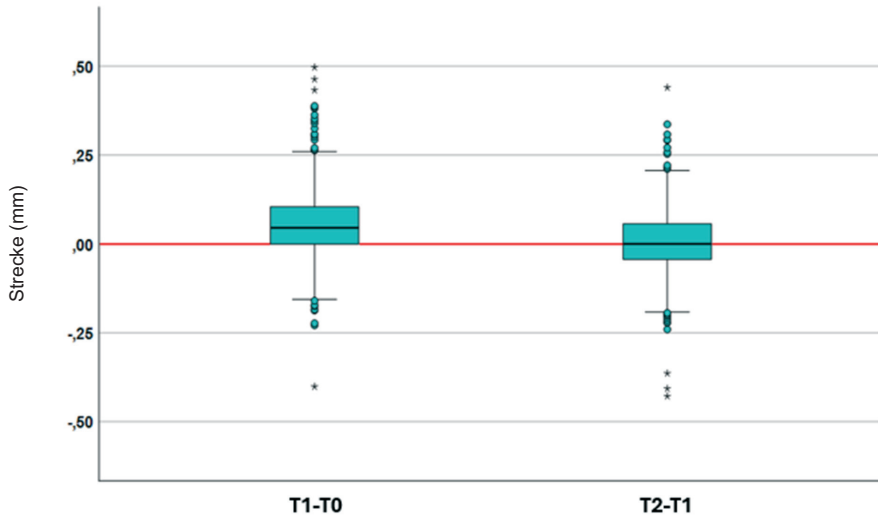


Abb. 4.7: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke p zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

Tabelle 4.4: Zusammenhänge zwischen der Strecke p und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$

Parameter 1	Parameter 2	r	p
p [T0]	Alter [T0]	0,213	< 0,001
p [T1-T0]	A(PAS) [T1]	0,276	0,001

4 Ergebnisse

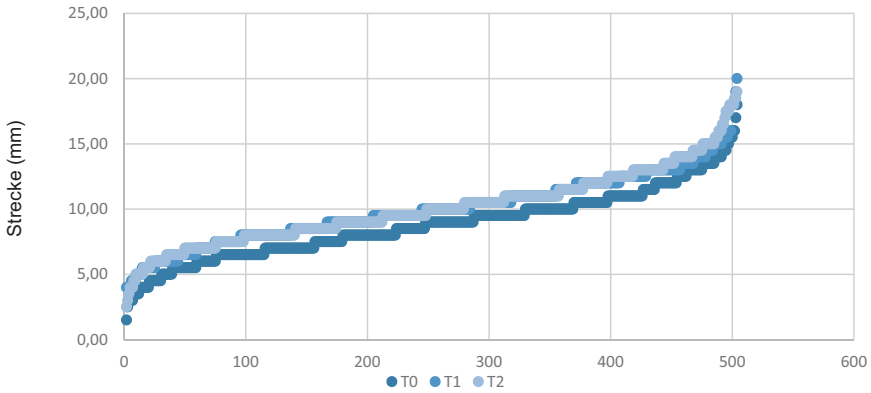


Abb. 4.8: Visuelle Darstellung der Streuungsbreite der Strecke p für die Zeitpunkte T_0 , T_1 und T_2 ; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert.

4.1.3 Strecke t

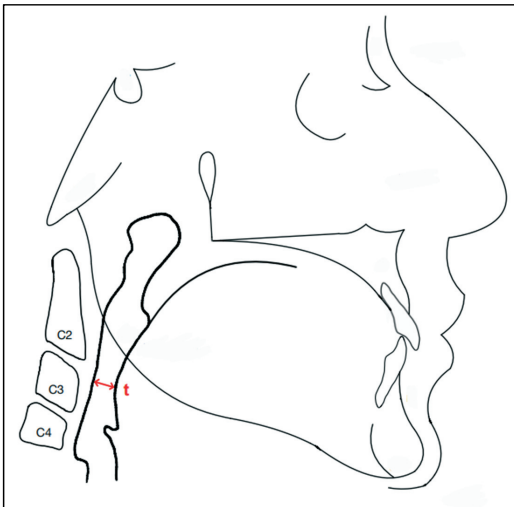


Abb. 4.9: Visuelle Darstellung der Strecke t

Vor der Therapie betrug der Mittelwert der Strecke t 10,0 mm. Im Rahmen der Herbst-Multibracket-Behandlung vergrößerte sich die Strecke signifikant ($p < 0,001$) um durchschnittlich 0,8 mm (+8%) auf 10,8 mm. Während des Nachbeobachtungszeitraumes konnte eine nicht signifikante ($p = 0,181$) Vergrößerung der Strecke um 0,2 mm (+2%) beobachtet werden. Insgesamt kam es während des gesamten Untersuchungszeitraumes (T2-T0) zu einer signifikanten ($p < 0,001$) Vergrößerung der Strecke t um 1,0 mm (+10,0%). Zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 wurde eine Streckenvergrößerung bei 307 Patienten (61%), eine Streckenverkleinerung bei 173 Patienten (34,4%) und eine unveränderte Streckenlänge bei 23 Patienten (4,6%) gemessen. Die Strecke t nahm während der Nachbeobachtungsphase (T2-T1) bei 248 Patienten (49,3%) zu, bei 205 Patienten (40,8%) ab und blieb bei 50 Patienten (9,9%) gleich. Insgesamt zeigten während des gesamten Beobachtungszeitraumes (T0-T2) 291 Patienten (57,9%) eine Streckenzunahme, 179 Patienten (35,6%) eine Streckenabnahme und 33 (6,6%) Patienten zeigten keine Streckenänderung.

Erneut konnten erhebliche interindividuelle Variationen dargestellt werden. Zum Untersuchungszeitpunkt T1 schwankten die Messwerte zwischen 3,0 mm und 23,0 mm. Auch die minimalen (-12,5 mm) und maximalen (+10,5 mm) Veränderungen der Strecke t während der Therapie wiesen deutliche Unterschiede innerhalb des Gesamtpatientenguts auf.

Zu beobachten war ein schwacher, signifikanter ($r = 0,300$; $p = 0,001$) Zusammenhang zwischen der Veränderung der Strecke t während der Therapie (T1-T0) und dem Ausmaß der Fläche A(PAS) nach der Therapie (T1). Dementsprechend zeigte sich, dass die Fläche A(PAS) nach der Therapie umso größer war, je stärker die Streckenzunahme von t während der Therapie ausfiel.

Prätherapeutisch (T0) wurden statistisch signifikant geringere Werte bei den pre-peak-Patienten als bei den peak- ($p = 0,010$) bzw. post-peak-Patienten ($p < 0,001$) ersichtlich. Auch bei den peak-Patienten war die Strecke t vor der Therapie signifikant ($p = 0,023$) kürzer als bei den post-peak-Patienten. Nach der Therapie (T1) gab es ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den pre-peak-Patienten und den peak- ($p < 0,001$) bzw. post-peak-Patienten ($p < 0,001$), wobei die Streckenlänge bei den pre-peak-Patienten geringer ausfiel. Nach dem Beobachtungszeitraum (T2) war die Strecke t lediglich bei den pre-peak-Patienten signifikant ($p = 0,012$) kürzer als bei den peak-Patienten signifikant.

4 Ergebnisse

Tabelle 4.5: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke t [in mm]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T1
MW \pm SD	10,0 \pm 3,3	10,8 \pm 3,3	11,0 \pm 3,6	0,8 \pm 3,2 (8 \pm 32%)	0,2 \pm 3,0 (2 \pm 30%)	1,0 \pm 3,5 (10 \pm 35%)
Median	10,0	10,5	11,0	1,0	0	1,0
Minimum	1,0	3,0	2,5	-12,5	-11,5	-10,5
Maximum	28,0	23,0	22,0	10,5	13,0	12,0
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				0,04 \pm 0,15	0,001 \pm 0,12	
p-Wert				< 0,001	0,181	< 0,001

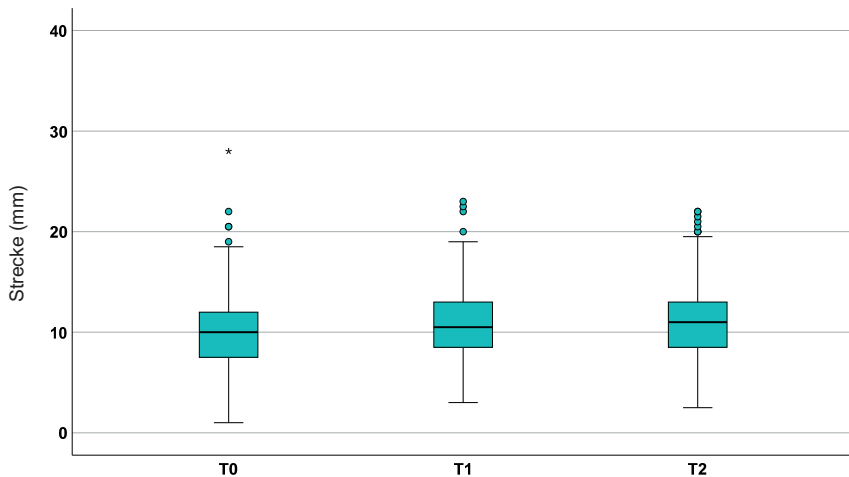


Abb. 4.10: Boxplot-Diagramme für die Strecke 't' zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

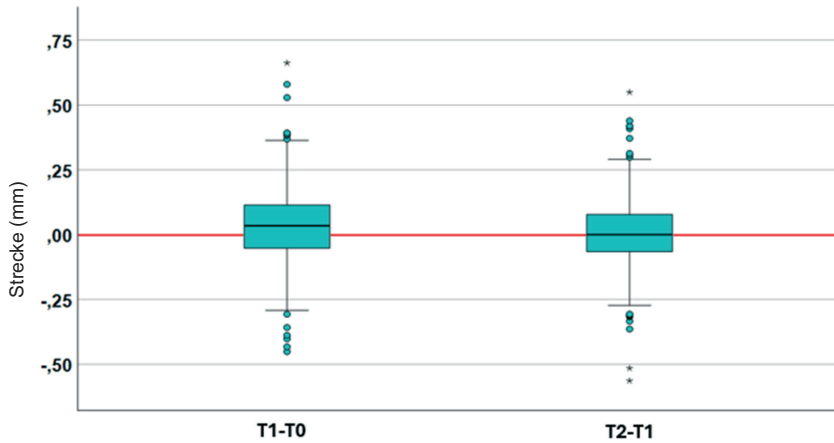


Abb. 4.11: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke t zwischen den Zeitpunkten T_0 und T_1 bzw. T_1 und T_2

Tabelle 4.6: Zusammenhänge zwischen der Strecke t und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$

Parameter 1	Parameter 2	r	p
t [T1-T0]	A(PAS) [T1]	0,300	0,001

4 Ergebnisse

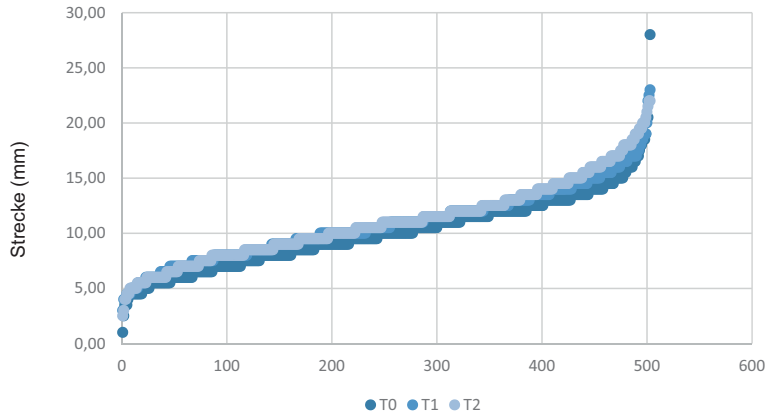


Abb. 4.12: Visuelle Darstellung der Streubreite der Strecke t für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert.

4.1.4 Strecke pC2

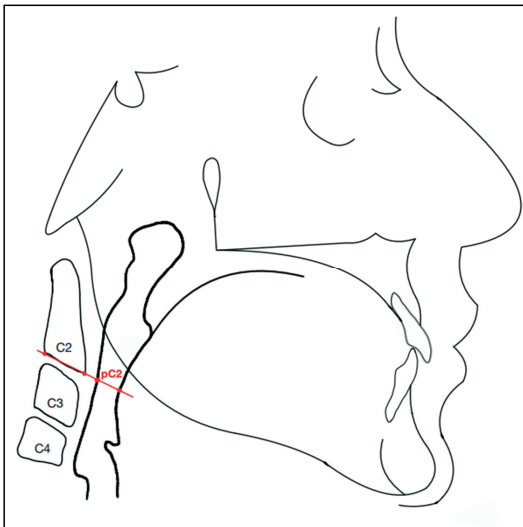


Abb. 4.13: Visuelle Darstellung der Strecke pC2

Der Mittelwert der Strecke pC2 betrug vor der Therapie durchschnittlich 11,4 mm. Während der Behandlung mittels Herbst-Multibracket-Apparatur kam es zu einer signifikanten ($p < 0,001$) Vergrößerung der Strecke um 0,8 mm (+7%) auf 12,2 mm. Auch während des Nachbeobachtungszeitraumes kam es zu einer durchschnittlichen Vergrößerung der Strecke pC2 um 0,3 mm (+2,6%), sodass sie abschließend 12,5 mm betrug. Die Veränderung in diesem Zeitraum war ebenfalls signifikant ($p = 0,029$). Insgesamt konnte eine signifikante ($p < 0,001$) Zunahme der Strecke pC2 von 1,1 mm zwischen den Untersuchungszeitpunkten T0 und T2 konstatiert werden. Dies entspricht einem prozentualen Zuwachs von 9,6%. Während der Behandlung konnte bei 288 Patienten (57,3%) eine Vergrößerung, bei 185 Patienten (36,8%) eine Verkleinerung der Strecke pC2 und bei 30 Patienten (6%) eine Konstanz der Streckenlänge ermittelt werden. Bei insgesamt 253 Patienten (50,3%) nahm die Strecke während der folgenden Nachbeobachtungsphase zu, bei 216 Patienten (42,9%) nahm sie ab und bei 34 Patienten (6,8%) konnte keine Veränderung der Streckenlänge beobachtet werden. Über den gesamten Untersuchungszeitraum konnte eine Vergrößerung bei 296 Patienten (58,8%) festgestellt werden. Bei 180 Patienten (35,8%) verringerte sich die Strecke und bei 27 Patienten (5,4%) blieb sie gleich.

Auch für diesen Hauptzielparameter wurde eine große interindividuelle Variationsbreite ersichtlich. Nach Abschluss der Therapie mit der Herbst-Multibracket-Apparatur konnten Werte für die Strecke pC2 zwischen 4,0 mm (Minimum) und 23,0 mm (Maximum) beobachtet werden.

Ein schwacher, signifikanter ($r = 0,295$; $p = 0,001$) Zusammenhang wurde zwischen der Veränderung der Strecke pC2 während der Therapie (T1-T0) und der Fläche A(PAS) nach der Therapie (T1) festgestellt. Dies bedeutet, dass die Fläche A(PAS) nach der Therapie umso größer war, je ausgeprägter die Streckenzunahme von pC2 während der Therapie war.

Zum Zeitpunkt T0 wurden hinsichtlich der Strecke pC2 statistisch signifikante Unterschiede zwischen pre-peak-Patienten und den peak- ($p = 0,001$) bzw. post-peak-Patienten ($p < 0,001$) beobachtet. Nach der Therapie (T1) wurden ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede zwischen den pre-peak-Patienten und den peak- ($p < 0,001$) bzw. post-peak-Patienten ($p < 0,001$) ersichtlich. Am Ende des Nachbeobachtungszeitraumes (T2) waren die Unterschiede zwischen den pre-peak-Patienten und den peak- ($p = 0,012$) bzw. post-peak-Patienten ($p = 0,049$) ebenfalls statistisch signifikant. Die Strecke pC2 war zu allen Untersuchungszeitpunkten bei den pre-peak-Patienten kürzer als bei den peak- und post-peak Patienten. Zu erwähnen ist außerdem, dass es

4 Ergebnisse

zu keinem Untersuchungszeitpunkt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den peak- und post-peak-Patienten gab.

Tabelle 4.7: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke pC2 [in mm]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	11,4 ± 3,8	12,2 ± 3,8	12,5 ± 4,2	0,8 ± 3,9 (7,0 ± 34,2%)	0,3 ± 3,5 (2,6 ± 30,7%)	1,1 ± 4,0 (9,6 ± 35,1%)
Median	11,0	12,0	12,0	1,0	0,5	1,0
Minimum	2,5	4,0	2,5	-18,5	-11,0	-10,0
Maximum	29,5	23,0	28,5	14,0	12,0	14,5
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				0,03 ± 0,18	0,01 ± 0,15	
p-Wert				< 0,001	0,029	< 0,001

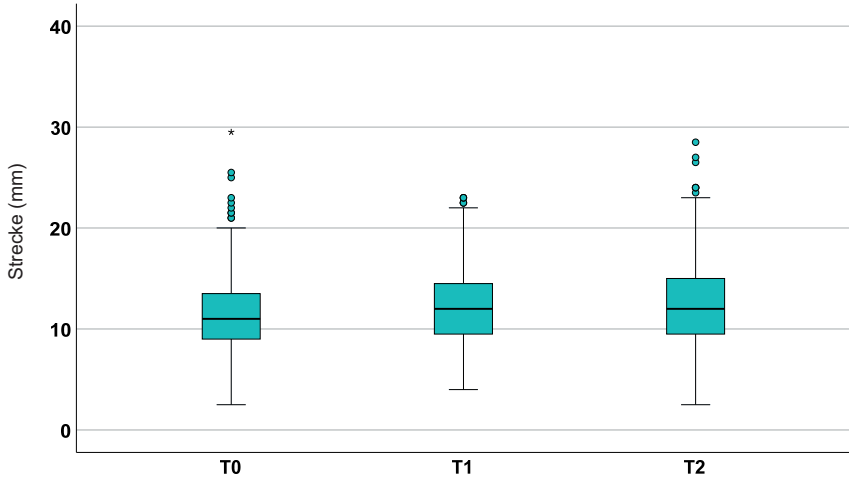


Abb. 4.14: Boxplot-Diagramme für die Strecke ‚pC2‘ zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

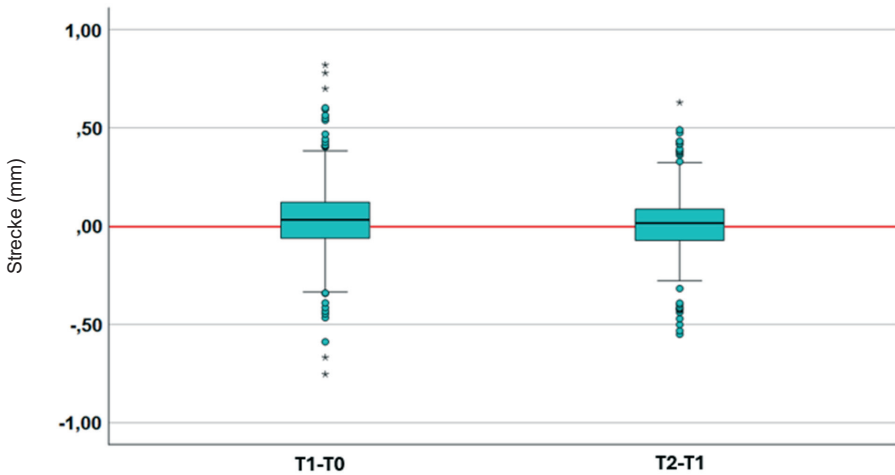


Abb. 4.15: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke pC2 zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

4 Ergebnisse

Tabelle 4.8: Zusammenhänge zwischen der Strecke pC2 und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$

Parameter 1	Parameter 2	r	p
pC2 [T1-T0]	A(PAS) [T1]	0,295	0,001

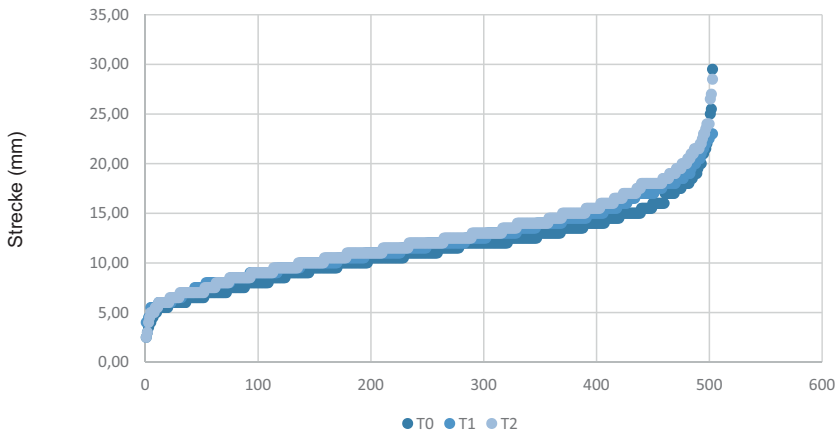


Abb. 4.16: Visuelle Darstellung der Streubreite der Strecke pC2 für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert.

4.1.5 Strecke pC3

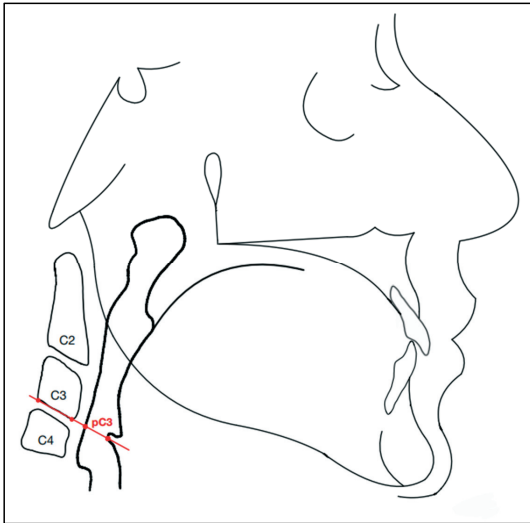


Abb. 4.17: visuelle Darstellung der Strecke pC3

Die Strecke pC3 maß zunächst 13,5 mm und vergrößerte sich während der Therapie um 1,8 mm (+13,3%) auf 15,3 mm. Die Veränderung in diesem Zeitraum war signifikant ($p < 0,001$). Während des Nachbeobachtungszeitraumes kam es ebenfalls zu einer signifikanten ($p < 0,001$) Vergrößerung der Strecke pC3 um 1,0 mm (+7,4%). Insgesamt konnte demnach ein signifikanter Zuwachs ($p < 0,001$) des PAS von 2,8 mm (+20,7%) in diesem Bereich beobachtet werden. Die Strecke pC3 vergrößerte sich im Rahmen der Therapie (T1-T0) bei 335 Patienten (66,6%), verkleinerte sich bei 156 Patienten (31%) und blieb bei 12 Patienten (2,4%) gleich. Während der Nachbeobachtungsphase (T2-T1) kam es bei 277 Patienten (55,1%) zu einer Streckenverlängerung, bei 202 Patienten (40,2%) zu einer Verringerung der Streckenlänge und bei 24 Patienten (4,8%) blieb sie gleich lang. Insgesamt konnte bei 345 Patienten (68,6%) ein Längenzuwachs der Strecke pC3 während des gesamten Untersuchungszeitraumes (T2-T0) gemessen werden. Dahingegen blieb sie bei 23 Patienten (4,6%) gleich und verringerte sich bei 135 Patienten (26,8%).

Die Minima und Maxima der Strecke pC3 unmittelbar nach der Therapie (T1) sprechen auch hier für eine große Variationsbreite. Diese schwanken zwischen 5,0 mm und 31,0 mm. Auch die Werte für minimale (-19,5 mm) und maximale (+15,0 mm) Veränderungen

während der Herbst-Multibracket-Therapie sprechen für große Unterschiede innerhalb des Patientenguts.

Ein schwacher, signifikanter ($r = 0,226$; $p < 0,001$) Zusammenhang konnte zwischen dem Ausmaß der Strecke pC3 vor der Therapie (T0) und dem Alter der Patienten vor der Therapie (T0) konstatiert werden, sodass ältere Patienten nach der Behandlung eine größere Streckenlänge pC3 aufwiesen.

Zwischen den pre-peak-Patienten und den peak- ($p = 0,001$) bzw. post-peak-Patienten ($p < 0,001$) konnten vor der Behandlung signifikante Unterschiede bezüglich der Strecke pC3 beobachtet werden. Auch beim Vergleich zwischen den peak- und post-peak-Patienten wurde ein signifikanter ($p < 0,001$) Unterschied deutlich. Zu diesem Zeitpunkt war die Strecke pC3 bei den pre-peak-Patienten am kürzesten und bei den post-peak-Patienten am längsten. Unmittelbar nach der Herbst-Multibracket-Therapie (T1) wurden ebenso signifikant kleinere Werte bei den pre-peak-Patienten als bei den peak- ($p < 0,001$) bzw. post-peak-Patienten ($p < 0,001$) festgestellt. Nach dem Ende des Untersuchungszeitraumes (T2) war die Strecke bei den pre-peak-Patienten ebenfalls signifikant kürzer als bei den peak- ($p = 0,005$) bzw. post-peak-Patienten ($p = 0,001$). Zu den beiden Untersuchungszeitpunkten T1 und T2 gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen peak- und post-peak-Patienten.

4 Ergebnisse

Table 4.9: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke pC3 [in mm]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	13,5 ± 4,5	15,3 ± 4,7	16,3 ± 5,3	1,8 ± 4,5 (13,3 ± 33,3%)	1,0 ± 4,5 (7,4 ± 33,3%)	2,8 ± 5,1 (20,7 ± 37,8%)
Median	13,0	15,0	16,0	2,0	1,0	2,5
Minimum	1,0	5,0	4,0	-19,5	-12,5	-17,5
Maximum	29,0	31,0	32,5	15,0	15,5	19,5
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				0,08 ± 0,21	0,04 ± 0,19	/
p-Wert				< 0,001	< 0,001	< 0,001

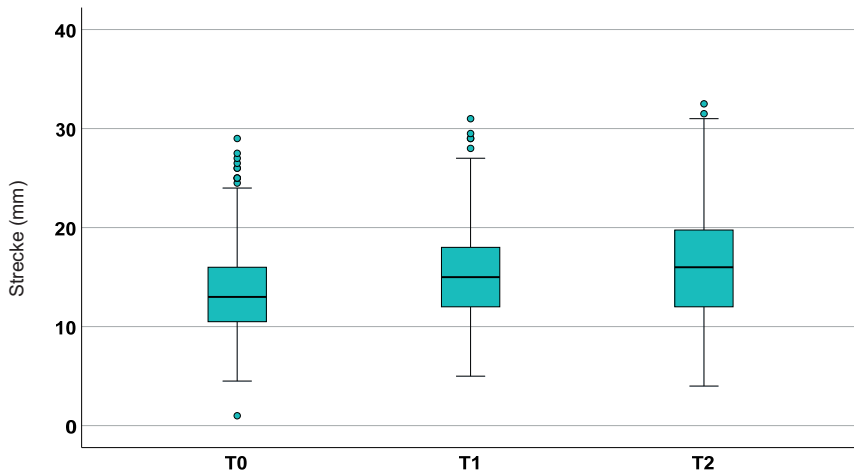


Abb. 4.18: Boxplot-Diagramme für die Strecke ,pC3' zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

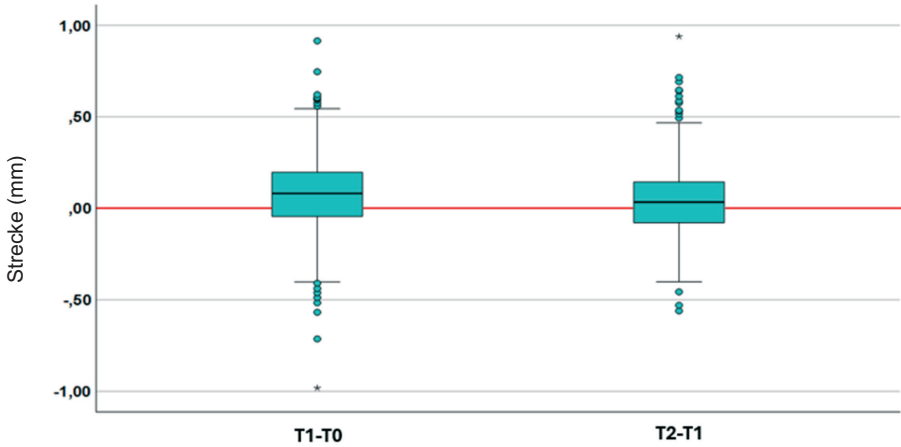


Abb. 4.19: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke pC3 zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

Tabelle 4.10: Zusammenhänge zwischen der Strecke pC3 und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$

Parameter 1	Parameter 2	r	p
pC3 [T0]	Alter [T0]	0,226	< 0,001

4 Ergebnisse

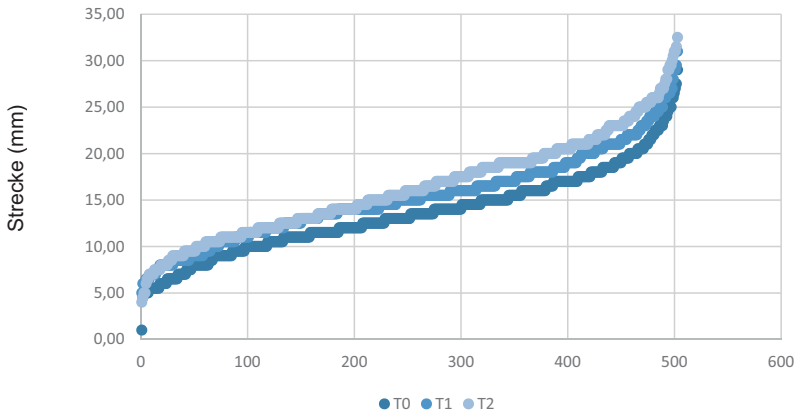


Abb. 4.20: Visuelle Darstellung der Streubreite der Strecke pC3 für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert.

4.1.6 Strecke pC4

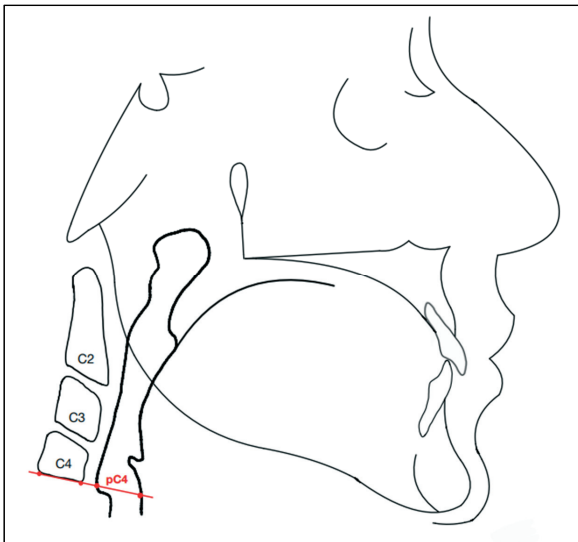


Abb. 4.21: Visuelle Darstellung der Strecke pC4

Vor dem Therapiebeginn betrug die Länge der Strecke pC4 durchschnittlich 15,6 mm. Nach der Behandlung mittels Herbst-Multibracket-Apparatur war sie durchschnittlich 3,0 mm länger (+19,2%) und maß im Mittel 18,6 mm. Die Vergrößerung während der Therapie war signifikant ($p < 0,001$). Es kam zu einer weiteren signifikanten ($p = 0,004$) Vergrößerung des Mittelwertes der Strecke pC4 um 0,8 mm (+5,1%) während des Nachbeobachtungszeitraumes. Demnach konnte insgesamt eine durchschnittliche Vergrößerung um 3,8 mm (+24,4%) beobachtet werden. Im Verlauf der Therapie vergrößerte sich die Strecke pC4 bei 162 Patienten (78,3%), verringerte sich bei 35 Patienten (16,9%) und blieb bei 10 Patienten (4,8%) unverändert. Während der Nachbeobachtungsphase zeigte sich bei 120 Patienten (58%) eine Verlängerung der Strecke, während sie sich bei 73 Patienten (35,2%) verkürzte und bei 14 Patienten (6,8%) unverändert blieb. Insgesamt wurde bei 167 Patienten (80,7%) über den gesamten Untersuchungszeitraum ein Zuwachs in der Länge der Strecke pC4 festgestellt. Im Gegensatz dazu blieb sie bei 7 Patienten (3,4%) unverändert und verringerte sich bei 33 Patienten (15,9%).

Ebenso wie bei den anderen Hauptzielparametern, konnte auch bei der Strecke pC4 eine ausgeprägte interindividuelle Heterogenität dargestellt werden. Nach dem Therapieende (T1) schwankten die Werte zwischen 4,0 mm (Minimum) und 30,0 mm (Maximum).

Es konnte ein mittlerer, signifikanter ($r = 0,527$; $p < 0,001$) Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Strecke pC4 vor der Therapie und dem Alter der Patienten vor der Therapie (T0) beobachtet werden. Dies bedeutet, dass ältere Patienten vor der Behandlung mittels Herbst-Multibracket-Apparatur durchschnittlich größere Streckenlängen für pC4 aufzeigten.

Außerdem wurde ein negativer schwacher, signifikanter Zusammenhang ($r = -0,294$; $p < 0,001$) zwischen der Veränderung der Strecke pC4 während der Therapie (T1-T0) und dem Alter vor der Therapie deutlich. Dasselbe galt für die Veränderung der Strecke pC4 während des gesamten Untersuchungszeitraumes (T2-T0) und dem prätherapeutischen Alter ($r = -0,362$; $p < 0,001$). Diese Beobachtungen lassen darauf schließen, dass ältere Patienten vor der Therapie bereits einen größeren PAS im Bereich des vierten zervikalen Wirbelkörpers hatten als jüngere Patienten. Außerdem vergrößerte sich die Strecke pC4 bei Patienten umso deutlicher, je jünger die Patienten vor der Herbst-Multibracket-Apparatur waren.

Ein schwacher, signifikanter ($r = 0,211$; $p = 0,002$) Zusammenhang konnte zudem zwischen der Strecke pC4 nach der Therapie (T2) und dem Alter der Patienten zum

selben Zeitpunkt konstatiert werden. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass ältere Patienten nach der Behandlung größere Werte für die Strecke pC4 zeigten.

Vor der Behandlung (T0) konnten hinsichtlich der Strecke pC4 signifikante ($p < 0,001$) Unterschiede zwischen allen Reifestadien beobachtet werden, wobei die Strecke bei den pre-peak-Patienten am kürzesten und bei den post-peak-Patienten am längsten war. Nach der Behandlung (T1) gab es lediglich zwischen den pre-peak- und post-peak-Patienten einen signifikanten Unterschied ($p = 0,015$), wobei pre-peak-Patienten geringere Streckenlängen zeigten. Am Ende des Nachbeobachtungszeitraums (T2) hingegen, gab es nur zwischen den peak- und post-peak-Patienten einen signifikanten $p = 0,007$ Unterschied. Hier wiesen die post-peak-Patienten eine längere Strecke pC4 auf als die peak-Patienten.

Wie bei der Fläche A(PAS) wurden auch hinsichtlich der Strecke pC4 nicht alle 503 Patienten betrachtet, sondern nur die Patienten, bei denen der vierte zervikale Wirbelkörper und die Strecke pC4 auf dem FRS vollständig abgebildet war ($n = 207$).

Tabelle 4.11: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke pC4 [in mm]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	15,6 ± 4,1	18,6 ± 4,4	19,4 ± 4,6	3,0 ± 4,1 (19,2 ± 26,3%)	0,8 ± 3,8 (5,1 ± 24,4%)	3,8 ± 4,7 (24,4 ± 30,1%)
Median	15,0	18,0	18,5	2,5	1,0	3,0
Minimum	4,0	4,0	8,5	-9,0	-11,0	-9,5
Maximum	30,0	30,5	34,0	14,0	15,0	18,0
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				0,14 ± 0,2	0,03 ± 0,16	
p-Wert				< 0,001	0,004	< 0,001

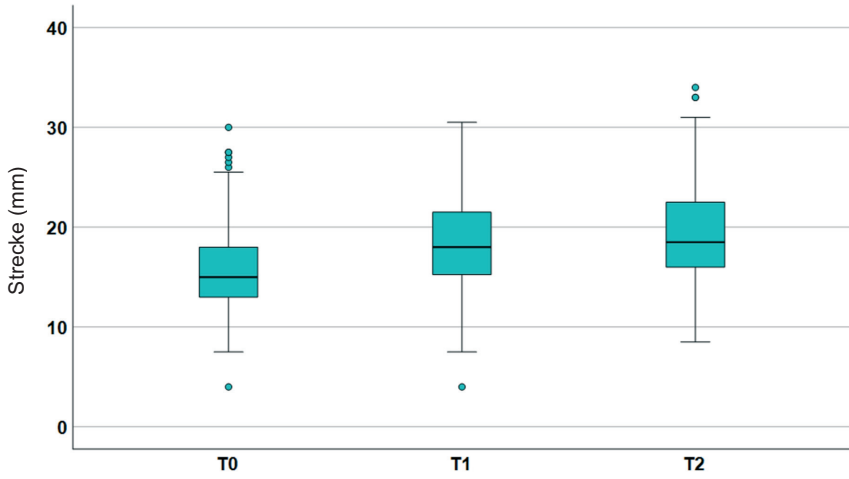


Abb. 4.22: Boxplot-Diagramme für die Strecke „pC4“ zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

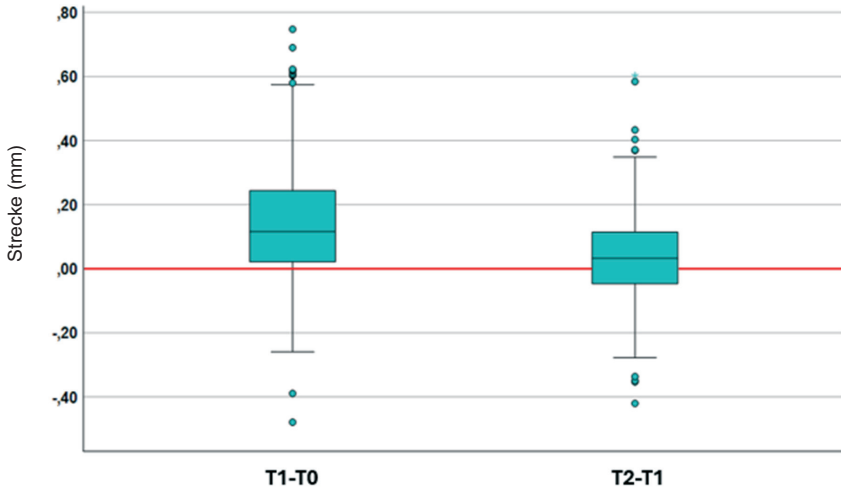


Abb. 4.23: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke pC4 zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

Tabelle 4.12: Zusammenhänge zwischen der Strecke pC4 und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$

Parameter 1	Parameter 2	r	p
pC4 [T0]	Alter [T0]	0,527	< 0,001
pC4 [T1-T0]	Alter [T0]	-0,294	< 0,001
pC4 [T2-T0]	Alter [T0]	-0,362	< 0,001
pC4 [T1]	Alter [T1]	0,211	0,002

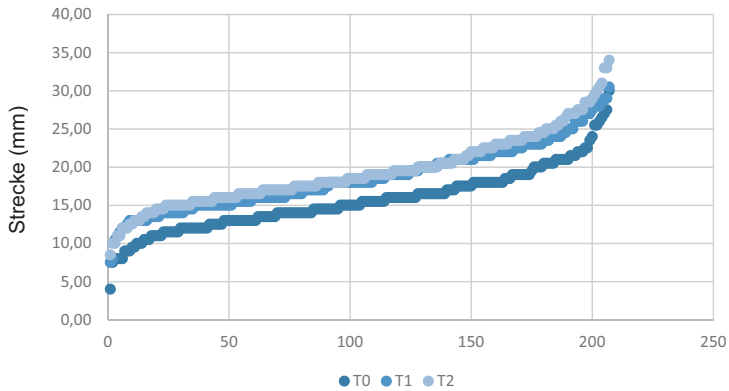


Abb. 4.24: visuelle Darstellung der Streuungsbreite der Strecke pC4 für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert.

4.2 Nebenzielparameter

4.2.1 Overjet

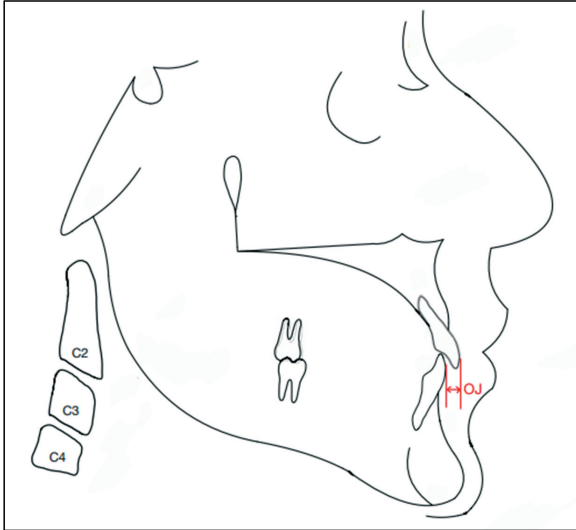


Abb. 4.25: visuelle Darstellung des Overjets

Der Mittelwert des Overjets betrug vor der Therapie mit der Herbst-Multibracket-Apparatur 7,8 mm und verringerte sich durch die Therapie um durchschnittlich 4,7 mm (-60,2%) auf 3,1 mm. Während des Nachbeobachtungszeitraumes konnte eine Vergrößerung des Overjets um 0,5 mm (+6,4%) beobachtet werden. Insgesamt verkleinerte sich demnach die sagittale Frontzahnstufe um 4,2 mm (53,8%).

Vor allem vor der Behandlung konnte bei diesem Parameter eine erhebliche interindividuelle Variation dargestellt werden. Der Overjet schwankte zu diesem Zeitpunkt (T0) zwischen 1,0 mm und 22,0 mm.

Tabelle 4.13: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des Overjets [in mm]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	7,8 ± 2,4	3,1 ± 1,0	3,6 ± 1,0	-4,7 ± 2,4 (-60,2 ± 31,8%)	0,5 ± 1,1 (6,4 ± 14,1%)	-4,2 ± 2,3 (-53,8 ± 29,5%)
Median	7,5	3,0	3,5	-4,5	0,5	-4,0
Minimum	1,0	0	0	-9,0	-8,0	-18,0
Maximum	22,0	10,0	9,0	14,0	5,0	3,0
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				-0,21 ± 0,14	0,02 ± 0,05	

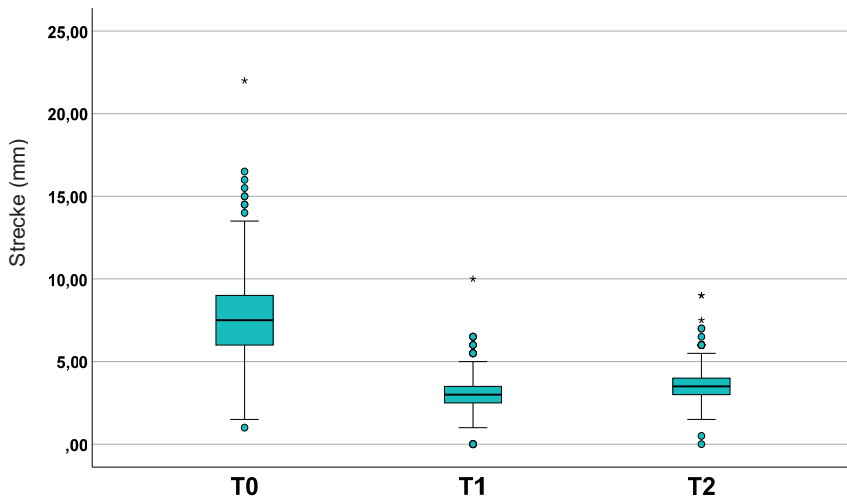


Abb. 4.26: Boxplot-Diagramme für den Overjet zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

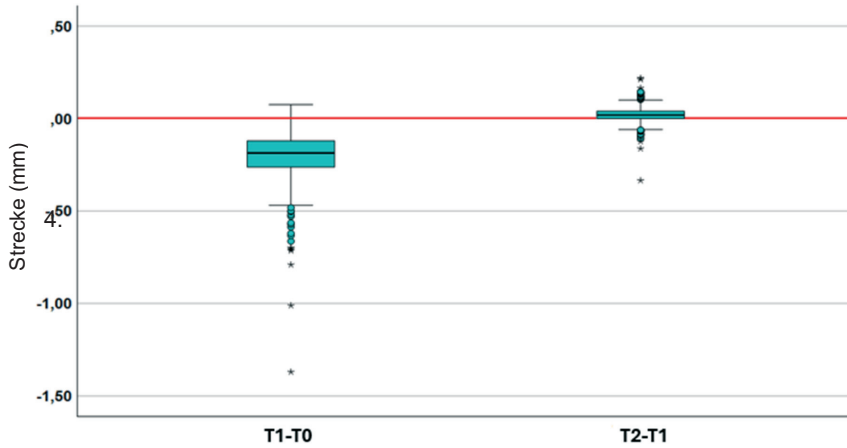


Abb. 4.27: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat des Overjets zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

2.2 Wits appraisal

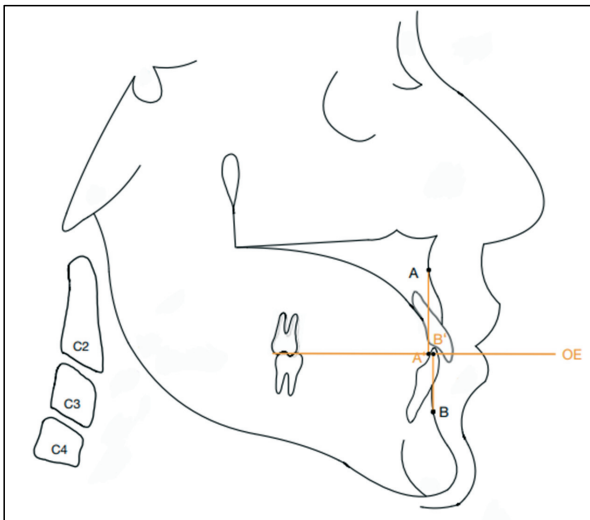


Abb. 4.28: visuelle Darstellung des Wits appraisal

4 Ergebnisse

Vor Therapiebeginn konnte ein durchschnittlicher Wert von 3,7 mm für das Wits appraisal gemessen werden. Dieser verringerte sich im Rahmen der Therapie um 3,5 mm (-94,6%) auf 0,2 mm. Das Wits appraisal rezidierte während der Nachbeobachtungsphase um 0,4 mm (10,8%) auf 0,6 mm. Im Mittel konnte demnach eine Verringerung des Wits appraisal um 3,1 mm (-83,8%) zwischen T0 und T2 beobachtet werden.

Eine große interindividuelle Inhomogenität wurde erneut ersichtlich. Vor der Therapie schwankten die Messwerte zwischen -4,5 mm und 16,0 mm.

Tabelle 4.14: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des Wits appraisal [in mm]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	3,7 ± 2,5	0,2 ± 2,4	0,6 ± 2,4	-3,5 ± 2,3 (-94,6 ± 62,2%)	0,4 ± 1,6 (10,8 ± 43,2%)	-3,1 ± 2,3 (-83,8 ± 62,2%)
Median	3,5	0	0,5	-3,5	0,5	-3,0
Minimum	-4,5	-7,5	-6,0	-12,5	-6,5	-11,5
Maximum	16,0	7,5	10,0	4,0	6,5	4,5
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				-0,16 ± 0,12	0,02 ± 0,07	

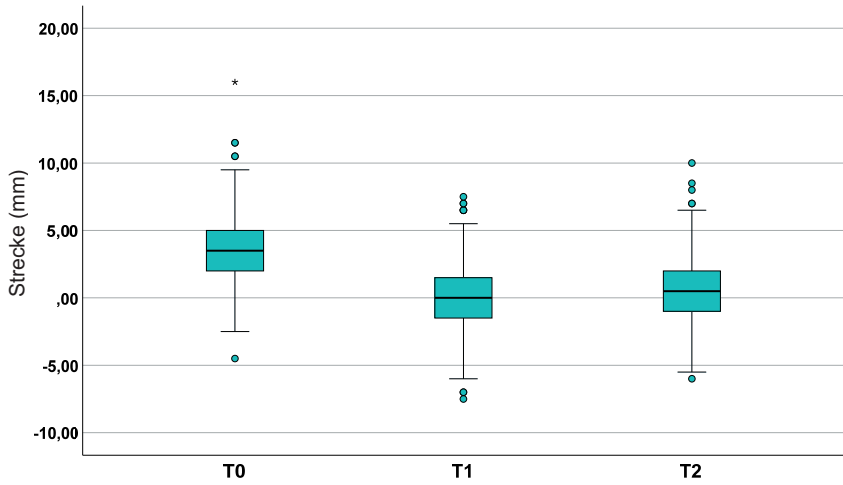


Abb. 4.29: Boxplot-Diagramme für das Wits appraisal zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

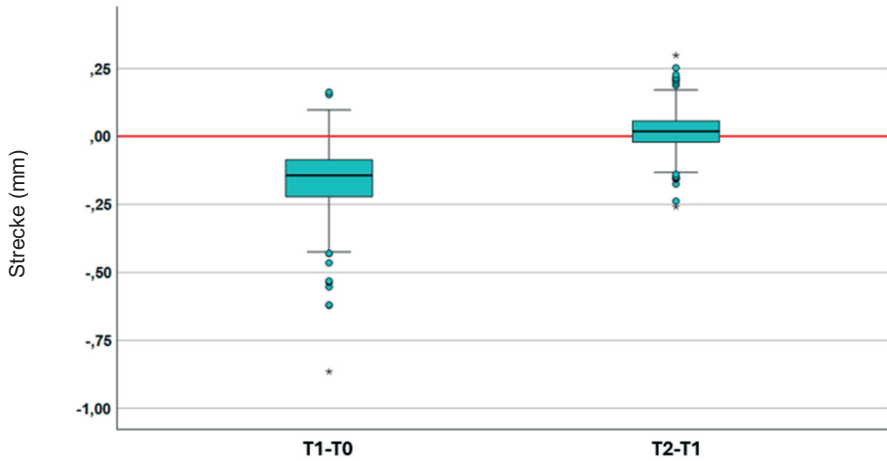


Abb. 4.30: Boxplot-Diagramme für die Veränderung pro Monat des Wits appraisal zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

4.2.3 ANB-Winkel

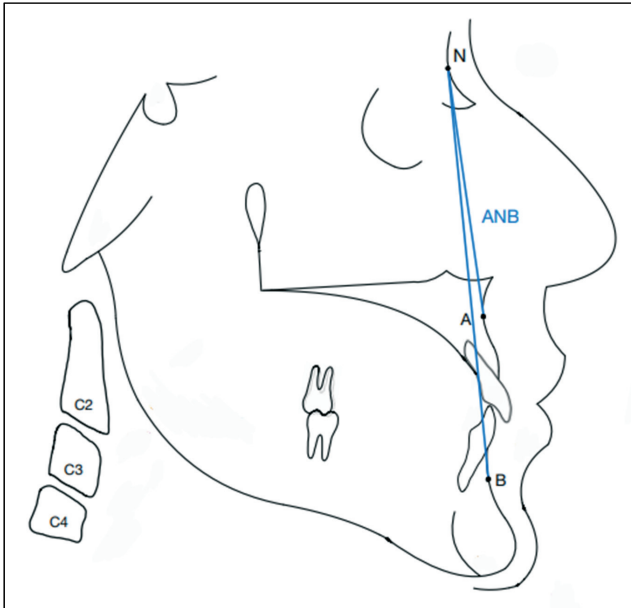


Abb. 4.31: visuelle Darstellung des ANB-Winkels

Für den ANB-Winkel wurde vor der Herbst-Multibracket-Behandlung ein durchschnittlicher Wert von $5,0^\circ$ gemessen. Der Winkel verkleinerte sich während der Therapie um $1,5^\circ$ (-30,0%) und während der Nachbeobachtungsphase um weitere $0,1^\circ$ (-2,0%) im Durchschnitt. Insgesamt konnte also eine Verkleinerung des ANB-Winkels um $1,6^\circ$ (-32,0%) auf $3,4^\circ$ beobachtet werden.

Vor dem Behandlungsbeginn (T0) lagen auch bei diesem Parameter die Werte für Minimum ($-0,5^\circ$) und Maximum ($13,5^\circ$) weit auseinander, sodass erneut eine große Variationsbreite konstatiert werden kann.

Tabelle 4.15: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des ANB-Winkels [in Grad]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	5,0 ± 2,1	3,5 ± 2,2	3,4 ± 2,2	-1,5 ± 1,5 (-30 ± 30,0%)	-0,1 ± 1,1 (-2 ± 22,0%)	-1,6 ± 1,7 (-32 ± 34,0%)
Median	5,0	3,5	3,5	-1,5	0	-1,5
Minimum	-0,5	-3,0	-4,0	-9,5	-4,5	-9,0
Maximum	13,5	10,5	11,5	3,5	4,0	3,5
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				-0,07 ± 0,07	-0,003 ± 0,05	

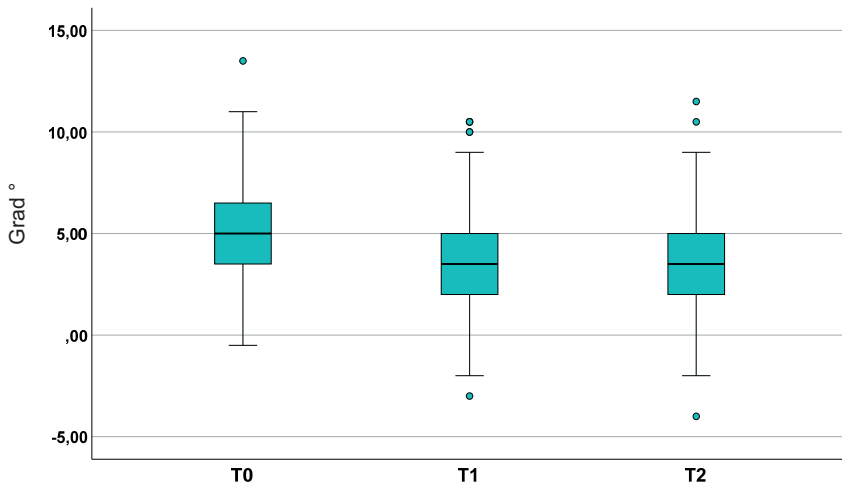


Abb. 4.32: Boxplot-Diagramme für den ANB-Winkel zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

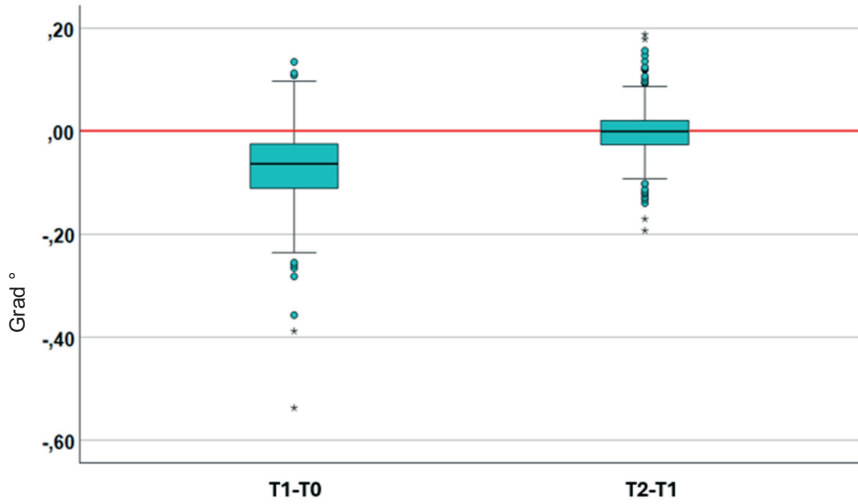


Abb. 4.33: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat des ANB-Winkels zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

4.2.4 ML/NSL-Winkel

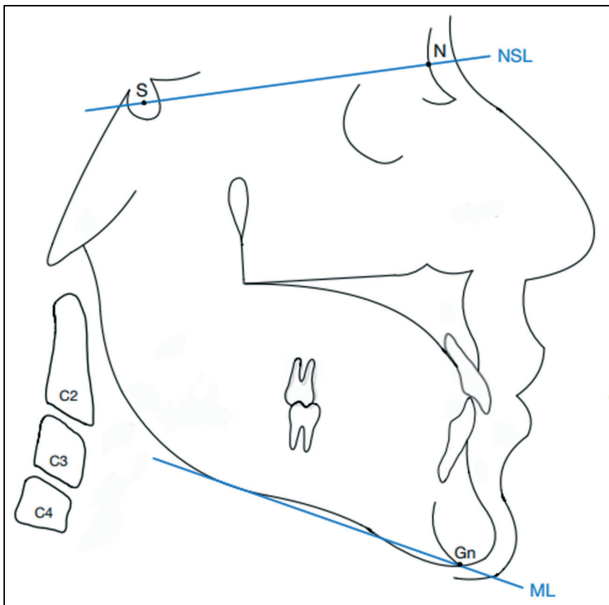


Abb. 4.34: visuelle Darstellung des ML/NSL-Winkels

4 Ergebnisse

Der Winkel ML/NSL betrug vor der Therapie durchschnittlich 32,0°. Er verringerte sich zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 um 0,4 Grad (-1,3%) auf 31,6°. Eine weitere Verkleinerung des Winkels um 1,0° (-3,1%) konnte während der Nachbeobachtungsphase ermittelt werden. Über den gesamten Untersuchungszeitraum (T2-T0) verringerte sich demnach der ML/NSL-Winkel um 1,4° (-4,4%) im Durchschnitt.

Die minimalen und maximalen Werte für den Winkel ML/NSL schwankten vor der Therapie (T0) zwischen 16,0° und 48,0°, sodass man auch bezüglich dieses Parameters von einer großen interindividuellen Heterogenität sprechen kann.

Tabelle 4.16: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des ML/NSL-Winkels [in Grad]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	32,0 ± 5,9	31,6 ± 6,5	30,6 ± 6,9	-0,4 ± 2,4 (-1,3 ± 7,5%)	-1,0 ± 1,9 (-3,1 ± 5,9%)	-1,4 ± 3,0 (-4,4 ± 9,4%)
Median	32,0	31,5	30,5	-0,5	-1,0	-1,5
Minimum	16,0	14,0	12,0	-10,0	-13,0	-11,5
Maximum	48,0	50,5	55,0	11,0	6,5	12,0
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				-0,02 ± 0,11	-0,04 ± 0,07	

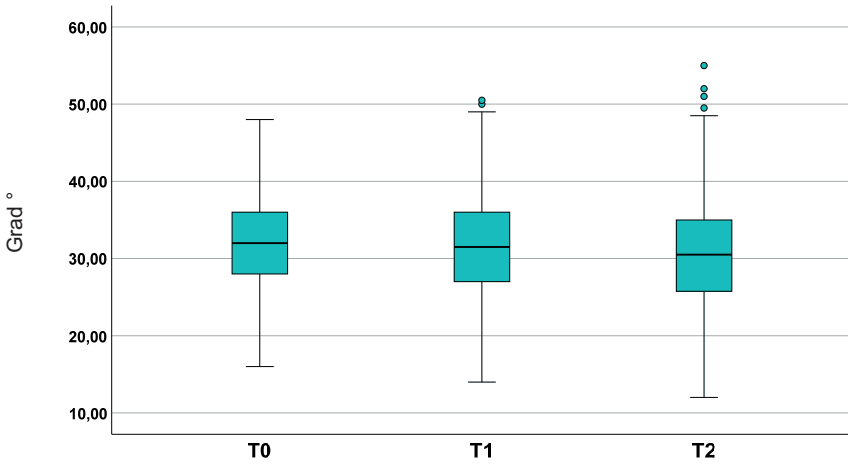


Abb. 4.35: Boxplot-Diagramme für den ML/NSL-Winkel zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

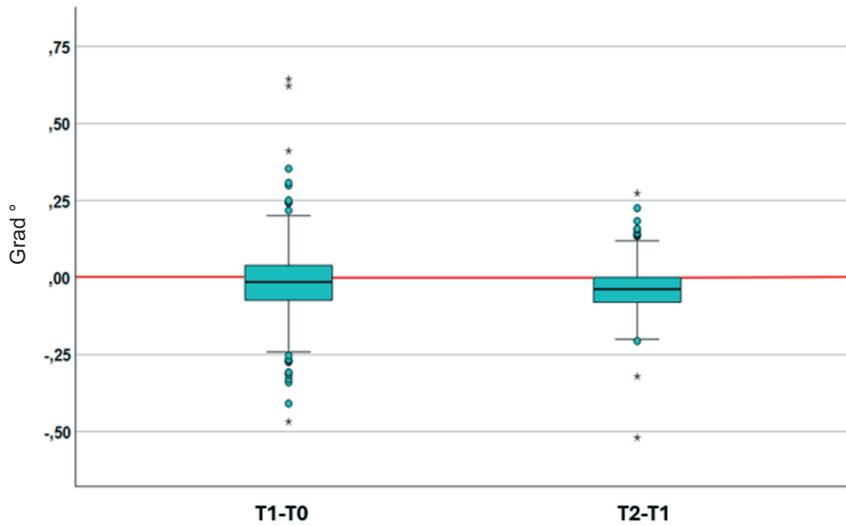


Abb. 4.36: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat des ML/NSL-Winkels zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

4.2.5 ArGo'Gn-Winkel

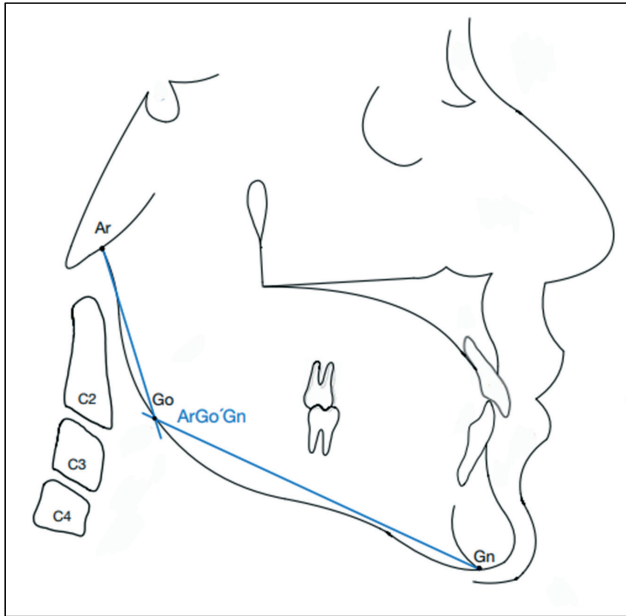


Abb. 4.37: visuelle Darstellung des ArGo'Gn-Winkels

Vor der Therapie mittels Herbst-Multibracket-Apparatur betrug der Mittelwert des Winkels ArGo'Gn $122,4^\circ$. Er verringerte sich im Rahmen der Therapie um $0,8^\circ$ (-0,7%). Während des Nachbeobachtungszeitraums wurde eine weitere Verkleinerung des Mittelwerts um $1,0^\circ$ (-0,8%) beobachtet. Zwischen den Untersuchungszeitpunkten T0 und T2 wurde demnach eine durchschnittliche Verkleinerung des ArGo'Gn-Winkels um $1,8^\circ$ (-1,4%) festgestellt.

Eine deutliche interindividuelle Variation wurde anhand der Werte für Minimum ($104,5^\circ$) und Maximum ($145,0^\circ$) zum Zeitpunkt T0 ersichtlich.

4 Ergebnisse

Tabelle 4.17: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des ArGo'Gn-Winkels [in Grad]

	T0	T1	T2	T1-T0	T2-T1	T2-T0
MW ± SD	122,4 ± 6,5	121,6 ± 6,7	120,6 ± 6,8	-0,8 ± 2,8 (-0,7 ± 2,3%)	-1,0 ± 2,8 (-0,8 ± 2,3%)	-1,8 ± 3,5 (-1,4 ± 2,9%)
Median	122,0	121,5	120,5	-0,5	-1,0	-1,5
Minimum	104,5	102,0	101,5	-10,0	-10,5	-14,0
Maximum	145,0	149,0	148,5	9,0	16,0	17,0
Durchschnittliche Veränderung pro Monat				-0,03 ± 0,13	-0,04 ± 0,12	

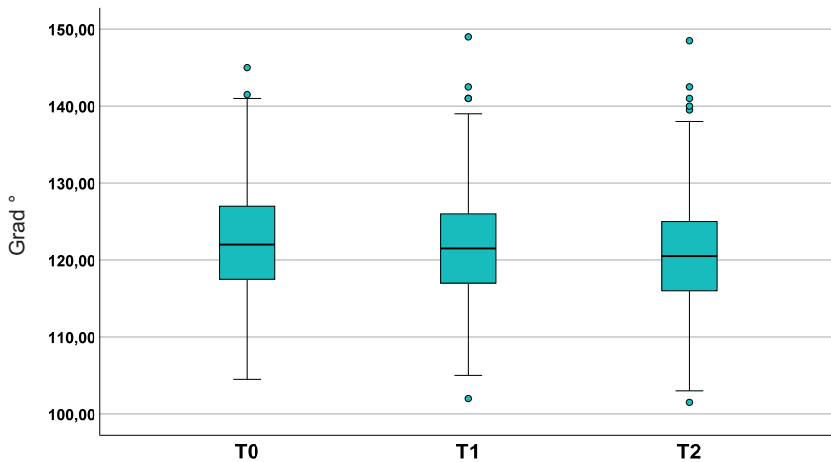


Abb. 4.38: Boxplot-Diagramme für den ArGo'Gn-Winkel zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2

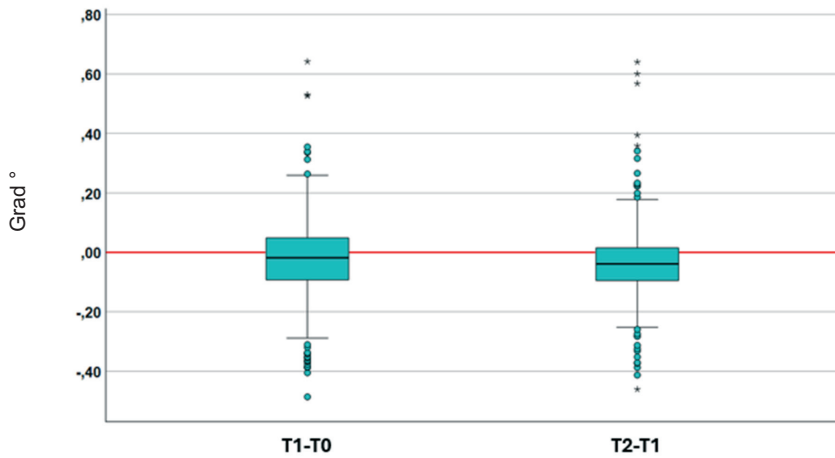


Abb. 4.39: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat des ArGo'Gn-Winkels zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2

5 DISKUSSION

5.1 Diskussion der Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die Veränderungen des pharyngealen Luftweges bei insgesamt 503 Klasse II:1-Patienten während und nach der Therapie mittels Herbst-Multibracket-Apparatur ausgewertet. Hierzu wurden jeweils vor der Therapie, unmittelbar nach der Therapie und nach einem mindestens einjährigen Nachbeobachtungszeitraum angefertigte FRS vermessen.

5.1.1 Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv der Untersuchung bestand aus insgesamt 503 Patienten, die vor der Behandlung mit der Herbst-Multibracket-Apparatur eine Malokklusion der Angle-Klasse II:1 aufwiesen. Außerdem lagen aufgrund der standardisierten Dokumentation für diese Patienten zu allen drei Untersuchungszeitpunkten jeweils ein entsprechendes FRS vor. Zu erwähnen ist, dass die Ausprägung der Distalbisslage innerhalb des Patientenkollektivs nicht bestimmt wurde. Allerdings stellt der gemessene Overjet einen relevanten Parameter für den Schweregrad der Angle Klasse II:1 dar, da er die sagittale Frontzahnstufe beschreibt. Der Overjet lag bei 80,5% der Patienten zwischen 5,0 mm und 10,0 mm. Dies zeigt, dass zumindest ein Großteil der Patienten eine deutlich vergrößerte sagittale Frontzahnstufe aufwies und eine gewisse Homogenität innerhalb des Patientenguts vorhanden war. Dennoch muss festgehalten werden, dass insgesamt eine deutliche interindividuelle Variation bezüglich des Overjets festgestellt wurde, welche auch als ein möglicher Grund für die große Variationsbreite bei den Veränderungen des pharyngealen Luftweges während der Behandlung angesehen werden sollte.

Es gilt zudem zu beachten, dass sich das Patientenkollektiv der Untersuchung aus Patienten unterschiedlichen Alters zusammensetzt. Fast alle Patienten wiesen vor und während der Therapie ein mehr oder weniger ausgeprägtes physiologisches Restwachstum auf (pre-peak: n = 116; peak: n = 238; post-peak: n = 149), sodass es sich bei allen gemessenen Streckenveränderungen, die im Rahmen der Herbst-Multibracket-Therapie beobachtet wurden, um Bruttowerte handelt. Es kann nicht genau bestimmt werden, welche Veränderungen tatsächlich auf die Therapie und welche Veränderungen auf das physiologische Wachstum der Patienten zurückzuführen sind, da es aus

ethischen Gründen bzw. Gründen des Strahlenschutzes keine Kontrollgruppe unbehandelter Patienten mit der Angle-Klasse II:1 gab.

Um die Vergleichbarkeit der Patienten und deren Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten, wurden bei der Patientenrekrutierung alle Probanden ausgeschlossen, die keine Multibracket-Behandlung erfuhren, keinen mindestens zwölfmonatigen Nachbeobachtungszeitraum abgeschlossen haben oder bei denen keine Röntgenbilder zu mindestens einem der drei Untersuchungszeitpunkte vorlagen.

5.1.2 Methode

Die standardisierte Anfertigung von Fernröntgenseitenbildern ist ein wesentlicher Bestandteil der kieferorthopädischen Diagnostik und Behandlung. Durch eine konstante und reproduzierbare Positionierung der Patienten während der Röntgenaufnahme wird sichergestellt, dass die Bildqualität ähnlich ist und somit zuverlässige Messungen durchgeführt werden können. Hierzu tragen außerdem die konstanten Abstände zwischen Röntgensensor und dem Objekt sowie dem Röntgenaustrittsfenster und dem Objekt bei. Aus den standardisierten Abständen bei der Anfertigung der Röntgenbilder resultiert auch eine konstante Vergrößerung der dargestellten Strukturen. Dies ist besonders wichtig, um den Behandlungsverlauf zu dokumentieren und Veränderungen in der Kiefer- und Zahnstellung möglichst präzise beurteilen zu können. Die Standardisierung minimiert zudem potenzielle Fehler in der radiologischen Darstellung, die durch Variationen in der Kopfposition oder den Einstellungsparametern entstehen könnten, und gewährleistet eine hohe Zuverlässigkeit bei der Diagnostik über verschiedene Zeitpunkte während einer kieferorthopädischen Behandlung hinweg.

Oftmals wird im Rahmen der OSA-Therapie auch der Einfluss der Körperhaltung während der Bildgebung auf das Ausmaß des pharyngealen Luftweges diskutiert. So konnten *Pae et al.*⁷³ bereits belegen, dass die Körperhaltung einen substanziellen Einfluss auf die Lage der Weichgewebe und somit auch auf das Ausmaß des pharyngealen Luftweges hat. Auch *Hellsing et al.*⁴² stellten in einer Untersuchung dar, dass eine Extension der Halswirbelsäule um 20 Grad einen signifikanten Einfluss auf die kephalometrische Dimension der Luftwege hat. In der vorliegenden Untersuchung

wurden alle einbezogenen FRS zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten in aufrechter Körperhaltung angefertigt. Gemäß der in Kapitel 3.1 definierten Ausschlusskriterien, wurden Patienten, die für eine der angefertigten Aufnahmen augenscheinlich keine aufrechte Haltung im Röntgengerät eingenommen hatten, nicht in die Untersuchung einbezogen. Daher kann der Einfluss der Körperposition auf die Veränderung des PAS durch die Herbst-Multibracket-Apparatur in dieser Untersuchung vernachlässigt werden.

Als Limitation der vorliegenden Untersuchung muss die Auswertung zweidimensionaler Röntgenbilder zur Beurteilung eines dreidimensionalen anatomischen Raumes genannt werden. Demnach liefert das FRS zwar Informationen über den pharyngealen Luftweg in der sagittalen und vertikalen Dimension, jedoch können keine Aussagen über die transversale Ausbreitung getroffen werden. Es kann daher auch keine Aussage über das Volumen des PAS getroffen werden, sodass die generelle Aussagekraft eingeschränkt ist.^{10,88} Dreidimensionale Aufnahmen wie beispielsweise MRT, CT und DVT bieten den Vorteil, dass eine Volumenberechnung des pharyngealen Luftweges möglich ist.^{7,9,57,99}

Die Arbeitsgruppe um *Becker et al.*¹³ beurteilte in einer Untersuchung die Validität des FRS im Rahmen der Apnoetherapie mit Protrusionsschienen. Hierzu wurde der PAS jeweils im MRT und im FRS vermessen. Anschließend wurden die Ergebnisse miteinander verglichen. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass das reale Lumen, welches im MRT gemessen wurde, durchschnittlich 11-12% kleiner war als die linearen Werte im FRS, sodass sie eine Spezifität von 88% konstatierten. Sie beobachteten eine lineare Korrelation zwischen den Ergebnissen im FRS und denen im MRT, was darauf hinweist, dass, auch wenn die Bewertung absoluter Werte eingeschränkt ist, die relative Bewertung longitudinaler Veränderungen möglich ist.

Die Ergebnisse der Untersuchung von *Souza Carvalho et al.*⁹⁸ weisen ebenfalls darauf hin, dass die Dimension der Veränderung des pharyngealen Luftweges keine erheblichen Unterschiede zwischen der zweidimensionalen und der dreidimensionalen Bildgebung zeigt. Die Arbeitsgruppe untersuchte sowohl DVTs als auch FRS nach einer bimaxillären Umstellungsosteotomie bei Klasse-II-Patienten. Unmittelbar nach der Operation zeigte sich eine durchschnittliche Vergrößerung des PAS von +41,6% im DVT und +46,8% im FRS.

Gemäß *Rose et al.*⁸⁸ wird die genaue Beurteilung des Pharynx in zweidimensionalen Röntgenbildern durch mögliche physiologische Verformungen, die durch angelagerte Strukturen oder den physiologisch ovalen Querschnitt des primär muskulären Pharynx verursacht werden, eingeschränkt. Daher ist die realistische Beurteilung des PAS durch zweidimensionale Röntgenbilder beeinträchtigt. Anatomisch bedingte Obstruktionen des pharyngealen Luftweges können aus diesem Grund nur mithilfe dreidimensionaler Bildgebung eindeutig dargestellt werden. Nichtsdestotrotz wurden in der vorliegenden Untersuchung zweidimensionale Röntgenbilder verwendet um die Veränderungen des pharyngealen Luftweges während und nach der Herbst-Multibracket-Therapie bei Klasse II:1-Patienten an einem möglichst großen Patientengut beurteilen zu können. Aufgrund des Strahlenschutzes und aus ethischen Gründen wäre dies nicht mithilfe von dreidimensionalen Aufnahmen möglich gewesen. Trotz der Vorteile der dreidimensionalen gegenüber der zweidimensionalen Bildgebung, sollte in dieser Studie eine Auswertung von Fernröntgenseitenbildern erfolgen. Die Anfertigung von Fernröntgenseitenbildern zu verschiedenen Zeitpunkten der kieferorthopädischen Therapie ist Bestandteil standardisierter Diagnostik, wohingegen gemäß der S2k-Leitlinie für dentale digitale Volumentomographie bei kieferorthopädischen Patienten nur sehr selten und unter strenger Indikationsstellung DVTs angefertigt werden dürfen.²⁸ Dies bedeutet, dass eine longitudinale Untersuchung mittels dreidimensionaler Bildgebung an einem hinreichend großen Patientengut kaum möglich erscheint.

Zu erwähnen ist außerdem, dass dreidimensionale Bildgebungen zwar einige diagnostische Vorteile bieten, aber im klinischen Alltag nicht immer umgesetzt werden können. So ist das Anfertigen von FRS zu verschiedenen Therapiezeitpunkten – wie bereits in Kapitel 2 dargestellt – gemäß der Leitlinie das Standardvorgehen bei kieferorthopädischen Behandlungen.²⁸ Hinzu kommt, dass die Anfertigung von dreidimensionalen Aufnahmen bis zu 17 Sekunden dauern kann.^{21,45} Es kann nicht sichergestellt werden, dass die Patienten in dieser Zeit weder atmen noch schlucken und dadurch gegebenenfalls die Dimension des PAS beeinflussen.²¹

Alle analogen Röntgenbilder wurden mithilfe eines Lichtkastens in einem abgedunkelten Raum ausgewertet und vermessen. Auch die Röntgenbilder, die in digitaler Form vorlagen, wurden mithilfe eines Programmes unter gleichen Umständen ausgemessen. Durch die standardisierte Auswertung der analogen und digitalen Röntgenbilder wird die Vergleichbarkeit der Röntgenbilder zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten

gewährleistet. In vorangegangenen Untersuchungen konnte bereits gezeigt werden, dass beide Methoden (digital und analog) ähnliche Ergebnisse für fast alle kephalometrischen Parameter liefern.^{20,84}

Ein zentraler Aspekt bei der Auswertung von Röntgenbildern ist die Reproduzierbarkeit der Messungen. Diese wurde durch die Intraklassenkorrelation (ICC, zweifach zufällig, konsistent, einzelne Maße) dargestellt. Alle gemessenen Haupt- und Nebenzielparameter zeigten zu den drei Untersuchungszeitpunkten eine sehr starke Übereinstimmung ($r > 0,91$). Dies wurde durch das standardisierte Verfahren bei der Auswertung der analogen und digitalen Röntgenbilder erzielt. Außerdem kam es aufgrund der Auswertung durch denselben Untersucher vermutlich nur zu wenigen subjektiven Fehlidentifizierungen kephalometrischer Referenzpunkte. Ein weiterer Grund für die hohe Reproduzierbarkeit ist die Messgenauigkeit, da alle Haupt- und Nebenzielparameter mit einer Genauigkeit von 0,5 mm bzw. 0,5 Grad gemessen wurden. Kleine Abweichungen zwischen der Erst- und Zweitmessung könnten durch das Runden der gemessenen Werte untergehen.

Trotz der diskutierten Vorteile von dreidimensionalen gegenüber zweidimensionalen Aufnahmen, wurden in der vorliegenden Untersuchung FRS zur Beurteilung des pharyngealen Luftweges herangezogen, damit eine longitudinale Auswertung an einem hinreichend großen Patientengut durchgeführt werden konnte. Eine solche Untersuchung wäre aus den oben genannten Gründen mit Daten aus dreidimensionaler Bildgebung aktuell nicht möglich gewesen. Darüber hinaus war die Auswertung von lateralen Röntgenaufnahmen in fast allen bisherigen Studien zur kieferorthopädischen Beeinflussung des PAS die Standardmethode.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

Bislang gibt es keine Untersuchung, die die longitudinale Veränderung des PAS während und nach Klasse II:1-Therapie mittels Herbst- und Multibracket-Apparatur an einem großen Patientenkollektiv untersucht hat. Außerdem wurden bisher keine Flächenberechnungen anhand von zweidimensionalen Röntgenbildern in diesem Zusammenhang durchgeführt, sodass keine vergleichbaren Daten zur Flächenberechnung existieren.

In der vorliegenden Untersuchung wurde während der 2,1 Jahre andauernden Herbst-Multibracket-Therapie eine signifikante Vergrößerung der PAS-Fläche ($22,7 \pm 25,3\%$) beobachtet, die während der Nachbeobachtungsphase stabil blieb. Die Patienten waren zu Beginn der Therapie durchschnittlich 13,8 Jahre alt. Während es keine vergleichbaren Daten zur Herbst-Multibracket-Behandlung gibt, ergab eine Studie zur Untersuchung des Einflusses der Headgear-Aktivator-Behandlung auf die PAS-Fläche bei einer Gruppe von 32 Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 10,4 Jahren, eine signifikante Zunahme von 36,6%.³⁸ Jedoch betrug der Therapiezeitraum hier durchschnittlich 4,4 Jahre und war dementsprechend deutlich länger als in der vorliegenden Untersuchung. Der unterschiedliche Zuwachs der PAS-Fläche (+22,7% vs. +36,6%) könnte durch das jüngere Alter vor der Behandlung und die längere Behandlungsdauer in der Headgear-Aktivator-Gruppe erklärt werden. Darüber hinaus gibt es einen geringfügigen Unterschied in der Methode der beiden Untersuchungen hinsichtlich der Grenzen, die die gemessene PAS-Fläche definieren. Schwieriger zu erklären ist jedoch der Unterschied in der Entwicklung nach der Behandlung. In der Headgear-Aktivator-Gruppe wurde eine weitere Zunahme beobachtet, die sich über den gesamten Beobachtungszeitraum von 7,6 Jahren auf insgesamt 62,6% (278,7 mm²) belief. Der entsprechende Wert der vorliegenden Studie ist deutlich kleiner (22,9%, 117,5 mm²), wurde jedoch nach einem kürzeren Zeitraum von 4,3 Jahren gemessen. Dennoch zeigten die Endwerte beider Untersuchungen (724,2 mm² nach Headgear-Aktivator-Therapie und 631,6 mm² nach Herbst-Multibracket-Therapie) einen großen Unterschied, der nicht vollständig durch den Unterschied im Alter vor der Behandlung mit dem entsprechenden Wachstumspotenzial und der Dauer der aktiven Therapie erklärt werden kann. Das Alter der Patienten am Ende des Beobachtungszeitraums (ca. 18 Jahre in beiden Gruppen) deutet jedoch darauf hin, dass keine wesentliche weitere Vergrößerung zu erwarten ist. Möglicherweise hat die zusätzliche Verwendung des Headgears die Auswirkungen auf den PAS im Vergleich zur Herbst-Multibracket-

Therapie verstärkt. Es wurde bereits diskutiert, dass eine Hemmung des maxillären Wachstums zu einer verstärkten anterioren Rotation des Unterkiefers führen könnte⁹¹, was möglicherweise zu einer zusätzlichen Vergrößerung der PAS führt.

Die Strecken p und t gehören zu den gängigsten Parametern, die im Zusammenhang mit dem pharyngealen Luftweg in zweidimensionalen Röntgenbildern im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen bestimmt werden. Für die Strecke p findet man in der Literatur durchschnittliche Werte von 9-10 mm und für die Strecke t durchschnittliche Werte von 10-12 mm.³⁰ In der vorliegenden Untersuchung wurden zum Zeitpunkt T0 Mittelwerte von 8,8 mm für die Strecke p und 10,0 mm für die Strecke t beobachtet. Dass die beobachteten Streckenlängen unterhalb beziehungsweise im unteren Bereich der in der Literatur beschriebenen Werte liegen, lässt sich dadurch erklären, dass Patienten mit einer Angle Klasse II:1 einen kleineren pharyngealen Luftweg haben als Patienten mit einer Angle Klasse I.^{3,11,58} Durch die Therapie mit der Herbst-Multibracket-Apparatur und die damit verbundene Vorverlagerung des Unterkiefers vergrößerten sich die Strecken p (10,0 mm) und t (10,8 mm), sodass diese zum Zeitpunkt T1 den Werten aus der Literatur entsprachen.

Die Parameter p und t zeigten auch in der Untersuchung von *Drosen et al.*³⁰ einen signifikanten Zuwachs während der Therapie ($n = 13$). Die Strecke p vergrößerte sich hier um durchschnittlich 2,3 mm während der Therapie und der Nachbeobachtungsphase. Für die Strecke t ergab sich eine mittlere Streckenzunahme von 3,3 mm. Es gilt zu beachten, dass die Patienten im Studiendesign der genannten Untersuchung zum Ende der Nachbeobachtungsphase mindestens 18 Jahre alt sein mussten, sodass diese im Mittel 6 Jahre andauerte. Die im Vergleich zu dieser Untersuchung weniger ausgeprägteren Streckenzunahmen ($\Delta p = 1,3$ mm, $\Delta t = 1$ mm) in der vorliegenden Untersuchung lassen sich darauf zurückführen, dass die Patienten zu Beginn der Therapie jünger waren (Durchschnittsalter: 12,4 Jahre bzw. 13,8 Jahre).

Die Strecken $pC2$, $pC3$ und $pC4$ vergrößerten sich während der Herbst-Multibracket-Therapie ($pC2$: +0,8 mm; $pC3$: +1,8 mm; $pC4$: +3,0 mm) und blieben nach der Therapie stabil. Die gleichen Parameter wurden auch zur Beurteilung der PAS-Veränderungen in einer Untersuchung von Herbst-Patienten im Alter von 13,7 Jahren verwendet, wobei die Autoren während der Therapie Zunahmen der Strecken um 0,9 mm für $pC2$, 1,4 mm für $pC3$ und 0,8 mm für $pC4$ beobachteten ($n = 43$).⁵¹ In einer Metaanalyse der Arbeits-

gruppe um *Altheer et al.*² konnte demonstriert werden, dass das kleinere PAS-Volumen in dreidimensionalen Aufnahmen von Klasse II-Patienten vor allem auf Restriktionen im Bereich des Oropharynx zurückzuführen ist. Restriktionen im Bereich des Hypopharynx kommen seltener vor und haben weniger Einfluss auf den insgesamt verminderten pharyngealen Luftweg bei Patienten mit einer Distalokklusion. Dies erklärt, warum lediglich für die im Bereich des Oropharynx gelegenen Strecken t und pC2 ein Zusammenhang zum Ausmaß der Fläche A(PAS) nach der Therapie (T1) beobachtet werden konnte. Für die Strecken pC3 und pC4, die dem Hypopharynx zuzuordnen sind, bestand kein solcher Zusammenhang.

Die Vergrößerung des PAS während der Herbst-Multibracket-Therapie ist auch anhand von dreidimensionalen DVTs ersichtlich.⁴⁵ Insgesamt wurde während einer Klasse II-Behandlung mittels Herbst-Multibracket-Apparatur eine Volumenzunahme von 113,6% beobachtet (n = 24). In dieser Studie waren die Patienten zu Beginn der Therapie durchschnittlich 11,6 Jahre alt und somit deutlich jünger als in der vorliegenden Studie, bei der eine Vergrößerung der Fläche A(PAS) um 22,9% während der Therapie und des Nachbeobachtungszeitraumes beobachtet wurde. Eine mögliche Erklärung für diesen Unterschied könnte sein, dass es bei einer Vorverlagerung des Unterkiefers zu einer Vergrößerung des PAS insbesondere im lateralen Bereich kommt.^{54,90} Solche Veränderungen können mithilfe von dreidimensionaler Bildgebung gemessen werden, während sie in FRS nicht beurteilbar sind.

Es konnte beobachtet werden, dass jüngere Patienten eine größere Zunahme des pharyngealen Luftweges während der Herbst-Multibracket-Behandlung erfahren als ältere Patienten. Diese Beobachtung lässt sich auf das höhere physiologische Wachstumspotenzial und die Möglichkeit der Wachstumsbeeinflussung von jüngeren Patienten während der kieferorthopädischen Behandlung zurückführen. Darüber hinaus wurde ersichtlich, dass ein prätherapeutisch großes Wits appraisal zu einer größeren Zunahme des pharyngealen Luftweges führte. Das Wits appraisal beschreibt die sagittale Relation von Ober- und Unterkiefer zueinander, sodass ein großer Wert für eine ausgeprägtere Rücklage des Unterkiefers zum Oberkiefer spricht. Dies bedeutet, dass die Patienten mit einem großen Wits appraisal eine vergleichsweise größere Vorverlagerung der Mandibula erfahren müssen, damit das Therapieziel einer neutralen sagittalen Relation von Unterkiefer zu Oberkiefer erreicht wird. Durch die umfangreichere mandibuläre Vorverlagerung bei Patienten mit großem prätherapeutischen Wits

appraisal kann daher die größere Zunahme des pharyngealen Luftweges erklärt werden. Der ANB-Winkel, welcher ebenfalls ein Parameter für den Schweregrad der Angle-Klasse II ist, zeigte keinen solchen Zusammenhang für die Veränderung des pharyngealen Luftweges. Dies lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass der ANB-Winkel die relative Position von Oberkiefer und Unterkiefer in Relation zur Schädelbasis (Nasion) beschreibt. Der Wits appraisal wird in der Okklusionsebene gemessen, welche durch die kieferorthopädische Therapie mittels Herbst-Multibracket-Apparatur und die damit zusammenhängende Rotation des Unterkiefers verändert wird.

Die vorliegende Untersuchung konnte außerdem belegen, dass ein früher Therapiebeginn (pre-peak/peak) einen positiven Einfluss auf die Veränderung des pharyngealen Luftweges bei der Herbst-Multibracket-Therapie hat. Dies entspricht den Beobachtungen der Arbeitsgruppe um *Kinzinger et al.*⁵², die den Einfluss des Functional Mandibular Advancers (FMA) auf den PAS untersuchte (n = 16). Sie fanden ebenfalls heraus, dass das kieferorthopädisch induzierte skelettale Wachstum bei Jugendlichen erheblichen interindividuellen Schwankungen unterliegt. Außerdem stellten sie fest, dass die skelettalen Effekte, wie das Anregen des mandibulären Wachstums, im Allgemeinen mit zunehmendem Patientenalter und skelettaler Reife deutlich abnehmen.

Für alle weiteren Nebenzielparameter (Overjet, ANB-Winkel, ML/NSL-Winkel und ArGo'Gn-Winkel) wurden keine Zusammenhänge zur Veränderung des pharyngealen Luftweges während der Herbst-Multibracket-Behandlung beobachtet. In der Studie von *Koay et al.*⁵³ wurde eine negative Korrelation zwischen der retroglossalen Pharynxtiefe und dem ML/NSL-Winkel nach der Herbst-Therapie ersichtlich. Hierbei gilt allerdings zu beachten, dass dieser Zusammenhang nur unmittelbar nach der Herbst-Therapie zu beobachten war und nach der anschließenden Multibracket-Behandlung nicht mehr erkennbar war. Darüber hinaus wurde hier ein vergleichsweise kleines Patientengut (n = 27) untersucht. In vorangegangenen Studien wurden die weiteren Nebenzielparameter zwar oftmals bestimmt, jedoch konnten wie in der vorliegenden Untersuchung keine signifikanten Zusammenhänge dargestellt werden.

Bei der Therapie mit der Herbst-Apparatur kommt es zu einer mandibulären Verlagerung nach anterior⁶², was als Grund für die Vergrößerung des PAS im Zuge der Behandlung angesehen werden kann. Als weiterer möglicher Grund für die langfristige Vergrößerung des pharyngealen Luftweges sind durch die Therapie induzierte morphologische Veränderungen des Unterkiefers. So neigen Patienten, die mit der Herbst-Apparatur behandelt wurden, zu einer vergrößerten posterioren Höhe der Mandibula im Vergleich

zu unbehandelten Vergleichspersonen.^{62,79} Dies deutet auf eine Veränderung des Wachstumsprofils nach der Behandlung hin, im Sinne einer ausgeprägteren gegen den Uhrzeigersinn gerichteten Rotation des Unterkiefers, die sich positiv auf den PAS auswirken könnte.³⁰

Zusätzlich ist es bei der Bewertung der aktuellen Ergebnisse wichtig, die große interindividuelle Variation zu berücksichtigen, die für alle Variablen beobachtet wurde. Ähnliche Beobachtungen wurden auch in mehreren anderen Studien gemacht^{21,30,65}, was darauf hinweist, dass es unmöglich ist, den individuellen Einfluss der Klasse-II-Behandlung auf den PAS vorherzusagen. Dennoch wurde in der aktuellen Untersuchung gezeigt, dass im Durchschnitt alle PAS-Variablen während der Klasse-II:1-Behandlung mit einer Herbst-Multibracket-Apparatur zunehmen. Inwieweit diese durchschnittliche Zunahme einen positiven funktionellen Effekt auf die Atemfunktion der Patienten hat, ist jedoch derzeit unbekannt.

5.3 Klinische Relevanz und Schlussfolgerung

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass eine Korrektur der Angle-Klasse II:1 im Rahmen der Vorverlagerung des Unterkiefers mit der Herbst-Multibracket-Apparatur einen signifikanten Einfluss auf den pharyngealen Luftweg hat, welcher zumindest ein Jahr nach der Therapie stabil ist.

In Bezug auf mögliche prä-therapeutische Einflussfaktoren konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten bzw. dem Wits appraisal und der Veränderung des PAS gezeigt werden. Bei jüngeren Patienten und Patienten mit einem großen Wits appraisal vor der Therapie wurden ausgeprägtere Vergrößerungen des Flächeninhaltes A(PAS) beobachtet.

Während die Herbst-Multibracket-Apparatur bislang primär zur Korrektur von dento-skelettalen Anomalien und weniger im Rahmen der Therapie der obstruktiven Schlafapnoe angewendet wird, kann man schlussfolgernd dennoch feststellen, dass die Vergrößerung des PAS durch die Herbst-Multibracket-Behandlung als positiver Nebeneffekt dieser Art von Klasse II:1-Korrektur angesehen werden kann und bei der Therapieentscheidung - im Zusammenspiel mit der skelettalen Reife der Patienten - berücksichtigt werden sollte.

Aufgrund der großen interindividuellen Variationsbreite sollte das Ziel weiterer Untersuchungen sein, zusätzliche, den pharyngealen Luftweg beeinflussende Faktoren bei der Herbst-Multibracket-Therapie zu eruieren, um präzisere prognostische Aussagen treffen zu können.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Es konnte bereits mehrfach gezeigt werden, dass sich der Posterior Airway Space (PAS) während der Herbst-Multibracket-Behandlung vergrößert. In der Literatur werden jedoch immer wieder große interindividuelle Variationsbreiten konstatiert und die bisherigen Untersuchungen basieren auf eher kleinen Probandenzahlen. Daher war das Ziel der vorliegenden Untersuchung, die PAS-Änderungen während und nach der Behandlung mit der Herbst-Apparatur und der anschließenden Multibracket-Apparatur bei einer großen Stichprobe von Klasse II:1-Patienten zu untersuchen und mögliche prätherapeutische Einflussfaktoren zu bestimmen.

Daher wurden die Unterlagen von 503 ehemaligen Klasse II:1-Patienten (Overjet = $7,8 \pm 2,4$ mm, ANB-Winkel = $5,0 \pm 2,1^\circ$), die im Alter von $13,8 \pm 3,4$ Jahren eine Herbst-Multibracket-Behandlung erhalten hatten, untersucht. Fernröntgenseitenbilder (FRS) von vor der Behandlung (T0), nach $24,9 \pm 9,2$ Monaten Behandlung (T1) und $26,1 \pm 8,0$ Monate nach dem Behandlungsende (T2) wurden hinsichtlich der Fläche A(PAS) und der Veränderungen der linearen Abstände (p, t, pC2, pC3, pC4) analysiert. Zusätzlich wurden folgende mögliche prätherapeutische Einflussfaktoren bewertet: Overjet, ANB-Winkel, Wits-Bewertung, ML/NSL-Winkel, ArGoGn-Winkel, Alter und skelettale Reife.

Im Durchschnitt vergrößerte sich die Fläche A(PAS) während der Herbst-Multibracket-Behandlung um 23% und blieb danach konstant ($\pm 0\%$). Alle linearen Abstände p, t, pC2, pC3, pC4 vergrößerten sich ebenfalls (6-19%) während T1-T0 und zeigten eine weitere Zunahme (1-7%) während T2-T1. Für alle Variablen gab es große individuelle Unterschiede.

In Bezug auf mögliche Einflussfaktoren der PAS-Veränderungen wurden signifikante Zusammenhänge für das Wits appraisal und die Fläche A(PAS), sowie das Alter der Patienten und die Strecke pC4 beobachtet. Bei jüngeren Patienten und solchen mit einem großen Wits appraisal vor Beginn der Therapie wurden deutlichere Zunahmen des PAS festgestellt.

7 SUMMARY

Herbst appliance treatment has been described to result in an increase of the posterior airway space (PAS). However, the literature shows large inter-individual variations and is based on rather small samples. Therefore, the current aim was to investigate the PAS changes during as well as after Herbst and subsequent multibracket appliance (MBA) treatment in a large sample of Class II:1 patients, and to search for possible pre-treatment influencing factors.

Therefore, the records of 503 former Class II:1 patients (overjet = 7.8 ± 2.4 mm, ANB angle = $5.0 \pm 2.1^\circ$) who had undergone Herbst-MBA treatment at the age of 13.8 ± 3.4 years (Department for Orthodontics, University of Gießen, Germany) were assessed. Lateral headfilms from before (T0), after 24.9 ± 9.2 months of treatment (T1) and 26.1 ± 8.0 months after treatment (T2) were analysed for the area-size of the PAS and the changes of linear distances (p, t, pC2, pC3, pC4). In addition, possible influencing pre-treatment characteristics were evaluated: overjet, ANB angle, Wits appraisal, ML/NSL angle, ArGoGn angle, age and skeletal maturity.

On average, the PAS area increased by 23% during Herbst-MBA treatment (T1-T0) and remained constant ($\pm 0\%$) thereafter (T2-T1). All linear distances also increased (6-19%) during T1-T0 and showed further increase (1-7%) during T2-T1. For all variables a large inter-individual variation existed. With regard to possible pre-treatment influencing factors, significant associations were observed for pre-treatment age and Wits appraisal of the patients. In younger patients and those with a large Wits appraisal before therapy, more pronounced increases in the PAS area were observed.

8 DARSTELLUNGSVERZEICHNIS

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Bisslagen nach Angle ⁷⁷	3
Abb. 1.2: Herbst-Apparatur in situ (Ruehl et al. ⁸⁹)	6
Abb. 1.3: Visuelle Darstellung der PAS-Werte 'p' und 't', die von Mislik et al. ⁶⁵ verwendet wurden	7
Abb. 3.4: Flussdiagramm zum Ablauf der Patientenrekrutierung	17
Abb. 3.2: Visuelle Darstellung der Hauptzielparameter (Teil 1)	19
Abb. 3.3: Visuelle Darstellung der Hauptzielparameter (Teil 2)	20
Abb. 3.4: Visuelle Darstellung der Nebenzielparameter	21
Abb. 3.5: C3-Stadien nach Hassel und Farman ⁴⁰ zur Bestimmung der skelettalen Reife anhand der Morphologie des 3. Halswirbelkörpers	23
Abb. 3.6: Wachstumskurve mit entsprechender Zuordnung der C3-Stadien	23
Abb. 3.7: Auswertung analoger Röntgenbilder mithilfe eines Lichtkastens	26
Abb. 3.8: Kalibrierung der Röntgenbilder im Programm PDF-XChange Editor vor der Flächenberechnung	28
Abb. 3.9: Darstellung der Flächenberechnung mithilfe des Programms PDF-XChange Editor	29
Abb. 4.1: Visuelle Darstellung der Fläche A(PAS)	33
Abb. 4.2: Boxplot-Diagramme für die Fläche A(PAS) zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	36
Abb. 4.3: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Fläche A(PAS) zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	37
Abb. 4.4: Visuelle Darstellung der Streubreite der Fläche A(PAS) für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert	38
Abb. 4.5: Visuelle Darstellung der Strecke p	39
Abb. 4.6: Boxplot-Diagramme für die Strecke 'p' zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2 ..	41
Abb. 4.7: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke p zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	42
Abb. 4.8: Visuelle Darstellung der Streubreite der Strecke p für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert	43

Abb. 4.9: Visuelle Darstellung der Strecke t	43
Abb. 4.10: Boxplot-Diagramme für die Strecke 't' zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	46
Abb. 4.11: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke t zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	46
Abb. 4.12: Visuelle Darstellung der Streuungsbreite der Strecke t für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert	47
Abb. 4.13: Visuelle Darstellung der Strecke pC2	48
Abb. 4.14: Boxplot-Diagramme für die Strecke ‚pC2‘ zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	51
Abb. 4.15: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke pC2 zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	51
Abb. 4.16: Visuelle Darstellung der Streuungsbreite der Strecke pC2 für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert	52
Abb. 4.17: visuelle Darstellung der Strecke pC3	53
Abb. 4.18: Boxplot-Diagramme für die Strecke ‚pC3‘ zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	55
Abb. 4.19: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke pC3 zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	56
Abb. 4.20: Visuelle Darstellung der Streuungsbreite der Strecke pC3 für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert	57
Abb. 4.21: Visuelle Darstellung der Strecke pC4	57
Abb. 4.22: Boxplot-Diagramme für die Strecke ‚pC4‘ zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	60
Abb. 4.23: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat der Strecke pC4 zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	61
Abb. 4.24: visuelle Darstellung der Streuungsbreite der Strecke pC4 für die Zeitpunkte T0, T1 und T2; die Werte wurden hierfür zunächst patientenunabhängig numerisch aufsteigend sortiert und anschließend im Punktdiagramm visualisiert	62
Abb. 4.25: visuelle Darstellung des Overjets	62
Abb. 4.26: Boxplot-Diagramme für den Overjet zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	64
Abb. 4.27: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat des Overjets zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	64
Abb. 4.28: visuelle Darstellung des Wits appraisal	65

Abb. 4.29: Boxplot-Diagramme für das Wits appraisal zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	66
Abb. 4.30: Boxplot-Diagramme für die Veränderung pro Monat des Wits appraisal zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	67
Abb. 4.31: visuelle Darstellung des ANB-Winkels	67
Abb. 4.32: Boxplot-Diagramme für den ANB-Winkel zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	69
Abb. 4.33: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat des ANB-Winkels zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	69
Abb. 4.34: visuelle Darstellung des ML/NSL-Winkels	70
Abb. 4.35: Boxplot-Diagramme für den ML/NSL-Winkel zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	71
Abb. 4.36: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat des ML/NSL-Winkels zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	72
Abb. 4.37: visuelle Darstellung des ArGo'Gn-Winkels	72
Abb. 4.38: Boxplot-Diagramme für den ArGo'Gn-Winkel zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2	74
Abb. 4.39: Boxplot-Diagramme für die Veränderungen pro Monat des ArGo'Gn-Winkels zwischen den Zeitpunkten T0 und T1 bzw. T1 und T2	74

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Verteilung analoger und digitaler Röntgenbilder zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten; mit * markierte Zahlen entsprechen der Anzahl digitaler Röntgenbilder, die ausgedruckt und analog vermessen wurden	24
Tabelle 4.1: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Fläche A(PAS) [in mm ²]	36
Tabelle 4.2: Zusammenhänge zwischen der Fläche A(PAS) und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$	37
Tabelle 4.3: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke p [in mm]	41
Tabelle 4.4: Zusammenhänge zwischen der Strecke p und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$	42
Tabelle 4.5: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke t [in mm]	45
Tabelle 4.6: Zusammenhänge zwischen der Strecke t und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$	47
Tabelle 4.7: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke pC2 [in mm]	50
Tabelle 4.8: Zusammenhänge zwischen der Strecke pC2 und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$	52
Tabelle 4.9: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke pC3 [in mm]	55
Tabelle 4.10: Zusammenhänge zwischen der Strecke pC3 und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$	56
Tabelle 4.11: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten,	

prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat der Strecke pC4 [in mm]	60
Tabelle 4.12: Zusammenhänge zwischen der Strecke pC4 und anderen Haupt- bzw. Nebenzielparametern, dargestellt werden nur Zusammenhänge mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0,2$ bzw. $r < -0,2$	61
Tabelle 4.13: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des Overjets [in mm]	63
Tabelle 4.14: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des Wits appraisal [in mm]	66
Tabelle 4.15: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des ANB-Winkels [in Grad]	68
Tabelle 4.16: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des ML/NSL-Winkels [in Grad]	71
Tabelle 4.17: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima, Mediane, absolute Veränderungen zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten, prozentuale Veränderungen (bezogen auf den Ausgangswert zu T0) und Veränderungen pro Monat des ArGo'Gn-Winkels [in Grad]	73

9 LITERATURVERZEICHNIS

1. Alhammadi MS, Halboub E, Fayed MS, et al. Global distribution of malocclusion traits: A systematic review. *Dental Press J Orthod* 2018; 23: 40.e1-40.e10.
2. Altheer C, Papageorgiou SN, Antonarakis GS, et al. Do patients with different craniofacial patterns have differences in upper airway volume? A systematic review with network meta-analysis. *Eur J Orthod* 2024; 46.
3. Alves M, Franzotti ES, Baratieri C, et al. Evaluation of pharyngeal airway space amongst different skeletal patterns. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012; 41: 814–819.
4. Andresen V, Häupl K and Petrik L. *Funktionskieferorthopädie*. 5., völlig umgearb. u. erw. Aufl. München: J. A. Barth, 1953.
5. Angle EH. *Treatment of malocclusion of the teeth: Angle's system*. 7. ed. Philadelphia: White Dental Manufacturing Comp, 1907.
6. Araghi MH, Chen Y-F, Jagielski A, et al. Effectiveness of lifestyle interventions on obstructive sleep apnea (OSA): systematic review and meta-analysis. *Sleep* 2013; 36: 1553-62, 1562A-1562E.
7. Ayoub N. Three-dimensional evaluation of the posterior airway space: differences in computed tomography and cone beam computed tomography. *Clin Oral Investig* 2018: 1–7.
8. Barrera JE, Pau CY, Forest V-I, et al. Anatomic measures of upper airway structures in obstructive sleep apnea. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 2017; 3: 85–91.
9. Barrera JE, Pau CY, Forest V-I, et al. Anatomic measures of upper airway structures in obstructive sleep apnea. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 2017; 3: 85–91.
10. Battagel JM, Johal A and Kotecha B. A cephalometric comparison of subjects with snoring and obstructive sleep apnoea. *Eur J Orthod* 2000; 22: 353–365.
11. Bayat M, Shariati M, Rakhshan V, et al. Cephalometric risk factors of obstructive sleep apnea. *Cranio* 2017; 35: 321–326.
12. Beaudin AE, Raneri JK, Ayas NT, et al. Cognitive Function in a Sleep Clinic Cohort of Patients with Obstructive Sleep Apnea. *Ann Am Thorac Soc* 2021; 18: 865–875.
13. Becker K, Bußmeier U, Kopp S, et al. Fernröntgenseitenbild in der Therapie der obstruktiven Schlafapnoe. In: *Somnologie*, pp. 159–173.
14. Bigliazzi R, Franchi L, Magalhães Bertoz AP de, et al. Morphometric analysis of long-term dentoskeletal effects induced by treatment with Balters bionator. *Angle Orthod* 2014; 85: 790–798.

15. Bock NC, Bremen J von and Ruf S. Stability of Class II fixed functional appliance therapy--a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 2016; 38: 129–139.
16. Bock NC, Bremen J von and Ruf S. Stability of Class II fixed functional appliance therapy--a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 2016; 38: 129–139.
17. Bouzerda A. [Cardiovascular risk and obstructive sleep apnea]. *Pan Afr Med J* 2018; 29: 47.
18. Butterfield KJ, Marks PLG, McLean L, et al. Linear and volumetric airway changes after maxillomandibular advancement for obstructive sleep apnea. *J Oral Maxillofac Surg* 2015; 73: 1133–1142.
19. Carneiro-Barrera A, Díaz-Román A, Guillén-Riquelme A, et al. Weight loss and lifestyle interventions for obstructive sleep apnoea in adults: Systematic review and meta-analysis. *Obes Rev* 2019; 20: 750–762.
20. Celik E, Polat-Ozsoy O and Toygar Memikoglu TU. Comparison of cephalometric measurements with digital versus conventional cephalometric analysis. *Eur J Orthod* 2009; 31: 241–246.
21. Celikoglu M, Buyuk SK, Ekizer A, et al. Pharyngeal airway effects of Herbst and skeletal anchored Forsus FRD EZ appliances. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2016; 90: 23–28.
22. Cenzato N, Nobili A and Maspero C. Prevalence of Dental Malocclusions in Different Geographical Areas: Scoping Review. *Dent J (Basel)* 2021; 9.
23. Chaiyongsirisern A, Rabie AB and Wong RWK. Stepwise advancement Herbst appliance versus mandibular sagittal split osteotomy. Treatment effects and long-term stability of adult Class II patients. *Angle Orthod* 2009; 79: 1084–1094.
24. Ciavarella D, Campobasso A, Conte E, et al. Correlation between dental arch form and OSA severity in adult patients: an observational study. *Prog Orthod* 2023; 24.
25. Cistulli PA. Craniofacial abnormalities in obstructive sleep apnoea: implications for treatment. *Respirology* 1996; 1: 167–174.
26. Conradt R, Hochban W, Heitmann J, et al. Sleep fragmentation and daytime vigilance in patients with OSA treated by surgical maxillomandibular advancement compared to CPAP therapy. *J Sleep Res* 1998; 7: 217–223.
27. Dayyat E, Kheirandish-Gozal L, Sans Capdevila O, et al. Obstructive sleep apnea in children: relative contributions of body mass index and adenotonsillar hypertrophy. *Chest* 2009; 136: 137–144.
28. DGZMK. S2k-Leitlinie (Langfassung) S2k-Leitlinie: Dentale digitale Volumentomographie.
29. Diedrich P (ed). *Kieferorthopädie*. Studienausg. der 4. Aufl., München, Urban & Fischer 2002. München, Jena: Elsevier Urban & Fischer, erschienen 2005.

30. Drosen C, Bock NC, Bremen J von, et al. Long-term effects of Class II Herbst treatment on the pharyngeal airway width. *Eur J Orthod* 2018; 40: 82–89.
31. Elgoyhen JC, Moyers RE, McNamara JA, et al. Craniofacial adaptation of protrusive function in young rhesus monkeys. *Am J Orthod* 1972; 62: 469–480.
32. Ephros HD, Madani M and Yalamanchili SC. Surgical treatment of snoring & obstructive sleep apnoea. *Indian J Med Res* 2010; 131: 267–276.
33. Fränkel R. *Technik und Handhabung der Funktionsregler*. 3., bearb. Aufl. Basel, München, Paris, London, New York, Tokyo, Sydney: Karger, 1984.
34. Freeman DC, McNamara JA, Baccetti T, et al. Long-term treatment effects of the FR-2 appliance of Fränkel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 570.e1-6; discussion 570-1.
35. Georgoulis M, Yiannakouris N, Kechribari I, et al. The effectiveness of a weight-loss Mediterranean diet/lifestyle intervention in the management of obstructive sleep apnea: Results of the "MIMOSA" randomized clinical trial. *Clin Nutr* 2021; 40: 850–859.
36. Gokce SM, Gorgulu S, Gokce HS, et al. Changes in posterior airway space, pulmonary function and sleep quality, following bimaxillary orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012; 41: 820–829.
37. Gross AM, Samson G and Dierkes M. Patient cooperation in treatment with removable appliances: a model of patient noncompliance with treatment implications. *Am J Orthod* 1985; 87: 392–397.
38. Hänggi MP, Teuscher UM, Roos M, et al. Long-term changes in pharyngeal airway dimensions following activator-headgear and fixed appliance treatment. *Eur J Orthod* 2008; 30: 598–605.
39. Hansen K, Pancherz H and Hägg U. Long-term effects of the Herbst appliance in relation to the treatment growth period: a cephalometric study. *Eur J Orthod* 1991; 13: 471–481.
40. Hassel B and Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 107: 58–66.
41. Hassing G-J, The V, Shaheen E, et al. Long-term three-dimensional effects of orthognathic surgery on the pharyngeal airways: a prospective study in 128 healthy patients. *Clin Oral Investig* 2021: 1–9.
42. Helsing E and Hagberg C. Changes in maximum bite force related to extension of the head. *Eur J Orthod* 1990; 12: 148–153.
43. Herbst E. *Atlas und Grundriss der zahnärztlichen Orthopädie*. München: J. F. Lehmann, 1910.

44. Hourfar J, Lisson JA and Kinzinger GSM. Changes of epiglottis and hyoid bone position after orthodontic treatment with cast splint fixed functional appliances. *Clin Oral Investig* 2021; 25: 1525–1534.
45. Iwasaki T, Takemoto Y, Inada E, et al. Three-dimensional cone-beam computed tomography analysis of enlargement of the pharyngeal airway by the Herbst appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014; 146: 776–785.
46. Johal A, Patel SI and Battagel JM. The relationship between craniofacial anatomy and obstructive sleep apnoea: a case-controlled study. *J Sleep Res* 2007; 16: 319–326.
47. Keski-Nisula K, Keski-Nisula L and Varrela J. Class II treatment in early mixed dentition with the eruption guidance appliance: effects and long-term stability. *Eur J Orthod* 2020; 42: 151–156.
48. Kim J-W and Kwon T-G. Why most patients do not exhibit obstructive sleep apnea after mandibular setback surgery? *Maxillofacial plastic and reconstructive surgery* 2020; 42: 1–8.
49. Kim J-Y, Jue S-S, Bang H-J, et al. Histological Alterations from Condyle Repositioning with Functional Appliances in Rats. *J Clin Pediatr Dent* 2018; 42: 391–397.
50. King GJ. Functional appliances stimulate clinically significant elongation of the mandible in Class II subjects. *J Evid Based Dent Pract* 2007; 7: 66–68.
51. Kinzinger G, Czapka K, Ludwig B, et al. 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. *J Orofac Orthop* 2011; 72: 301–320.
52. Kinzinger G and Diedrich P. Skeletal effects in class II treatment with the functional mandibular advancer (FMA)? *J Orofac Orthop* 2005; 66: 469–490.
53. Koay WL, Yang Y, Tse CSK, et al. Effects of Two-Phase Treatment with the Herbst and Preadjusted Edgewise Appliances on the Upper Airway Dimensions. *ScientificWorldJournal* 2016; 2016: 4697467.
54. Kyung SH, Park Y-C and Pae E-K. Obstructive sleep apnea patients with the oral appliance experience pharyngeal size and shape changes in three dimensions. *Angle Orthod* 2005; 75: 15–22.
55. Lavie P, Herer P and Hoffstein V. Obstructive sleep apnoea syndrome as a risk factor for hypertension: population study. *BMJ* 2000; 320: 479–482.
56. Lavigne GJ, Herrero Babiloni A, Beetz G, et al. Critical Issues in Dental and Medical Management of Obstructive Sleep Apnea. *J Dent Res* 2020; 99: 26–35.

57. Lee W-Y. Change of the airway space in mandibular prognathism after bimaxillary surgery involving maxillary posterior impaction. *Maxillofacial plastic and reconstructive surgery* 2016; 38: 1–7.
58. Lee Y-H, Huang Y-S, Chen I-C, et al. Craniofacial, dental arch morphology, and characteristics in preschool children with mild obstructive sleep apnea. *J Dent Sci* 2020; 15: 193–199.
59. Lombardo G, Vena F, Negri P, et al. Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Paediatr Dent* 2020; 21: 115–122.
60. Lorenzi-Filho G, Almeida FR and Strollo PJ. Treating OSA: Current and emerging therapies beyond CPAP. *Respirology* 2017; 22: 1500–1507.
61. Lyons MM, Bhatt NY, Pack AI, et al. Global burden of sleep-disordered breathing and its implications. *Respirology* 2020; 25: 690–702.
62. Manfredi C, Cimino R, Trani A, et al. Skeletal changes of Herbst appliance therapy investigated with more conventional cephalometrics and European norms. *Angle Orthod* 2001; 71: 170–176.
63. McNamara JA and Bryan FA. Long-term mandibular adaptations to protrusive function: an experimental study in *Macaca mulatta*. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987; 92: 98–108.
64. Miethke RR. *Therapie der Klasse II/1*. In *Diedrich P. (Hrsg.) Praxis der Zahnheilkunde, Band 11/II: Kieferorthopädie II. 4. Auflage. Urban und Fischer, München, Jena pp. 300-312, 2000.*
65. Mislik B, Hänggi MP, Signorelli L, et al. Pharyngeal airway dimensions: a cephalometric, growth-study-based analysis of physiological variations in children aged 6-17. *Eur J Orthod* 2014; 36: 331–339.
66. Moro A, Mattos CFP, Borges SW, et al. Stability of Class II corrections with removable and fixed functional appliances: A literature review. *J World Fed Orthod* 2020; 9: 56–67.
67. Mouhanna-Fattal C, Papadopoulos M, Bouserhal J, et al. Evaluation of upper airway volume and craniofacial volumetric structures in obstructive sleep apnoea adults: A descriptive CBCT study. *Int Orthod* 2019; 17: 678–686.
68. Navasumrit S, Chen Y-A, Hsieh Y-J, et al. Skeletal and upper airway stability following modified maxillomandibular advancement for treatment of obstructive sleep apnea in skeletal class I or II deformity. *Clin Oral Investig* 2022; 26: 3239–3250.
69. Neelapu BC, Kharbanda OP, Sardana HK, et al. Craniofacial and upper airway morphology in adult obstructive sleep apnea patients: A systematic review and meta-analysis of cephalometric studies. *Sleep Med Rev* 2017; 31: 79–90.

70. Ng A, Gotsopoulos H, Darendeliler AM, et al. Oral appliance therapy for obstructive sleep apnea. *Treat Respir Med* 2005; 4: 409–422.
71. Olaithe M, Skinner TC, Hillman D, et al. Cognition and nocturnal disturbance in OSA: the importance of accounting for age and premorbid intelligence. *Sleep Breath* 2015; 19: 221–230.
72. Pacha MM, Fleming PS and Johal A. Complications, impacts, and success rates of different approaches to treatment of Class II malocclusion in adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2020; 158: 477-494.e7.
73. Pae EK, Lowe AA, Sasaki K, et al. A cephalometric and electromyographic study of upper airway structures in the upright and supine positions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994; 106: 52–59.
74. Pancherz H. Treatment of class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst appliance. A cephalometric investigation. *Am J Orthod* 1979; 76: 423–442.
75. Pancherz H. The mechanism of Class II correction in Herbst appliance treatment. A cephalometric investigation. *Am J Orthod* 1982; 82: 104–113.
76. Pancherz H. A cephalometric analysis of skeletal and dental changes contributing to Class II correction in activator treatment. *Am J Orthod* 1984; 85: 125–134.
77. Pancherz H. Der Bisstyp - eine erweiterte Angle-Klassifikation: Vorstellung einer neuen Methode. In: 2018, pp. 31–36.
78. Pancherz H and Hägg U. Dentofacial orthopedics in relation to somatic maturation. An analysis of 70 consecutive cases treated with the Herbst appliance. *Am J Orthod* 1985; 88: 273–287.
79. Pancherz H and Littmann C. Morphologie und Lage des Unterkiefers bei der Herbst-Behandlung. Eine kephalometrische Analyse der Veränderungen bis zum Wachstumsabschluss. *Inf Orthod Kieferorthop* 1989; 21: 493–513.
80. Pancherz H, Zieber K and Hoyer B. Cephalometric characteristics of Class II division 1 and Class II division 2 malocclusions: a comparative study in children. *Angle Orthod* 1997; 67: 111–120.
81. Pancherz H, Zieber K and Hoyer B. Cephalometric characteristics of Class II division 1 and Class II division 2 malocclusions: a comparative study in children. *Angle Orthod* 1997; 67: 111–120.
82. Perinetti G, Primožič J, Franchi L, et al. Treatment Effects of Removable Functional Appliances in Pre-Pubertal and Pubertal Class II Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Studies. *PLoS One* 2015; 10: e0141198.
83. Peter JH, Faust M, Fett I, et al. Die Schlafapnoe. *Dtsch Med Wochenschr* 1990; 115: 182–186.

84. Polat-Ozsoy O, Gokcelik A and Toygar Memikoglu TU. Differences in cephalometric measurements: a comparison of digital versus hand-tracing methods. *Eur J Orthod* 2009; 31: 254–259.
85. Portelli M, Miliati A, Cicciù M, et al. No Compliance Correction of Class II Malocclusion in Growing Patients With HERBST Appliance: A Case Report. *Open Dent J* 2018; 12: 605–613.
86. Punjabi NM. The Epidemiology of Adult Obstructive Sleep Apnea. *Proc Am Thorac Soc* 2008; 5: 136–143.
87. Rezaie L, Maazinezhad S, Fogelberg DJ, et al. Compared to Individuals with Mild to Moderate Obstructive Sleep Apnea (OSA), Individuals with Severe OSA Had Higher BMI and Respiratory-Disturbance Scores. *Life (Basel)* 2021; 11.
88. Rose EC, Staats R, Lehner M, et al. Cephalometric analysis in patients with obstructive sleep apnea. Part I: diagnostic value. *J Orofac Orthop* 2002; 63: 143–153.
89. Rühl J. Versorgungsqualität von Klasse II:1 Patienten durch Herbst-Multibracket-Behandlung 2018.
90. Ryan CF, Love LL, Peat D, et al. Mandibular advancement oral appliance therapy for obstructive sleep apnoea: effect on awake calibre of the velopharynx. *Thorax* 1999; 54: 972–977.
91. Sambataro S. Cephalometric changes in growing patients with increased vertical dimension treated with cervical headgear. *Journal of orofacial orthopedics* 2017: 1–9.
92. Sarul M, Kawala B, Kozanecka A, et al. Objectively measured compliance during early orthodontic treatment: Do treatment needs have an impact? *Adv Clin Exp Med* 2017; 26: 83–87.
93. Sassouni V. The Class II syndrome: differential diagnosis and treatment. *Angle Orthod* 1970; 40: 334–341.
94. Schopf P. *Curriculum Kieferorthopädie*. 4., überarb. und erw. Auf. Berlin: Quintessenz, 2008.
95. Schwenzer N and Ehrenfeld M (eds). *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie: 1089 Abbildungen, 48 Tabellen*. 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 2011.
96. Shigeta Y, Ogawa T, Tomoko I, et al. Soft palate length and upper airway relationship in OSA and non-OSA subjects. *Tex Dent J* 2013; 130: 203–211.
97. Shokri A, Ramezani K, Afshar A, et al. Upper Airway Changes Following Different Orthognathic Surgeries, Evaluated by Cone Beam Computed Tomography: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Craniofac Surg* 2021; 32: e147-e152.

98. Souza Carvalho ACG de, Magro Filho O, Garcia IR, et al. Cephalometric and three-dimensional assessment of superior posterior airway space after maxillomandibular advancement. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012; 41: 1102–1111.
99. Stuck B, Köpke J, Maurer JT, et al. Evaluating the upper airway with standardized magnetic resonance imaging. *The laryngoscope* 2002.
100. VanLaecken R, Martin CA, Dischinger T, et al. Treatment effects of the edgewise Herbst appliance: a cephalometric and tomographic investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 130: 582–593.
101. Vargervik K and Harvold EP. Response to activator treatment in Class II malocclusions. *Am J Orthod* 1985; 88: 242–251.
102. Wahl N. Orthodontics in 3 millennia. Chapter 9: functional appliances to midcentury. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 829–833.
103. Wang G, Goebel JR, Li C, et al. Therapeutic effects of CPAP on cognitive impairments associated with OSA. *J Neurol* 2020; 267: 2823–2828.
104. Wigal TG, Dischinger T, Martin C, et al. Stability of Class II treatment with an edgewise crowned Herbst appliance in the early mixed dentition: Skeletal and dental changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 140: 210–223.
105. Woodside DG, Metaxas A and Altuna G. The influence of functional appliance therapy on glenoid fossa remodeling. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987; 92: 181–198.
106. Woodson BT. A tongue suspension suture for obstructive sleep apnea and snorers. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2001; 124: 297–303.
107. Yeghiazarians Y, Jneid H, Tietjens JR, et al. Obstructive Sleep Apnea and Cardiovascular Disease: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 2021; 144: e56-e67.
108. Zreaqat M, Hassan R, Samsudin R, et al. Three-dimensional analysis of upper airways in Class II malocclusion children with obstructive sleep apnea. *J World Fed Orthod* 2022; 11: 156–163.

10 PUBLIKATIONSVERZEICHNIS

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung wurden auf dem *European Orthodontic Society Congress 2024* in Athen im Rahmen eines Vortrages vorgestellt:

Bock, N. C.; Sonntag, G.; Klaus, K.; Ruf, S.

Posterior airway changes during and after Herbst appliance treatment

Außerdem wurden die Ergebnisse in einem Vortrag auf der *Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO) 2024* in Freiburg veröffentlicht:

Klaus, K.; Bock, N. C.; Sonntag, G.; Ruf, S.

Posterior Airway Space (PAS) – Veränderungen während und nach Herbst-Behandlung

Darüber hinaus wurde das Manuskript zur vorliegenden Untersuchung bei *Clinical Oral Investigations* eingereicht und befindet sich derzeit im Peer-Review-Verfahren.

11 ANHANG

11.1 Tabellen

Tabelle 11.1: P-Werte für den Vergleich der Hauptzielparameter von denjenigen Patienten, bei denen (A)PAS bestimmt werden konnte, im Vergleich zu den übrigen Patienten, die in die Studie einbezogen wurden (n = 130 vs. n = 373).

		A(PAS)											
		T1-T0						T2-T1					
		messbar (n = 130)			n = 373			n = 130			n = 373		
	p	IMW	SD	IMW	SD	p	IMW	SD	IMW	SD	IMW	SD	
A(PAS)	mm ²												
p		0,132	1,4	1,97	2,24	0,268	-0,1	2,27	0,2	2,18	0,2	2,18	
t		0,003	1,5	2,72	3,27	0,095	-0,2	2,87	0,3	3,05	0,3	3,05	
PC2	mm	0,005	1,6	3,13	4,08	0,057	-0,2	3,03	0,5	3,66	0,5	3,66	
PC3		0,108	2,3	3,69	4,77	0,034	0,3	3,87	1,2	4,70	1,2	4,70	
PC4		0,138	4,2 (n = 25)	2,86	4,27	0,785	0,6 (n = 25)	2,69	0,8 (n = 182)	3,90	0,8 (n = 182)	3,90	

Tabelle 11.2: P-Werte für den Vergleich der Hauptzielparameter von denjenigen Patienten, bei denen pC4 bestimmt werden konnte, im Vergleich zu den übrigen Patienten, die in die Studie einbezogen wurden (n = 207 vs. n = 296) und p-Werte für den Vergleich der Patienten mit monomaxillärer und bimaxillärer Retention (n = 376 vs. n = 127).

		Strecke pC4		Retention
		messbar (n = 207) vs. nicht messbar (n = 296)		monomaxillär (n = 376) vs. bimaxillär (n = 127)
		T1-T0	T2-T1	T2-T1
		p	p	p
A(PAS)	mm ²	0,991	0,160	0,735
p	mm	0,219	0,111	0,384
t		0,523	0,790	0,756
pC2		0,160	0,535	0,611
pC3		0,329	0,803	0,598
pC4				0,751

Tabelle 11.3: Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (SD), Minima (Min) und Maxima (Max) für die Hauptzielparameter zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2; jeweils aufgeteilt nach prätherapeutischen Reifestadien.

T0	pre-peak				peak				post-peak			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
A(PAS)	422,0	99,40	231,0	731,0	541,0	160,89	310,0	1097,0	604,7	135,12	387,0	900,0
p	8,0	2,48	1,5	16,0	8,7	2,71	3,0	17,0	9,7	2,33	2,5	18,0
t	8,9	3,32	2,5	22,0	10,0	3,23	1,0	20,5	10,9	3,27	4,5	28,0
pC2	10,0	3,60	2,5	25,0	11,5	3,82	3,0	25,5	12,2	3,49	5,0	29,5
pC3	11,5	4,13	4,5	25,0	13,3	4,32	1,0	27,5	15,4	4,43	5,0	29,0
pC4	12,7	2,89	7,5	20,0	15,0	3,36	4,0	27,5	18,2	4,11	10,5	30,0
T1	pre-peak				peak				post-peak			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
A(PAS)	569,5	133,25	370,0	896,0	663,1	194,70	353,0	1354,0	664,5	172,15	475,0	1157,0
p	9,0	2,49	4,0	18,0	10,2	2,69	4,0	20,0	10,3	2,50	4,5	18,0
t	9,6	2,84	4,0	17,0	11,1	3,25	3,0	23,0	11,5	3,34	4,5	22,5
pC2	10,7	3,30	5,5	20,5	12,3	3,74	4,0	23,0	13,0	3,85	5,5	23,0
pC3	13,4	4,15	6,0	26,0	15,5	4,74	5,0	29,5	16,4	4,72	6,0	31,0
pC4	17,4	3,49	12,5	24,5	18,2	3,92	8,0	29,0	19,9	5,24	4,0	30,5
T2	pre-peak				peak				post-peak			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
A(PAS)	582,0	136,59	261,0	1039,0	664,1	174,10	356,0	1175,0	645,8	156,29	433,0	1007,0
p	9,4	2,70	3,0	18,0	10,3	2,92	2,5	18,5	10,2	2,61	5,0	19,0
t	10,2	3,45	2,5	20,5	11,4	3,65	4,0	22,0	11,2	3,47	4,5	22,0
pC2	11,5	4,10	2,5	24,0	12,8	4,16	4,0	28,5	12,7	4,15	4,5	27,0
pC3	14,7	5,07	6,0	32,5	16,6	5,30	4,0	30,5	17,0	5,38	4,5	31,5
pC4	19,5	4,52	13,5	30,0	18,4	4,21	10,0	33,0	20,8	5,09	8,5	34,0

11.2 Votum der Ethik-Kommission

JUSTUS-LIEBIG

UNIVERSITÄT
GIESSEN

FACHBEREICH 11



MEDIZIN

Ethik-Kommission, Klinikstr. 29 (Alte Chirurgie), D-35385 Gießen

Frau
Prof. Dr. Sabine Ruf
Poliklinik für Kieferorthopädie
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Schlangenzahl 14
35392 Gießen

ETHIK-KOMMISSION
des FB Medizin

Vorsitzender: Prof. Dr. Dr. H.-P. Howaldt

Klinikstr. 29 (Alte Chirurgie)
D -35385 Gießen

Tel.: (0641)99-42470
Fax: (0641)99-42479
E-Mail: ethik.kommission@pharma.med.uni-giessen.de

Gießen, den 4. September 2023

Dr. Kr./

Votum der Ethik-Kommission AZ 268/19

Sehr verehrte Frau Prof. Dr. Ruf,

das Projekt [AZ 268/19: 268/19: *Einfluss einer Unterkieferverlagerung mittels Herbst-Apparatur auf die Sauerstoffsättigung des Blutes.*] wurde in der Sitzung der Ethikkommission am 09.01.2020 begutachtet (Vortrag Frau Prof. Dr. med. dent. Sabine Ruf).

Mit Schreiben vom 12.07.2023 erhielten wir ein Amendment 1 zu diesem Vorhaben. Dabei sollen im Rahmen eines Dissertationsvorhabens durch Zahnarzt Gianluca Sonntag (Betreuung durch PD Dr. Niko C. Bock) retrospektiv Fernröntgenseitenbilder von Patienten, welche bereits in der Vergangenheit eine entsprechende Therapie mittels Herbst- und Multibracket-Apparatur erhalten haben, ausgewertet werden. Das Ziel ist es, Werte der longitudinalen Entwicklung (Untersuchungszeitpunkte: vor Therapie, unmittelbar nach Therapie, mindestens 12 Monate nach Therapie) darzustellen. Um möglichst repräsentative Daten zu generieren, soll das gesamte Patientengut der hiesigen Poliklinik für Kieferorthopädie einbezogen werden, welches seit 1986 eine solche Therapie durchlaufen hat; insgesamt sollten dies ca. 1200 Patienten sein, wovon vermutlich nur ein geringer Teil nicht eingeschlossen werden kann. Bisher wurden diesbezügliche Daten nur für relativ kleine Probandengruppen ($n < 40$) publiziert. Die Synopsis fasst den Studienaufbau kurz zusammen.

Ziel:

Beurteilung des pharyngealen Luftweges vor und nach Behandlung mittels Herbst-Multibracket-Apparatur, sowie nach einem Nachbeobachtungszeitraum von mindestens einem Jahr bei Klasse II:1-Patienten.

Studiendesign: Retrospektive Auswertung von Fernröntgenseitenbildern.

Hauptzielparameter:

Größenveränderungen des pharyngealen Luftweges anhand folgender Messstrecken:

p: kürzester Abstand zwischen weichem Gaumen und Rachenhinterwand;

t: kürzester Abstand zwischen Zungenbasis und Rachenhinterwand;

pC2/pC3/pC4: Abstand zwischen Rachenvorder- und Rachenhinterwand auf Höhe des Unterrandes vom 2./3./4. zervikalen Wirbelkörper C2/C3/C4.

Nebenzielparameter:

Veränderungen von Overjet (OJ), ANB-Winkel (ANB), Wits appraisal (Wits), Mandibularbasiswinkel (ML/NSL) und Kieferwinkel (ArGo'Gn), skelettale Reife gemäß C3-Stadium, etwaige Zusammenhänge zwischen diesen Nebenzielparametern und Größenveränderungen des pharyngealen Luftweges.

Probanden:

Patienten der Poliklinik für Kieferorthopädie des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen, welche seit 1986 mit einer Herbst-Apparatur und unmittelbar danach mit einer Multibracket-Apparatur behandelt wurden (ca. 1200).

Seitens der Ethikkommission bestehen keinerlei Einwände gegen die Durchführung des retrospektiven Vorhabens. Wir wünschen gutes Gelingen.

Mit freundlichen Grüßen



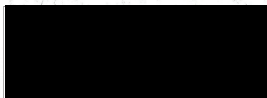
Dr. H.-J. Krämer
Stellv. Vorsitzender der Ethik-Kommission

11.3 Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Egelsbach, den 09.01.2026

Ort/Datum

A black rectangular box redacting the signature of the author.

Unterschrift

12 DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich all jenen meinen aufrichtigen Dank aussprechen, die zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn *PD. Dr. Niko Christian Bock*, für die Überlassung des Themas und die unermüdliche Unterstützung während der gesamten Promotionszeit. Seine wertvollen Ratschläge, sein offenes Ohr für meine Fragen und sein Vertrauen in meine Fähigkeiten haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso möchte ich mich bei Frau *Dr. Katharina Klaus* für ihre Zeit, ihre sorgfältige Durchsicht meiner Arbeit, ihre zusprechenden Worte und ihre wertvollen Anmerkungen bedanken.

Außerdem danke ich Frau *Prof. Dr. Sabine Ruf* für die Möglichkeit der Durchführung dieser Dissertation in ihrer Abteilung.

Ein großer Dank gilt auch Herrn *Dr. Johannes Herrmann* für die statistische Betreuung und Beratung.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch allen Mitarbeitern der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen für die kollegiale Unterstützung und die angenehme Arbeitsatmosphäre.

Mein Dank gilt außerdem meinen Freunden, die mir in den letzten Jahren immer wieder Mut zugesprochen und mir geholfen haben, die Balance zwischen Arbeit und Freizeit zu finden.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie. Ohne ihre bedingungslose Unterstützung, ihr Verständnis und ihre Geduld wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ihr Glaube an mich hat mich stets motiviert und gestärkt.

Diese Dissertation ist das Ergebnis der Unterstützung und des Engagements vieler Menschen, denen ich hiermit meinen tiefsten Dank ausspreche.

13 LEBENSLAUF

Der Inhalt wurde aus Datenschutzgründen entfernt.



édition scientifique

VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFBENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978 3 8359 7268 1



Cover graphic: © Author