Universitätsklinikum Ulm
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Klinik für Kieferorthopädie und Orthodontie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. Bernd Lapatki

Untersuchung der wechselseitigen Lagebeziehung zwischen stomatognathem System und Mundstück bei professionellen Blechbläsern

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

Vorgelegt von

Sonja Marianne Clara Nitsche
Geboren in Karlsruhe, Deutschland

2023

Amtierender Dekan: Prof. Dr. T. Wirth

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. B. Lapatki

2. Berichterstatter: Prof. Dr. W. Kratzer

Tag der Promotion: 25. April 2024

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis II

1 Einleitung ... 1

1.1 Musikermedizin ... 1

1.2 Blasinstrumente ... 2

1.3 Stand der Forschung ... 5

1.4 Dentale Diagnostik ... 8

1.5 Zielsetzung ... 13

2 Material und Methodik ... 14

2.1 Probandenrekrutierung ... 14

2.2 Frage- und Befundbogen ... 14

2.3 3D-Gesichtsscan ... 18

2.4 Datenaufbereitung ... 22

2.5 Datenauswertung ... 25

2.6 Auswertungsparameter ... 39

2.7 Statistische Auswertung ... 42

3 Ergebnisse ... 48

3.1 Ergebnisse des Frage- und Befundbogens ... 48

3.2 Ergebnisse der digitalen 3D-Analyse ... 51

4 Diskussion ... 75

5 Zusammenfassung ... 92

6 Literaturverzeichnis ... 94

7 Anhang ... 111

7.1 Abbildungsverzeichnis ... 151

7.2 Tabellenverzeichnis ... 156

8 Danksagung ... 160

9 Lebenslauf ... 161

Abkürzungsverzeichnis

3D	*dreidimensional*
ANOVA	*analyis of variance*
CMD	*craniomandibuläre Dysfunktion*
CT	*Computertomografie*
FDI	*Fédération Dentaire International*
FRS	*Fernröntgenseitenaufnahme*
GKS	*Gesicht-Koordinatensystem*
HDMK	*staatliche Hochschule für Musik und darstellende Kunst Stuttgart*
KKS	*Kiefer-Koordinatensystem*
M	*Musculus*
MKS	*Mundstück-Koordinatensystem*
MW	*Mittelwert*
OK	*Oberkiefer*
OLP	*Oraler lichen planus*
UK	*Unterkiefer*
vorMstkMitte	*vorderer Mundstückmittelpunkt*
ZI	*Zentrale Instrumentenachse*

1 Einleitung

<<Meine Trompete ist meine Geliebte …

Musik ist für mich so notwendig wie die Luft, die ich atme… >>

Louis Armstrong, Revolutionär der amerikanischen Musikentwicklung und bekanntester Jazzmusiker, begann bereits in frühen Jahren mit dem Trompetenspiel [156]. Zitate wie diese geben einen kleinen Einblick in die Verbundenheit der Musiker zu ihrem Instrument, ihrer Leidenschaft, ihrer Musik. Dieser Leidenschaft folgend finden Musiker Erfüllung in ihrem Beruf. Die Möglichkeiten, Musik zum Beruf zu machen scheinen vielseitig, und doch ist die Arbeit als Berufsmusiker in der Gesellschaft noch immer als „unmöglich, unrealistisch oder einfach (als ein) Traum" bekannt [54]. Dabei fällt oft in den Hintergrund, dass „Berufsmusiker […] einen Knochenjob [ausführen]– und […] dafür mit ihrer Gesundheit" bezahlen [161].

1.1 Musikermedizin

Um den Besonderheiten beim Musizieren in ihrer Vielfältigkeit gerecht zu werden, sind spezifische präventive und therapeutische Maßnahmen erforderlich. Der Fachbereich der Musikermedizin befasst sich mit gesundheitlichen Fragestellungen, die entweder durch das Musizieren entstehen oder sich auf das Musizieren auswirken. Bereits in den 1970er Jahren wurde der erste deutsche Lehrstuhl für Musikermedizin an der Hochschule für Musik und Theater in Hannover eingerichtet. Die 1994 gegründete Deutsche Gesellschaft für Musikphysiologie und Musikermedizin mit inzwischen über 400 Mitgliedern, die sich aus unterschiedlichen Fachbereichen zusammensetzen, bezeugt die anhaltende und zunehmende Bedeutung dieses Fachgebietes [144].

Epidemiologische Studien bei Musikern weisen annähernd übereinstimmend nach, dass Musiker relevante gesundheitliche Beschwerden haben [46, 99, 126, 131, 134, 142, 148, 160]. Die Untersuchungen beschreiben, dass die Mehrzahl der professionellen klassischen Musiker unter allgemeinmedizinischen Problemen leiden, die im Zusammenhang mit ihrer Berufstätigkeit stehen [142, 143].

Im Fachbereich der Zahnheilkunde stehen die Blasinstrumentalisten im Vordergrund der Betrachtungen. Die enge Lagebeziehung und Wechselwirkung zwischen Mundstück und dem gesamten Zahn-, Mund- und Kiefersystem variiert je nach Instrument und Musiker und wird gemeinhin als Ansatz bezeichnet. Dieses

Zusammenspiel ist für die musikalische Leistung eines Instrumentalisten von herausragender Bedeutung [50, 149, 158, 159].

1.2 Blasinstrumente

E.R. Strayer hat bereits 1939 die Blasinstrumente bezüglich der Kontaktposition der Mundstücke und der Art der Tonerzeugung in vier Gruppen (A-D) eingeteilt [150]. Die Klasse A beinhaltet die Blechblasinstrumente, die anhand der Größe ihres Kesselmundstückes subklassifiziert sind. Die hohen Blechblasinstrumente Trompete und Horn (Klasse A1) haben einen geringeren Durchmesser des Mundstücks, als die der tiefen Blechblasinstrumente wie Posaune oder Tuba (A2). Die Klassen B bis D unterteilen die Holzblasinstrumente. Saxophone und Klarinetten bilden als Einzelrohrblattinstrumente die Klasse B und die Doppelrohrblattinstrumente Oboe und Fagott Klasse C. Die vierte Gruppe (D) beinhaltet die Flöten. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die vier Blasinstrumentengruppen aus zahnmedizinischer Sicht.

Tabelle 1: Klassifizierung der Blasinstrumente nach Strayer [83, 150]. Die Blasinstrumente werden entsprechend ihrer Kontaktposition der Mundstücke in vier Klassen eingeteilt. Die Blechblasinstrumente werden nach der Größe der Mundstücke weiter subklassifiziert [83]; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

Klassifikation nach Strayer				
Klasse A1	Klasse A2	Klasse B	Klasse C	Klasse D
Trompete Horn	Posaune Tuba	Saxophon Klarinette	Oboe Fagott	Querflöte
Blechblasinstrumente		Holzblasinstrumente		

1.2.1 Tonbildung bei Blasinstrumenten

Um bei einem Blasinstrument einen Ton zu erzeugen, wird die Luftsäule im Instrument in Schwingung gebracht [127]. Die Instrumente bestehen dafür aus zwei Komponenten. Der Generator, der die hörbare Schwingung entstehen lässt und der Resonator, der diese verstärkt. Bei Einzelrohrblattinstrumenten der Klasse B ist die Zuordnung der Komponenten eindeutig: Das Luftblatt (Labium) fungiert durch seine Schwingung als Generator, der Korpus des Instruments als Resonator. Das gleiche Prinzip gilt für die Doppelrohrblattinstrumente [68].

Blechblasinstrumente sind in dieser Hinsicht eine Besonderheit, da das Instrument selbst keinen Generator besitzt. Es existiert kein Bauteil, das in Schwingung versetzt

wird, um den Ton erzeugen, sondern die Lippen des Spielers fungieren als primärer Schwingungsgenerator und kennzeichnen als „membranöse Polsterzunge“ die Instrumente als Polsterzungeninstrumente [2, 73]. Demnach entsteht die Tonerzeugung außerhalb des Instrumentes durch das Zusammenspiel von Luft und Lippen. Durch die elastischen Eigenschaften wirken diese nun wie ein druckgesteuertes Ventil, das sich bei der Tonerzeugung periodisch öffnet und schließt [19, 73, 83]. Die Tonentstehung wird zusätzlich von vielen Faktoren bestimmt und ist ein komplexes Zusammenspiel aus verschiedenen anatomischen Strukturen, wie zum Beispiel der Interaktion zwischen dem stomatognathen System, das die Gesamtheit des Zahn-, Mund-, Kiefersystems beschreibt, und der Atem- und Stützmuskulatur des Musikers [73, 159].

Das Volumen der schwingenden Luftsäule ist für die Tonhöhe mitverantwortlich. Dieses ist hauptsächlich abhängig von der Länge des Instrumentenrohrs und charakterisiert das jeweilige Blasinstrument: je größer das Volumen, desto tiefer der Ton. Daher sind kleine zierliche Instrumente für hohe Töne, beispielsweise Piccoloflöten, und große Resonanzkörper für die tiefen Töne, bspw. Basstuba, bekannt. Der Spieler verändert die Länge der Luftsäule mittels Ventile oder Zügen und beeinflusst so die Tonhöhe. Ohne diese Bauteile können nur die jeweiligen Naturtöne und durch ein gezieltes Steigern des Blasdrucks, das sogenannte Überblasen, die Obertöne der Resonanzkörper erklingen. Der Tonumfang wird dadurch entsprechend eingeschränkt, wie bspw. beim Jagdhorn [73]. Zusätzlich bestimmen Form und Material des Klangkörpers die Toncharakteristik.

Die Klangfarbe des Instrumentes wird durch die Form und den Aufbau des Mundstücks beeinflusst. Beim Blasen eines Metallinstrumentes treffen Natur und Technik unmittelbar aufeinander, wodurch viele individuelle Faktoren Dimensionsunterschiede in den Mundstücken bedingen [13]. Die Mundstücke bei Blechblasinstrumenten kann man der Form nach in unterschiedliche Gruppen einteilen. Allen Gruppen ist gemein, dass die Formen und Größen variieren, und dass grundsätzlich die Schärfe des Klangs mit der Schärfe der Innenkante korreliert. Flache Mundstücke mit scharfer Kante lassen brillante, scharfe und helle Töne erklingen, weshalb diese gerne von Solotrompetern gespielt werden. Ein tieferer Kessel mit mehr Volumen lässt einen weichen und runden Klangcharakter entstehen und findet Anwendung unter anderem bei den Posaunen. Die weichen Töne der Hörner entstehen

mit tiefen Trichter- oder Konusmundstücken. Hingegen werden die weichen Töne bei einem Flügelhorn durch Bechermundstücke, bei denen der Ansatz leichter als bei Trichtermundstücken ist, hervorgebracht [73, 153]. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Formen der Kesselmundstücke.

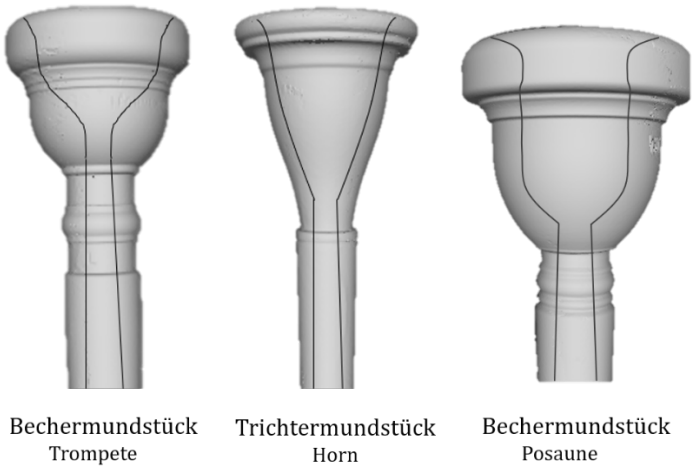


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung unterschiedlicher Mundstücke der Blechblasinstrumente Trompete, Horn und Posaune. Im Vergleich der Kesselform von Trompete und Horn ist der Unterschied eines Becher- zu einem Trichtermundstücks erkennbar. Das ebenfalls becherförmige Posaunenmundstück weist einen deutlich größeren Durchmesser auf als die Mundstücke der Klasse A1 von Trompete und Horn; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

Der Rand des Mundstücks, der den Lippen ansitzt, kann flach oder mit gewölbten bis runden Kanten gestaltet sein. Die Lippenform des Spielers bedingt hier die individuelle Auswahl des Mundstückes. Die Form des Randes beeinflusst die Klangqualität des Tones. Ein breiter Rand mit dickem Polster erleichtert die Ausdauer beim Spielen und erschwert die Präzision. Die Töne können hierbei dumpf klingen. Eine abgerundete Innenkannte erleichtert weiche Bindungen, verwischt jedoch oft kurze gestoßene Töne (Staccato) und klare Einsätze. Ein schmaler Rand steigert die Sensitivität und Präzision auf Kosten der Ausdauer [73]. Somit kann die anatomische Lippenstruktur eines Spielers durchaus Einfluss auf die Klangqualität haben.

Die Bohrung eines Mundstücks wird auch als Seele bezeichnet und beschreibt den kleinsten Durchmesser im Innern des Mundstücks (Abbildung 2). Beim Erzeugen des Luftstroms entsteht eine Relation von Volumen und Widerstand, was einen Einfluss auf die Toncharakteristik hat. Entsprechend ist die Schafthinterbohrung angepasst [153, 157, 158].

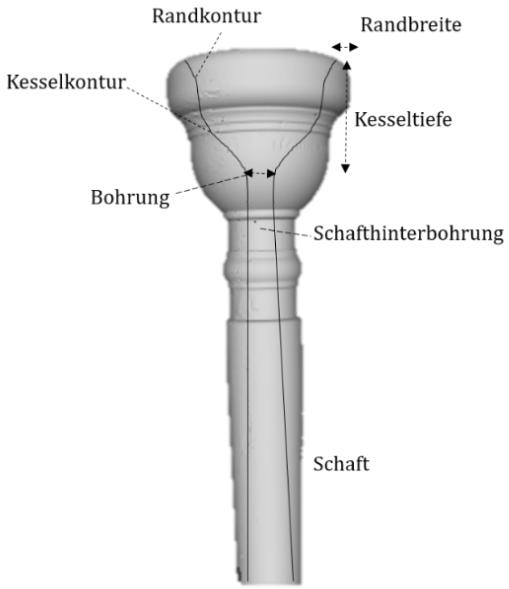


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Bechermundstückes; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

Da die physikalische Tonentstehung bereits vielen unterschiedlichen Faktoren und kleinsten Einflüssen unterliegt und die individuellen anatomischen Gegebenheiten mitberücksichtigt werden müssen, wird deutlich, wie stark sich kleinste Veränderungen auf dieses empfindliche Zusammenspiel zwischen Musiker und Instrument auswirken können. Zudem ist Musik eine individuelle Kunstform mit sehr unterschiedlichen Verständnissen von Musikästhetik und von persönlichen Komponenten und Talent abhängig.

1.3 Stand der Forschung

Bereits die ersten nachweislichen Ausführungen im Fach der Musikermedizin betrafen die Blasinstrumentalisten. Giovanni Michaele Savonarola beschrieb 1486 in seinem „Handbuch über die Krankheiten von Kopf bis Fuß“ ein gehäuftes Auftreten von Leistenhernien bei Blasinstrumentenspielern und 1559 wurden diese von Caspar Stromayr bestätigt [87, 162]. 1718 stellt Bernadino Ramazzini umfassende Beobachtungen multipler Krankheitsbilder, die durch das Spielen eines Blasinstruments entstehen können, zusammen [122, 162]. Und 1832 berichtet Karl Sundelin über Lippen- und Zahnschäden durch das Blasinstrumentenspiel [162]. 1926 beschreibt Kurt Singer Veränderungen der Unterlippe während des Trompetenspiels: „Bei einem Trompeter glitt die Unterlippe im Ansatzstück ‚wie gelähmt‘ ab. Töne bestimmter Höhen konnten nicht geblasen werden, bei gesteigerter Anspannung der Lippenmuskeln lief Speichel aus dem Mund. Und dabei bestand kein Schmerz, nur das

Gefühl eines schweren ‚Klumpens' im Mund." [141]. Hierbei ist das Krankheitsbild der fokalen Dystonie beschrieben, das bei Blasinstrumentenspielern bis heute ein häufig anzutreffendes Krankheitsbild darstellt [162, 163]. Der Begriff der Dystonie (altgriechisch δύς- dys- „schlecht", „falsch"; τόνος tonos „Spannung") beschreibt eine Gruppe von Bewegungsstörungen, deren neurologischer Ursprung in den motorischen Zentren im Gehirn liegt [52, 97]. Bei der Musikerdystonie handelt es sich um eine aufgabenspezifische fokale Bewegungsstörung [129]. Diese lässt den Musiker die feinmotorische Kontrolle während des Musizierens über beispielsweise die Unterlippe verlieren [5]. Für ungefähr 25 % der Musiker, die an dieser Erkrankung leiden, ist das Auftreten der Symptomatik gleichbedeutend mit dem Ende der beruflichen Karriere [85, 129]. Die These der Assoziation zwischen intensivem Musizieren bei bestimmten Instrumentengattungen und dem Ausbruch der Symptomatik und Lokalisation der fokalen Dystonie kann mit Hilfe der Bradford Hill Kausalitätskriterien belegt werden [66]. Deshalb hat der Ärztliche Sachverständigenbeirat Berufskrankheiten 2015 beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales die Aufnahme der Musikerdystonie als Berufskrankheit empfohlen [129]. Dieses wurde 2017 anerkannt [145].

Eine wichtige Differenzialdiagnose zur Ansatzdystonie stellt das Satchmo-Syndrom dar [36, 87]. Dieses, nach Louis „Satchmo" Armstrong (1901-1971) benannte Krankheitsbild, beschreibt eine Ruptur der internen Lippenmuskulatur, so dass Armstrong seine Karriere als Trompeter unterbrechen musste [20, 36, 156]. Die Therapie der Wahl besteht aus der operativen Wiederherstellung des Musculus (M) orbicularis oris durch eine mehrschichtige Muskelnaht mit Einzelknopfnähten [113]. Entscheidend für das weitere langfristige Musizieren ist die langsame Wiedereingliederung mit gegebenenfalls instrumentalpädagogischer und logopädischer Unterstützung [113]. Die Prognose dieser Krankheit, obwohl sehr schmerzhaft, ist im Gegensatz zur Ansatzdystonie gut [5, 113, 114].

Viele Studien aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts beschreiben mögliche Einflüsse auf das stomatognathe System durch das Blasinstrumentenspiel [16, 58, 76, 79, 84, 102, 106, 116, 117, 138, 159]. Auch die Eignung in Hinblick auf das Zahn- Mund- und Kiefersystem junger Musiker für bestimmte Instrumentenklassen werden untersucht [17, 57, 98]. Die Studienlage zum Einfluss der anatomischen Gegebenheiten auf die Positionierung und auf den Komfort des Ansatzes ist bei systematischer und strukturierter Analyse der Datenbanken nicht eindeutig.

1947 hat Edward Cheney eine Querschnittstudie bei den Musikern der Universität von Michigan der Vereinigten Staaten von Amerika mit der Fragestellung nach Ansatzschwierigkeiten in Bezug auf Okklusionsstörungen und Lippenformen, durchgeführt [30]. Die Daten von 100 Blasinstrumentalisten wurden durch Frage- und Befundbögen sowie Gipsmodelle der Ober– und Unterkiefer (OK, UK) analysiert. Das Ergebnis lässt einen Zusammenhang zwischen den anatomischen Gegebenheiten und Ansatzproblematiken vermuten [30].

Lovius und Huggins untersuchten ebenfalls den Zusammenhang einer Gebissanomalie mit dem Musizieren eines Blasinstrumentes bei 20 Musikern 1973 auf einem professionellen Niveau mit Hilfe von Gipsmodellen und kephalometrischen Röntgenbildern[1]. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass eine Normbisslage entscheidend ist um den hohen musikalischen Ansprüchen eines professionellen Orchesters in Großbritannien gerecht zu werden [88].

Lamp und Epley konzentrierten sich 1935 auf den Einfluss der Frontzahninklination und entwickelten eine Skala, mit der sie die Frontzahnstellung auf Fotografien in drei unterschiedlichen Perspektiven beurteilten. Allerdings wurde kein direkter Zusammenhang zwischen einer erfolgreichen Musikerkarriere und der Frontzahnstellung hergestellt [77].

1997 wurde in einer Dissertation der Universität Freiburg eine „quantitative Untersuchung zur Beurteilung funktioneller Parameter beim Trompetenspiel“ durchgeführt [82]. Hierbei wurden neben elektromyografischen Messungen der perioralen Muskulatur, Messungen der Mundstückkräfte bei unterschiedlichen Tonhöhen und der Kraftmessung an den mittleren Schneidezähnen beim Trompetenspiel auch Parameter zur Haltung und Positionierung des Mundstücks untersucht [82]. Dabei wurden mittels Gesichtsbogen Referenzebenen im Gesicht definiert und die Ausrichtung der Instrumentenachse bei zwei Tonhöhen im Vergleich dazu bestimmt [82]. Hier zeigten sich signifikante Ergebnisse orofazialer Parameter zur Mundstückpositionierung [82]. Die klinische Relevanz dieser Ergebnisse lag laut Autor darin, dass anatomische Gegebenheiten die Haltung der Trompete bestimmen und beim Erlernen des Musikinstrumentes keine detaillierte Vorgaben über die

[1] Kephalometrie: Kopfvermessungskunde: die kephalometrische Analyse erfolgte nach A.M. Schwarz mit einer Fernröntgenseitenaufnahme (FRS) [132].

Instrumentenhaltung durch den Lehrer die Spielentwicklung einschränken sollten [82].

Die aktuellste Studie von Kula et al. von 2016 untersuchte 70 Trompeter auf den Zusammenhang zwischen ihrer Leistung und Gebissanomalien [75]. Die musikalische Leistung wurde über festgelegte Spielübungen zur Bewegung und Artikulation der Zunge, zum Tonumfang und zur Ausdauer evaluiert. Dreidimensionale (3D) Computertomografien (CT) der Probanden zur Untersuchung anatomischer Parameter im Zahn, Mund-, Kiefersystem wurden angefertigt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Korrelation zwischen den anatomischen Parametern mit der musikalischen Leistung vorhanden ist, jedoch nicht alle Gebissanomalien eine Auswirkung auf den Ansatz haben [75].

Eine systematische Übersichtsarbeit zu diesem Thema erfolgte 2018 in den Niederlanden mit dem Ergebnis, dass anhand der aktuellen Studienlage keine evidenzbasierte Aussage getroffen werden kann [151]. Subjektive Datenerhebungen, Limitationen der Methodiken und eine starke Variation an den wissenschaftlichen Anspruch der Studiendesigns im Laufe der Zeit sind die hauptsächlichen Gründe für diese Schlussfolgerung [151].

Allgemein unterliegen Studien mit dem Ziel, einen Langzeiteffekt zu untersuchen der Schwierigkeit, eine genaue Korrelation einzelner anatomischer Parameter festzustellen [60]. Zusätzlich liegt das Risiko für einen sogenannten Bias bei nicht randomisierten Studien deutlich höher als bei randomisiert kontrollierten Studien, die eine höhere Aussagekraft haben [33, 34, 61, 94]. Gemeinsam mit der bisher vorrangig subjektiven Datenerhebung mehrerer Studien zu diesem Thema kann man die derzeitige Evidenz der Studienlage als schwach bezeichnen und weitere Untersuchungen, um die gegenseitige Lagebeziehung und Wechselwirkung zwischen stomatognathem System und dem Mundstück der Blechbläser zu verstehen, sind daher angezeigt (vgl. Anhang 1).

1.4 Dentale Diagnostik

Im Fachbereich der Kieferorthopädie werden zur prä- und posttherapeutischen Beurteilung des Erscheinungsbildes der Patienten Modellanalysen, kephalometrische Analysen, sowie Fotostat- und Profilanalysen durchgeführt [130]. Diese Auswertungsverfahren folgen festgelegten Vorgaben. Die metrische und visuelle

Auswertung des Patienten hat Einfluss auf Diagnose, Behandlungsplanung und Therapie [35].

Durch die fortschreitende Digitalisierung erfolgt die kieferorthopädische Diagnostik zunehmend mit digitalen Hilfsmitteln. Die Entwicklung dreidimensionaler Lichtscanner erweitert die Analyse zusätzlich um die dritte Dimension und ermöglicht neue Aspekte der Diagnostik. Optische dreidimensionale Messsysteme zeichnen sich durch eine schnelle, nicht invasive und präzise Oberflächendigitalisation verschiedener Körperpartien in der Medizin aus [37]. In der Gesichtsaufnahme haben sich in Deutschland Streifenlichtprojektoren durchgesetzt, wo hingegen im nordamerikanischen Raum vermehrt sogenannte eye-safe Laser zur Anwendung kommen [6, 37].

1.4.1 3D Gesichtsanalyse in der Kieferorthopädie

Die Profilanalyse nach A.M. Schwarz wurde in den 1950er Jahren anhand zweidimensionaler Fotografien entwickelt. Die von ihm verwendeten Landmarken sind demnach nicht direkt am Gesicht markiert worden, sondern im Nachhinein auf der Fotografie eingezeichnet. Die Auswertung des Gesichts erfolgt nur in einer Ebene. Einige Studien haben sich bei der Weiterentwicklung der Auswertung in den dreidimensionalen Raum mit der Übertragung und der Definition anatomischer Landmarken beschäftigt [44, 70, 74, 91, 115, 128]. Ziele dieser Studien waren unter anderem die Vergleichbarkeit der Auswertungen zu beurteilen, die Reproduzierbarkeit der Landmarken im dreidimensionalen Raum zu bestimmen sowie die Auswirkungen der integrativen Analyse der Kiefermodellen zu den Gesichtsauswertungen zu untersuchen.

Plooji et al. berichten über eine hohe Intra- und Interrater-Reliabilität [115]. Dabei war die Genauigkeit der Reproduzierbarkeit von 45 Landmarken bei den einzelnen Untersuchern kleiner als 0,5 mm und die Interrater-Reliabilität ebenfalls bei 39 Landmarken bei unter 0,5 mm. Die median gelegenen Landmarken waren präziser reproduzierbar und für den Punkt Gonion ergab sich die schlechteste Reproduzierbarkeit. Die Autoren begründeten dieses Phänomen damit, dass die knöchernen Strukturen bei einem digitalen dreidimensionalen Datensatz des Gesichts weder palpabel noch sichtbar sind. Daher entwickelten sich für manche Landmarken eine neue präzise Definition für die Markierungsposition [115].

2016 haben Fink et al. in einer Untersuchung die Oberflächenscans und 2D-Profilaufnahmen von 75 erwachsenen Personen untersucht und ebenfalls eine gute Reproduzierbarkeit feststellen können [45]. Diese zeigt sich in der guten Übereinstimmung innerhalb des 3D-Verfahrens mit einer Interrater-Reliabilität von 0,84-0,94. Die Autoren beschreiben eine Verfälschung der 2D-Ansicht gegenüber der Auswertung im dreidimensionalen Raum, da Asymmetrien nicht berücksichtigt werden [45]. Rückschlüsse über den sagittalen Einbau der Kieferbasen sowie über intermaxilläre Beziehungen lassen sich laut Kochel et al. über korrelierende definierte Punkte des Weichteilprofils aufstellen [74]. Zusammenfassend kann man die Reproduzierbarkeit als genügend einschätzen, dass die Gesichtsanalyse mit der der Fotostatanalyse vergleichbar ist, und durch die Integration der Kiefermodelle sowie der Darstellung und Auswertung der dritten Dimension neue Möglichkeiten schafft.

Die Frankfurter Horizontale ist bekannt als die Augen-Ohr-Ebene und beschreibt eine Linie zwischen Hautporion und dem Orbitalpunkt. Der oberste Punkt des äußeren Gehöreingangs ist als Punkt Porion, der Orbitalpunkt ist eine Lidspaltbreite unterhalb der Pupille des geöffneten geradeaus blickenden Auges definiert. Die Profilauswertung gebraucht zusätzlich Landmarken in der Gesichtsmitte. Diese median gelegenen Punkte sind bei zweidimensionalen Aufnahmen limitiert, da sie stark von der Positionierung des Patienten im Profil zur Kamera abhängig sind. Durch die dreidimensionale Auswertung entstehen neue Möglichkeiten, aber auch Herausforderungen die Landmarken korrekt zu setzen. Das digitale Gesicht ist in allen Richtungen frei zu rotieren. Um eine Orientierung im digitalen Raum zu gewährleisten, wurde u. a. am Universitätsklinikum Ulm ein Koordinatensystem basierend auf Fotostatanalysen entwickelt (Abbildung 3). Dieses Koordinatensystem lässt zudem die Integration eines weiteren Scans, z.B. von Kiefermodellen, zu.

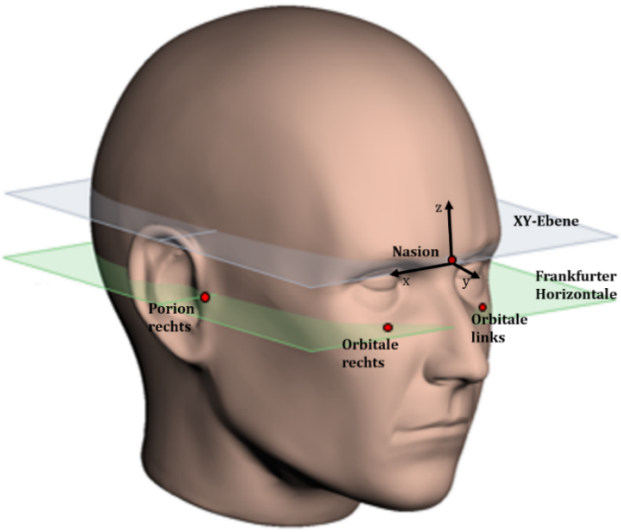


Abbildung 3: Schematische Darstellung im dreidimensionalen Raum der Frankfurter Horizontalebene und dem Koordinatensystem mit dem Punkt Nasion als Nullpunkt; Universitätsklinikum Ulm, 2017.

1.4.2 Modellanalyse in der Kieferorthopädie

Die Übertragung in das digitale Medium erfolgt ebenfalls für die Modellanalyse. Diese wurde in der Vergangenheit bereits mit einer realitätsnahen dreidimensionalen Methode durch die Herstellung und Auswertung von Gipsmodellen durchgeführt [132]. 2011 veröffentlichte Fleming et al. eine systematische Literaturübersichtsarbeit mit dem Ziel, die Auswertung dentaler Parameter an digitalen Modellen zu bewerten [47]. Das Ergebnis aus 17 Studien beweist die gute Vergleichbarkeit kieferorthopädischer Messungen der digitalen Modellauswertung zu herkömmlichen Gipsmodellen [47]. Eine gute Reproduzierbarkeit bei digitalen Modellanalysen konnten Huanca Ghislanzoni et al. bei einer Validitätsstudie mit 25 vollbezahnten digitalen Modellanalysen feststellen [70]. Zur Auswertung wurden Koordinatensysteme für die Modelle erstellt und 60 Landmarken pro Kiefer gesetzt [70]. Weitere Studien zur digitalen Modellauswertung zeigen ähnliche Ergebnisse, sodass diese Methode bereits unter anderem am Universitätsklinikum Ulm mit Hilfe der Software OnyxCeph3™ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) zur Anwendung kommt [32, 90, 119, 120]. Ähnlich der Gesichtsanalyse wird ein Koordinatensystem für Messungen an den Kiefern berechnet

Als Innovation durch die Digitalisierung der Daten kann die Integration beider Auswertungen genannt werden. Der Modellscan kann dem Gesichtsscan über sogenannte Schlüsselscans zugeordnet werden und die Landmarken werden sowohl im kieferspezifischen als auch im Gesichtskoordinatensystem gesetzt. Somit wird die

Relation zueinander dargestellt und Verhältnisse zwischen den dentalen Gegebenheiten und der Weichteilphysiognomie auswertbar. Bei einer Untersuchung von 49 Personen mit „idealer“ Verzahnung verglich Masoud et al. 2017 die Gesichtsoberfläche zum integrierten Kiefermodell [91] Der Fokus der Untersuchung lag auf dem Vergleich der Orientierung der Auswertung an Gesichtspunkten, anstelle der aus der Kephalometrie bekannten Schädelbasis. Hierbei wurden dentale Parameter wie beispielsweise die Inklination der Frontzähne zu einer fazialen Bezugsebene (Bipupillarlinie) geschlechterspezifisch untersucht und mit Standartwerten verglichen. Die Autoren validierten die dreidimensionale dentofaziale Gesichtsfotografie als Alternative zur röntgenologischen Auswertung in der Kieferorthopädie [91]. Ebenso war die Beschreibung der Okklusionsebene in Beziehung zur fazialen Anatomie Ziel einer Studie mit Oberflächenscans und Modellen von 20 Personen von Rosati et al. [128]. Letztere zeigt zusätzlich eine gute Reproduzierbarkeit zwischen mehreren Untersuchern [128]. Die Verteilung bestimmter Gesichts- und Kiefermerkmale sowie die Gesichts-Kieferrelation kann durch eine kombinierte 3D-Analyse dargestellt werden.

1.4.3 Messung der Zahnbeweglichkeit

Zum Zahnhalteapparat werden alle Strukturen gerechnet, die den Zahn in der Alveole des Kieferknochens befestigen. Dieses sogenannte Parodontium stellt eine funktionelle Einheit aus mehreren Strukturen dar. Die Verankerung zwischen Zahnoberfläche und Knochen erfolgt hauptsächlich über nicht-elastische Sharpey’sche Fasern [137]. Die enge Lagebeziehung des Mundstücks mit den Schneidezähnen zeigt die Relevanz für die Gesundheit der parodontalen Strukturen. Der entstehende Mundstückdruck beim Blasinstrumentenspiel sowie die parodontale Gesundheit wurden bereits in früheren Studien untersucht [15, 22, 80, 82, 139, 140, 146]. In der 1995 durchgeführten Studie von Borchers et al. wurden Anpressdrucke von 29 N und Zahnverschiebungen von 43 µm für Tubisten und bis zu 50 N und 100 µm für Trompeten gemessen [23]. Eine weitere Langzeitstudie von 1998 beschreibt eine überdurchschnittlich gute parodontale Gesundheit bei Musikern ohne statistisch signifikante Unterschiede bei Blas- und Nichtblasinstrumentalisten [146]. Der parodontale Zustand eines Gebisses wird über verschiedene Indexwerte erhoben [146].

Eine objektive Analyse der Zahnbeweglichkeit kann mithilfe des dentalmedizinischen drahtlosen Messgeräts Periotest M (Medizintechnik Gulden, Modautal, Deutschland)

durchgeführt werden. Das Anwendungsspektrum des Periotest bezieht sich auf die Beurteilung der Osseointegration dentaler Implantate sowie bei natürlichen Zähnen zur Diagnose und Beurteilung von Erkrankungen des Zahnhalteapparates (Parodontopathien) und zur Beurteilung okklusaler Belastungen. Die Werteskala erstreckt sich von -8 bis +50 und ist auf den gängigen Mobilitätsindex von 0-III übertragbar [29, 39, 95]. Je kleiner der Periotest-Wert, desto größer die Stabilität bzw. die Dämpfung des Messobjektes [95]. Das elektromechanische Messverfahren basiert auf einem elektrisch angetriebenen Stößel, der die Zahnoberfläche perkutiert und über einen drucksensitiven Kopf verfügt, der die Kontaktzeit zum Messobjekt misst. Je lockerer das Messobjekt ist, desto länger ist die Kontaktzeit und desto höher der Periotest-Wert. Durch die Eliminierung fehlerhafter Einzelimpulse unterstützt das Gerät die Sicherheit und die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse [95].

1.5 Zielsetzung

Das Ziel dieser Studie ist eine objektive Datenerhebung mittels digitalen 3D-Analysen von integrierten Kiefermodellen zu Gesichtsoberflächenscans bei professionellen Blechbläsern, um zu untersuchen, ob bzw. auf welche Weise die Mundstückpositionierung von den anatomischen Gegebenheiten des Musikers abhängt. Die Untersuchung der morphologischen Merkmalsausprägungen der Probanden erfolgt auf 3D gestützten Analysen und die Korrelation der Parameter mit statistischen Verfahren. Damit sollen insbesondere die Auswirkungen der Stellung der Oberkiefer-Frontzähne, des Gaumenverlaufs und der Lippenphysiognomie auf den Ansatz gezeigt werden. Durch die Subklassifizierung der Blechblasinstrumente in die Klassen A1 (kleiner Mundstückdurchmesser) und A2 (großer Mundstückdurchmesser), werden zusätzlich instrumentenklassenspezifische Gemeinsamkeiten herausgearbeitet.

2 Material und Methodik

Die Datenerhebung dieser randomisiert, kontrollierten, prospektiven, klinischen Studie unterliegt einem genehmigten Ethikvotum der Ethikkommission der Universität Ulm (Nr. 276/14). Die Teilnahme der Probanden[2] war freiwillig und konnte jederzeit und ohne Grund widerrufen werden.

2.1 Probandenrekrutierung

Die Untersuchungen wurden an insgesamt 50 Blechblasinstrumentalisten durchgeführt, die je nach Instrument in Gruppen eingeteilt wurden: 34 Musiker der Klasse A1 (Trompete und Horn) und 16 Musiker der Klasse A2 (Posaune). Es wurden ausschließlich Berufsmusiker ausgewählt, die ihren Lebensunterhalt mit Musizieren bestreiten. Die Probanden wurden aus unterschiedlichen Bereichen der Musikbranche akquiriert. Den größten Teil bildeten Orchestermusiker des Heeresmusikkorps Ulm, des Gebirgsmusikkorps in Garmisch-Partenkirchen und des Heeresmusikkorps Veitshöchheim. Des Weiteren wurden Musiker des Orchesters des Theaters Ulm, Musiker der staatlichen Hochschule für Musik und darstellenden Kunst Stuttgart (HDMK) und selbstständige Berufsmusiker mit privater Kontaktaufnahme untersucht. 40 männliche Musiker und 10 weibliche Musikerinnen wurden in die Studie eingeschlossen. Zum Zeitpunkt der Auswertung im Jahr 2018 lag der Mittelwert (MW) des Probandenalters bei 32,98 Jahren. Die Trompeter wiesen einen Mittelwert von 36,3 Jahren auf, die Posaunisten von 31,45 Jahren und die Hornisten von 29,86 Jahren. Die durchschnittliche Dauer seit Erlernen des Instrumentes lag bei 21,96 Jahren. Die durchschnittliche Dauer, seit der die Probanden ihr Instrument mit einem längeren, berufsbedingten Zeitaufwand spielen bei 12,15 Jahren. Vor Untersuchungsbeginn wurden die Probanden ausführlich über die Vorgehensweise aufgeklärt und ihre Zustimmung mit Unterschrift eingeholt.

2.2 Frage- und Befundbogen

Mit Hilfe eines Fragebogens wurden musikermedizinspezifische Fragen gestellt, die nach der subjektiven Einschätzung der Probanden beantwortet werden sollten. Dieser Fragebogen war in drei Kategorien aufgeteilt. Ein Anamnesebogen zum allgemeinmedizinischen Gesundheitszustand sollte mögliche Vorbelastungen für

[2] Die Ausdrücke „Proband“, „Untersucher“, „Blechbläser“ und „Musiker“ bezeichnen gleichermaßen das männliche und weibliche Geschlecht.

allergische Reaktionen oder Unverträglichkeiten auf die bei der Untersuchung verwendeten Materialien zu erkennen geben. Dem folgte eine zahnmedizinische Anamnese. Hierbei wurden Fragen nach kieferorthopädischen Therapien, Zahnersatz und Frontzahntraumata gestellt. Der dritte und größte Teil des Fragebogens konzentrierte sich auf Fragen zum Musizieren mit Angaben zu den Instrumenten, den Spielzeiten und bewussten Gewohnheiten des Ansatzes. Über allgemein musikalische Fragen wurden Informationen zu den Instrumenten, möglichen Zweitinstrumenten und der Spielpraxis der Probanden erbeten. Zur subjektiven Einschätzung der Haltung des Instrumentes mit Fokus auf den Mund-Kiefer-Gesichtsbereich wurden fünf qualitative Fragen gestellt. Auffälligkeiten in den einzelnen Bereichen des stomatognathen Systems während bzw. kurz nach dem Spielen wurden über quantitative Fragen mit Ja/Nein-Auswahl erfragt. Durch diese dichotomen Antwortmöglichkeiten zu Fragen nach subjektiven Wahrnehmungen der Probanden wurde eine Vergleichbarkeit der Antworten angestrebt und das Ziel einer quantitativen Auswertung verfolgt. Bei den überwiegend qualitativen Fragen wurde bewusst Raum für eine ausführliche Antwortmöglichkeit gegeben. Die Teilnehmer wurden gebeten, die Fragen wahrheitsgemäß und bewusst zu beantworten. Um die Limitationen der Befragung auf Grund der möglichen Nachteile einer schriftlichen Befragungstechnik zu minimieren, wurden in einem darauffolgenden persönlichen Gespräch die Fragen mit den Untersuchenden gemeinsam besprochen und ggfs. ergänzt [72].

2.2.1 Extra- und intraorale Befunderhebung

Aufbauend auf der gemeinsamen Besprechung des Fragebogens zwischen Studienteilnehmer und Untersuchendem wurde ein extra- und intraoraler Befund durchgeführt. Diese Befunderhebung folgte einem festgeschriebenen Verfahren und wurde qualitativ und reproduzierbar auf einem Befundbogen dokumentiert. Die Vergleichbarkeit wurde durch vorgegebene Antwortmöglichkeiten sichergestellt. Die Antwortmöglichkeiten wurden von 0 bis 3 skaliert, wobei die Antwortmöglichkeit „0“ immer für „ohne Befund“, demnach „ohne Auffälligkeiten“ oder „pathologischen Veränderungen“, verwendet und die Antwortmöglichkeiten „1-3“ fragenspezifisch angepasst wurden. Einige Fragen gaben die Möglichkeit mehrere Antwortmöglichkeiten auszuwählen, sodass eine Variation in den Ergebnissen der

Probandenanzahl in den jeweiligen Fragen entstand. Es wurde berücksichtigt, dass mindestens ein approbierter Zahnmediziner vor Ort die Untersuchungen begleitete.

Der Fokus der extraoralen Untersuchung lag auf der Beurteilung der Lippenphysiologie mit Auffälligkeiten der Lippenhaut und auf einem kurzen Screening des kraniomandibulären Systems, im Speziellen der Kaumuskulatur und des Kiefergelenks. Ziel der intraoralen Befundung war eine Beurteilung der Mundschleimhaut zu Irritationen, Impressionen oder oberflächlichen Verletzungen und die Dokumentation des Zahnstatus, vergleichbar mit einem zahnärztlichen Vorsorgetermins. Falls ein Therapiebedarf festgestellt wurde, wurde darüber aufgeklärt.

Die Analyse der Zahnbeweglichkeit wurde mithilfe des drahtlosen Messgeräts Periotest M (Medizintechnik Gulden, Modautal, Deutschland) durchgeführt [95]. Für eine aussagekräftige Messung wurde auf die korrekte Positionierung des Testgeräts mit horizontaler Ausrichtung im 90°-Winkel zur Zahnachse geachtet. Gemessen wurden im Ober- und Unterkiefer die Schneide- und Eckzähne. Zur Beurteilung dieser Daten wurden Mittelwerte der Messungen eines Zahntyps (mittlere Schneidezahn, seitlicher Schneidezahn und Eckzahn) berechnet. Somit entstanden drei Werte für den Oberkiefer und drei Werte für den Unterkiefer jedes Probanden. Mit Hilfe einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) wurde untersucht, ob sich diese Werte innerhalb der Instrumentengruppen signifikant unterscheiden. Das Signifikanzniveau (p-Wert) wurde auf $p<0,05$ festgelegt.

2.2.2 Kiefermodelle

Zur Analyse der Bisslage sowie zur Auswertung intraoraler Hart- und Weichgewebsstrukturen wurden mittels Abformungen Gipsmodelle der Ober- und Unterkieferzahnbögen angefertigt. Dieses Verfahren ist eine gängige Methode zur Befunderhebung in der Zahnheilkunde [132]. Der zahnmedizinischen Vorgehensweise folgend, wurden die Zähne, der Gaumen und die Umschlagsfalte der Probanden möglichst blasenfrei abgeformt. Um die Modelle später im Labor korrekt zusammenzusetzen, wurde mittels eines Wachsbisses im Schlussbiss die Okklusion übertragen.

Die Herstellung der Gipsmodelle erfolgte durch den Ausguss der desinfizierten Abformungen mit Superhartgips Hinrizit® (Ernst Hinrichs GmbH, Goslar,

Deutschland) nach zahntechnischem Standard mit Vakuumanrührmaschine und Gipsrüttler. Die ausgehärteten Modelle wurden mithilfe des Wachsbisses in Okklusion gesetzt und zu einem dreidimensional orientierten Modellpaar am Gipstrimmer eingeschliffen. Die Digitalisierung dieser Modelle erfolgte mit dem Streifenlichtprojektionsscanner d-STATION^{3D} (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland). Die Auswertung der sagittalen Frontzahnstufe in Millimetern erfolgte händisch an den Gipsmodellen. Hierfür wurde mithilfe einer Schieblehre mit Noniusskala der Abstand der Inzisalkanten der Zähne 11[3] und 21 zu den vestibulären Flächen der Zähne 41 und 31 in sagittaler Ebene gemessen.

2.2.3 Digitalisieren der Kiefermodelle

Für ein berührungsloses Messen und Digitalisieren in höchster Präzision werden im dentalen Bereich optische Messtechniken, in Form eines Streifenlichtprojektionsscanners verwendet [69].

Der d-STATION^{3D} Weißlichtscanner (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland) lässt den Scanprozess vollautomatisch ablaufen (Abbildung 4). Die fertig hergestellten Gipsmodelle wurden mittels Spannschrauben auf der frei positionierbaren Bewegungsplatte fixiert, wobei eine gute Fixation essentiell für die Datenerstellung ist. Der Scanner nimmt die Daten mit einer monochromen digitalen Kamera in einem Messfeld von 70 x 90 mm und mit einer Auflösung von 1269 x 964 Pixel auf und alle Bestandteile befinden sich in einem abgeschlossenen Kompartiment [25]. Die Verzerrung des Streifenmusters, die durch die Geometrie des Scanobjektes entsteht, ermöglicht die Berechnung der Oberfläche nach dem Triangulationsprinzip (Abbildung 5) [112]. Die hier verwendete Software OPTOCAT 2015R2 (15.2.3.8) (AICON 3D Systems GmbH, Meersburg, Deutschland) nutzt einen Algorithmus zur schnellen Erzeugung hochgenauer Punktwolken in höchster Datenqualität und erstellt einen digitalen dreidimensionalen Datensatz des Scanobjektes als stl-Datei [3].

[3] Für die eindeutige Bezeichnung der Zähne folgt die Zahnbezeichnung dem international gebräuchlichen Zahnschema Fédération Dentaire International (FDI) [11].



Abbildung 4: d-Station3D Weißlichtscanner (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland) mit eingespanntem Unterkiefergipsmodell; Universitätsklinikum Ulm, 2018.

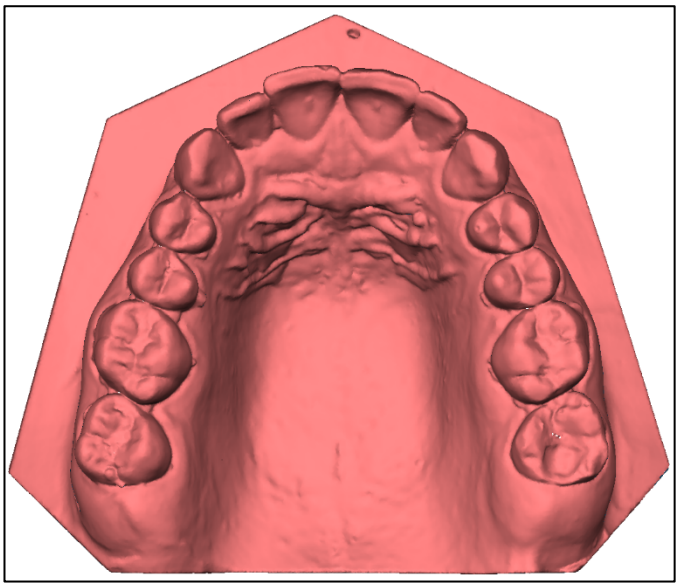


Abbildung 5: Digitalisiertes Oberkiefermodell in der Software OPTOCAT 2015R2 (15.2.3.8) (AICON 3D Systems GmbH, Meersburg, Deutschland); Universitätsklinikum Ulm, 2018.

2.3 3D-Gesichtsscan

2.3.1 Scanmethodik

Der zweite Teil der Untersuchung der Probanden bezieht sich auf faziale anatomische Merkmale sowie die Positionierung des Mundstückes mit dem Instrument zum dentoalveolären System und perioralem Weichgewebe. Um eine möglichst realitätsnahe Lagebeziehung zu detektieren, wurden die Musiker gebeten, ihr Instrument mit dem ihnen üblichen Mundstück zur Untersuchung mitzubringen. Die

Datenerhebung erfolgte ebenfalls über ein optisches Messverfahren mittels Streifenlichtscanner zu einem dreidimensionalen digitalen Datensatz. Das 3D-Digitalisierungssystem optoTOP-HE (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland) ist ein topometrisches 3D-Messsystem [26]. Der Scanner verfügt über eine digitale Farbkamera (Basler 102fc) mit 1,4 Megapixel und bietet mit einer Messfelddiagonalen von 650 mm eine Auflösung von 0,43 mm. Die Scandauer beträgt 0,8 Sekunden und durch das verwendete Phasenshift-Verfahren erzielt das optoTOP-HE eine Genauigkeit von ungefähr 200 µm. Für eine serielle Aufnahme der rechten und linken Gesichtshälfte, wurden zwei optoTOP-HE Scanner gleichzeitig verwendet. Die 3D-Darstellung des Gesichts erfolgte durch manuelle Überlagerung der identischen Scanbereiche in der Gesichtsmitte. Als Messsoftware wurde ebenfalls OPTOCAT 2015R2 (15.2.3.8) verwendet und stl- Dateiformate generiert [26].

2.3.2 Scanvorgang

Zur Vorbereitung auf den Gesichtsscan wurden die Probanden über die Methodik aufgeklärt, gebeten Brillen abzunehmen und ggfs. Haare, die bestimmte Punkte an Stirn und Ohren verdecken, mithilfe eines Haarreifes aus dem Gesicht zu streifen. Zusätzlich wurde mit einem nicht-permanentem schwarzen Stift die Orbitapunkte beidseits durch den Untersucher markiert. Das Scanverfahren der Probanden begann mit einem „Ruhescan“ der Person en face. Damit wurde die Ausgangssituation mit entspannter Gesichtsmuskulatur des Probanden aufgenommen und die Einstellungen der Scanposition konnten bei Bedarf individualisiert werden. Für die Aufnahmen wurde ein drehbarer Stuhl in gleichbleibendem Abstand zu den Scannern positioniert. Die Höhe der Scanner wurde an die Körpergröße der Probanden angepasst. Die Person sollte ihren Kopf an der voreingestellten Kopfstütze des Stuhles anlehnen, die Beine nicht überschlagen und die Füße flach auf dem Boden aufstellen, um einen bewegungsarmen Scanvorgang zu gewährleisten. Ähnlich der kieferorthopädischen Gesichtsanalyse nach A.M. Schwarz, wurde für die 3D-Analyse ebenfalls der Ohrpunkt, der nur in der Profilansicht sichtbar ist, benötigt. Dafür wurde der Proband um je 45° mit dem Stuhl gedreht, um Profilaufnahmen der rechten und linken Seite anzufertigen [132]. Abbildung 6 zeigt den Versuchsaufbau des frontalen Ruhescans eines Probanden.



Abbildung 6: Scanvorgang eines Probanden in der frontalen Ansicht in Ruhe mit dem Streifenlichtprotektor optoTOP-HE (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland). Auf dem Boden sind 45°-Markierungen für die seitlichen Scanaufnahmen zu sehen; der Positionierungsstuhl weist eine individuell einstellbare Kopfstütze auf, um ein bewegungsfreies Messen zu gewährleisten; mit freundlicher Genehmigung von Herrn Julius Breitling, Universitätsklinikum Ulm, 2018.

Anschließend wurde ein Scan mit abgehaltenen Lippen aufgenommen („Mundlöffelscan“). Die Lippen der Probanden wurden über zwei Wangenhalter abgehalten, wodurch die Ober- und Unterkieferzähne in der Schlussbisssituation sichtbar wurden. Da glatte bzw. feuchte Flächen reflektieren und nicht über den Weißlichtscanner dargestellt werden können, müssen diese mithilfe eines Scansprays detektierbar werden. Für die vestibulären Flächen kam hierzu der BlueSpray (Dreve, Unna, Deutschland) zum Einsatz. Ein bläulich eingefärbtes mikropulverisiertes Spray, das in der Zahnmedizin routinemäßig für intraorale optische Abformungen angewendet wird. Anschließend konnten die Probanden mit Einwegzahnbürsten und Wasser die Sprayrückstände problemlos entfernen.

Für die weiteren Scans wurde der Stuhl durch einen Hocker ersetzt, da die Größe der angesetzten Instrumente eine entferntere Position der Probanden zum Scanner bedingte. Hierbei wurde darauf geachtet, dass sowohl das Gesicht des Probanden sowie das Mundstück im Scanfeld lagen (Abbildung 7). Es wurden Testscans durchgeführt, um trotz der möglichen Irritationen durch das nötige Stillhalten und der projizierten Streifenlichter eine realitätsnahe Aufnahme während der Spielpraxis erstellen zu können. Bei den auszuwertenden „Spielscans“ wurden den Musikern drei verschiedene Töne im Abstand von je einer Oktave (Klasse A1: „g“, „g1“, „g2“; Klasse A2: „F“, „f“, „f1“) vorgegeben. Jeder Ton wurde dreimal wiederholt, um die

Reproduzierbarkeit zu untersuchen. Die Töne wurden gewählt, da diese in allen drei Oktaven angenehm anzuspielen sind und keine anstrengenden Höchstleistungen der Musiker erfordern.



Abbildung 7: Beispielhafte Aufnahme während des Scanvorgangs eines Probanden der Klasse A1 (Trompete); mit freundlicher Genehmigung von Herrn Julius Breitling, Universitätsklinikum Ulm, 2018.

Für die spätere Analyse der Daten wurden die Mundstücke der Probanden mithilfe des d-STATION^{3D} Scanners (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland) separat digitalisiert. Dies wurde benötigt, da die Mundstücke während des Spielens durch die Instrumente oder Hände der Musiker teilweise verdeckt wurden und nicht im Ganzen durch den stationären Streifenlichtscanner detektierbar waren. Speziell angefertigte Halterungen aus Gips und Holz positionierten die Mundstücke im Scanbereich des Streifenlichtscanners. Die Halterungen sind mit einem kegelförmigen Holzstift ausgestattet, der über zwei Gummiringe verfügt und dadurch für unterschiedliche Durchmesser der Schafthinterbohrungen verwendbar ist (Abbildung 8). Zusätzlich wurden die Mundstücke am Schaft mit weichem Knetwachs fixiert, um einen störungsfreien Scan, trotz der Bewegungen des Scantellers des Streifenlichtscanners, durchzuführen (Abbildung 9). Die Mundstücke der Blechblasinstrumente bestehen in den meisten Fällen aus Messing mit einem galvanischen Überzug aus Silber, Gold oder Titan [73]. Diese metallischen Oberflächen reflektieren das Licht der Scanner, sodass auch hier der Scanspray BlueSpay aufgebracht wurde. Jedes Mundstück wurde in zwei unterschiedlichen Positionen gescannt, um einen kompletten Scan des runden Mundstückes zu gewährleisten.



Abbildung 8: Halterungen der drei Instrumentengruppen für die Digitalisierung der Mundstücke aus Holz und Gips für den d-Station^{3D} (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland). Beispielhaft abgebildet ist ein Hornmundstück, das für den Scanvorgang vorbereitet ist; Universitätsklinikum Ulm, 2018.



Abbildung 9: Fixierung der Mundstückhalterung mit aufgesetztem Trompetenmundstück mithilfe der Feststellschrauben auf dem Scanteller des d-STATION^{3D} (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland); Universitätsklinikum Ulm, 2018.

2.4 Datenaufbereitung

Die digitale 3D-Darstellung als Ergebnis der beiden Streifenlichtscanner erfolgte mit der Software OPTOCAT 2015R2 (15.2.3.8). Für eine aussagekräftige Analyse mussten alle gescannten Daten in ein gemeinsames Koordinatensystem eingefügt werden. Jedes Scanobjekt wurde dafür einzeln vorbereitet, um anschließend die Mundstückpositionen zum stomatognathen System auszuwerten.

2.4.1 Bearbeitung „Ruhegesicht“

Die Bearbeitung der Gesichtsscans begann mit dem Zusammensetzen der en face Daten und der Profilansicht, um die Ohrpunkte korrekt zum Gesicht zu positionieren. Dieses Zusammenfügen wurde durch Überlagerung deckungsgleicher Bereiche des Gesichts

in den jeweiligen Scans ermöglicht (Abbildung 10). Im Ruhescan konnte das Zahnmodell nicht reproduzierbar positioniert werden. Hierfür wurde der Mundlöffelscan zunächst mit dem Ruhegesicht überlagert und fungierte so als Übertragungsschlüssel für die korrekte Positionierung des Oberkiefers im Gesicht (Abbildung 11). Das gemeinsame Ausrichten folgte einem detaillierten Protokoll für eine genaue und reproduzierbare Zuordnung der Scans. Das Zwischenergebnis als Datensatz „Ruhegesicht“ umfasst die zusammengesetzten Informationen der vier Gesichtsscans ohne Instrument und dem Oberkiefermodell (Abbildung 12).

a

b

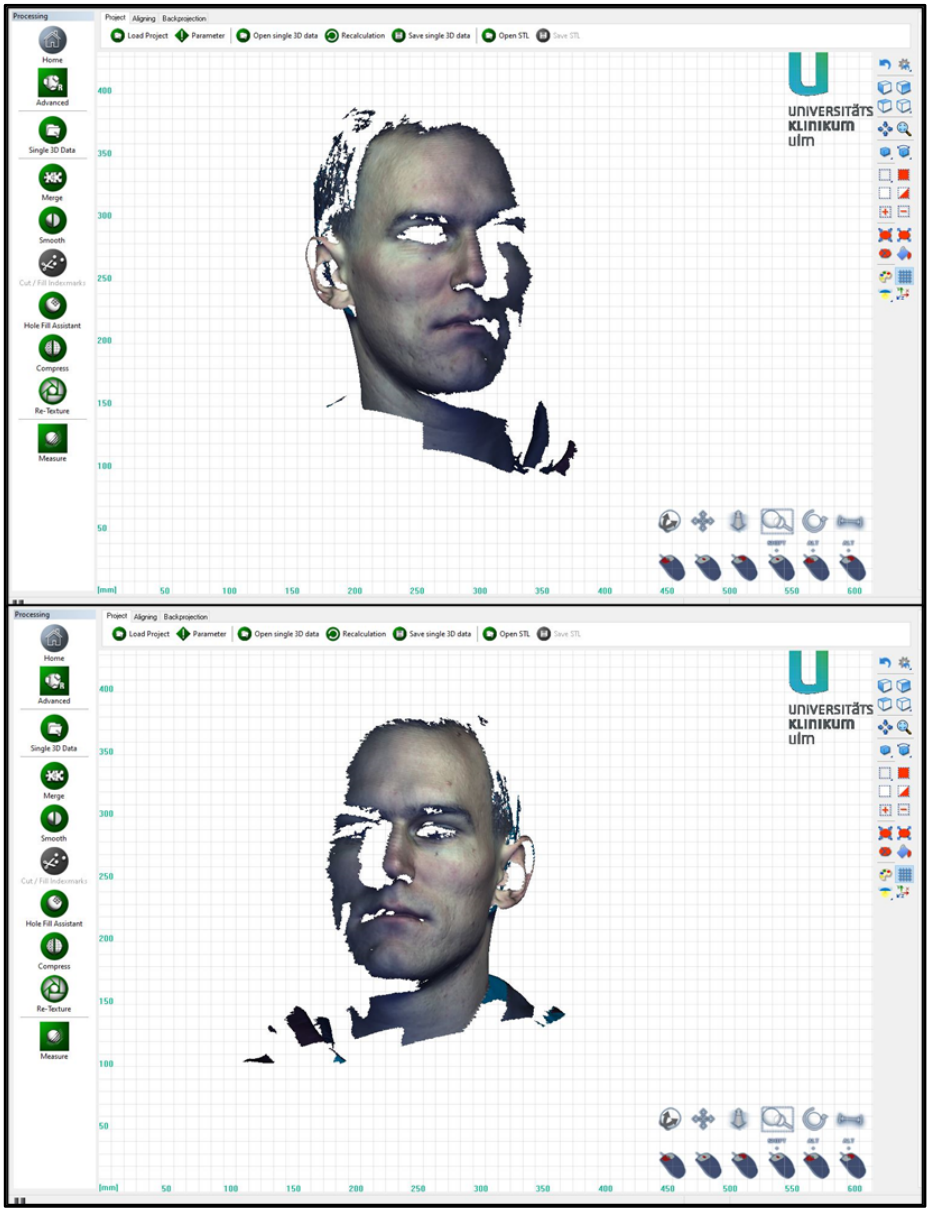


Abbildung 10: Darstellung des rechten (a) und linken (b) seitlichen Scans eines Probanden für die Detektion der Punkte Porion rechts und links in OPTOCAT 2015R2 (15.2.3.8); Universitätsklinikum Ulm, 2019.

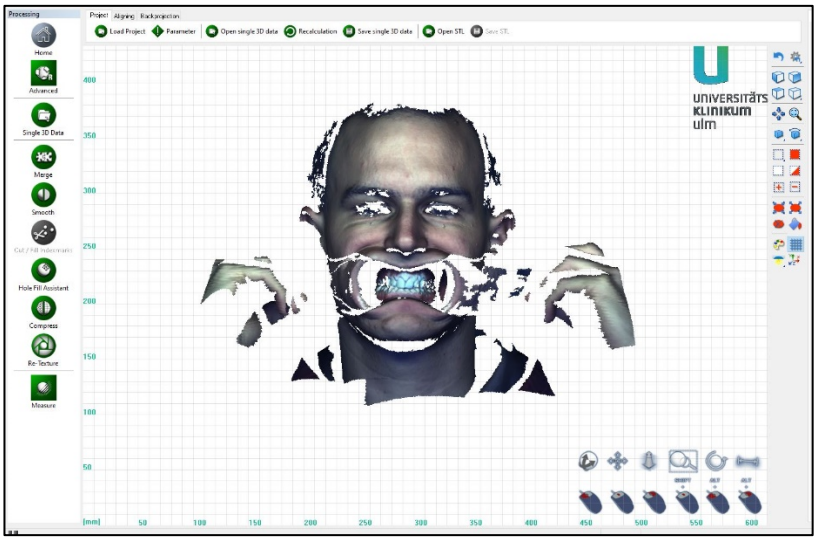


Abbildung 11: „Mundlöffelscan“ eines Probanden: Die vestibulären Flächen der Ober- und Unterkieferzähne sind durch den BlueSpray (Dreve, Unna, Deutschland) für den Scanvorgang detektierbar; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

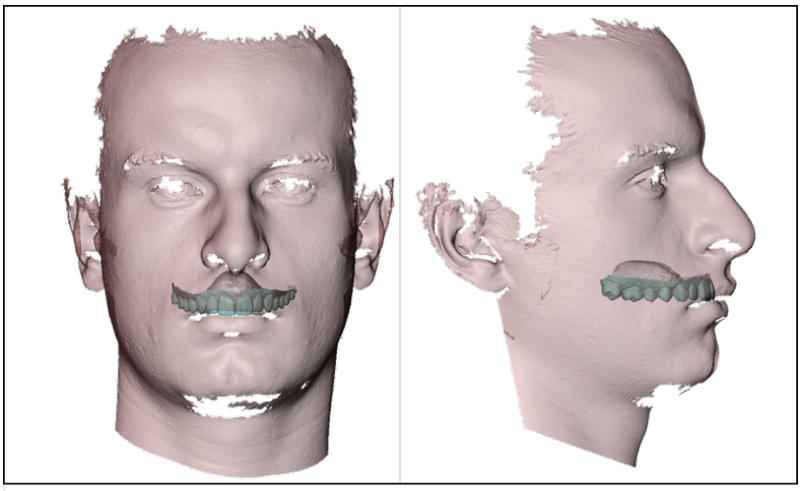


Abbildung 12: Ergebnis des Zusammenfügens der seitlichen und frontalen Gesichts- und „Mundlöffelscans“: frontale und seitliche Darstellung des „Ruhegesichts“; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

2.4.2 Bearbeitung *Spielscans*

Die beiden einzelnen Scans der Mundstücke wurden zusammengefügt und als eine komplette Mundstückdatei für jeden Probanden gesichert. Diese wurde in OPTOCAT verneunfacht und jeweils einem der neun Spielscans (drei Tonhöhen mit je drei Wiederholungen) zugeordnet. Im nächsten Schritt wurden die Spielscans als Übertragungsschlüssel genutzt, um die Mundstücke zum Ruhegesicht in Relation zu setzen. Da sich die periorale Muskulatur beim Musizieren durch Spannung der Lippenmuskeln zur Tonerzeugung anspannen und dadurch verändern, wurde eine Überlagerung der einzelnen Spielscans mit dem Ruhegesicht über die Stirnpartie mit Nasenrücken und Schläfen ermöglicht (Abbildung 13). Mithilfe dieses

„Stirnalignments“ konnten alle Gesichtsscans, mit und ohne Instrument, übereinandergelegt werden. Dieses Zusammenfügen stellt die Relation der Mundstücke zum Ruhegesicht für jede Tonwiederholung dar. Die Schlüsselscans sind nun nicht mehr von Bedeutung. Der daraus folgende auswertbare 3D-Datensatz besteht pro Proband aus Gesicht-, integriertem Oberkieferscan und neun Mundstückpositionen.

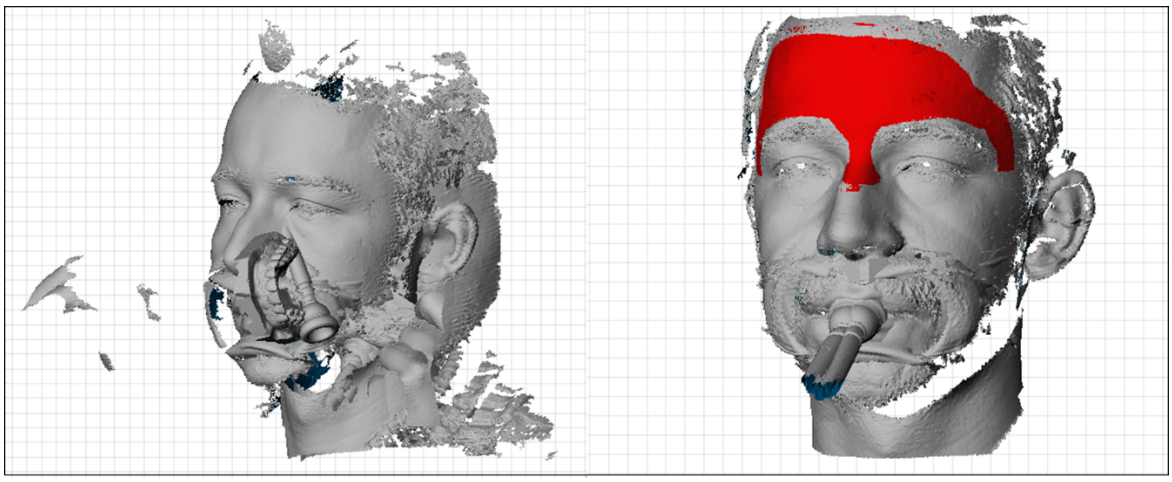


Abbildung 13: „Stirnalignment“ der einzelnen Scans; links: Man erkennt eine nicht geordnete Darstellung der Mundstück-, Kiefer- und Gesichtsscans; rechts: geordnete Darstellung nach erfolgreichem „Stirnalignment“: die rote Partie beschreibt die markierten deckungsgleichen Areale auf der Stirn, an der Schläfe und dem Nasenrücken, über die ein Zusammensetzen möglich wird; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

2.5 Datenauswertung

Die Auswertung des erstellten Datensatzes basierte auf einer Gesichts- und Modellanalyse. Dafür wurden Landmarken auf der Oberfläche gesetzt. Speziell in-house programmierte MATLAB®-Algorithmen (The MathWorks Inc, Natick, Massachusetts, USA) berechneten vorgegebene Strecken, Winkel und Verhältnisse und erstellten Abbildungen.

Um im dreidimensionalen Raum Winkel und Abstände zu bestimmen, reproduzierbare Darstellungen zu gewährleisten und die Integration unterschiedlicher Scans zu ermöglichen, wurden Koordinatensysteme für einzelne Objekte generiert.

Neun definierte Landmarken im Gesicht wurden für das Koordinatensystem im Ruhegesicht gesetzt. Das Programm erstellte daraus ein probandenspezifisches Koordinatensystem, in dem die Bestimmung der restlichen Landmarken erfolgte. Eine direkte Übertragung der Frankfurter Horizontalen als Ebene im digitalen 3D-Gesicht ist aus mathematischer Sicht nicht möglich, da die FH in der Profilansicht über nur zwei Punkte definiert ist.

Im 3D-Scan wurden für die FH insgesamt vier Landmarken[4] (Orbitale rechts (OR), Orbitale links (OL), Porion rechts (PR) und Porion links (PL)) per Mausklick ausgewählt und die Ebene gemittelt. Der Punkt Nasion (N) beschreibt die tiefste Einziehung in der Kurvatur der Weichteile zwischen Stirn und Nasenrücken. Die gemittelte FH wurde nun parallel auf Höhe des Punktes Nasion verschoben, der als Nullpunkt des Gesichts-Koordinatensystems (GKS) definiert ist. Exocanthion (EX) und Endocanthion (EN) beschreiben die Punkte an der äußeren bzw. inneren Kommissur des Auges. Für die Definition der x-Achse wurden die Mittelpunkte zwischen Exocanthion und Endocanthion rechts bzw. links auf die Horizontalebene projiziert. Durch Verbindung dieser beiden projizierten Punkte auf der Horizontalebene entsteht die x-Achse, die aus Probandensicht nach rechts positive Werte beschreibt. Die nach anterior positive y-Achse ist orthogonal zur x-Achse und parallel zur Horizontalebene. Die z-Achse verläuft positiv in kaudo-kranialer Richtung und orthogonal zu x- und y-Achse. Um sich an der Körperoberfläche zu orientieren, folgt die anatomische Richtungs- und Lagebezeichnung genauen Angaben zu Achsen und Ebenen, die senkrecht zueinander stehen [135]. Diesem bekannten Schema folgend wurden die Ebenen zwischen der Abszisse, Ordinate und Applikate zusätzlich als Frontalebene (XZ-Ebene), Transversalebene (XY-Ebene) und Sagittalebene (YZ-Ebene) benannt. Abbildung 14 zeigt das probandenindividuelle Gesichtskoordinatensystem eines Probanden mit dem Punkt Nasion (N) als Nullpunkt und der zusätzlichen acht Weichteillandmarken im Gesichtsscan.

In dieser Studie wurde für die digitale Auswertung das Oberkiefermodell benötigt, das über das vorangegangene Zusammenfügen der Scans nun in das GKS eingefügt wird. Für die dentoalveoläre Analyse wird zusätzlich ein Kieferkoordinatensystem (KKS) generiert. Dafür wurde eine Ebene durch die Fissurenmittelpunkte der ersten Molaren und der ersten Prämolaren gefittet. Der Fissurenmittelpunkt an den ersten Molaren definiert sich über die Schnittstelle der Längsfissur mit der nach bukkal auslaufenden Fissur. Der Nullpunkt des Koordinatensystems halbiert die Strecke zwischen den Fissurenmittelpunkten der beiden ersten Molaren. Diese Verbindungslinie verläuft als x-Achse mit den positiven Werten nach links, die y-Achse nach anterior und die z-Achse, da es sich um ein rechtsdrehendes System handelt, nach kaudal (Abbildung 15).

[4] Die räumlichen Angaben „rechts“ und „links“ sind immer aus Probandensicht definiert.

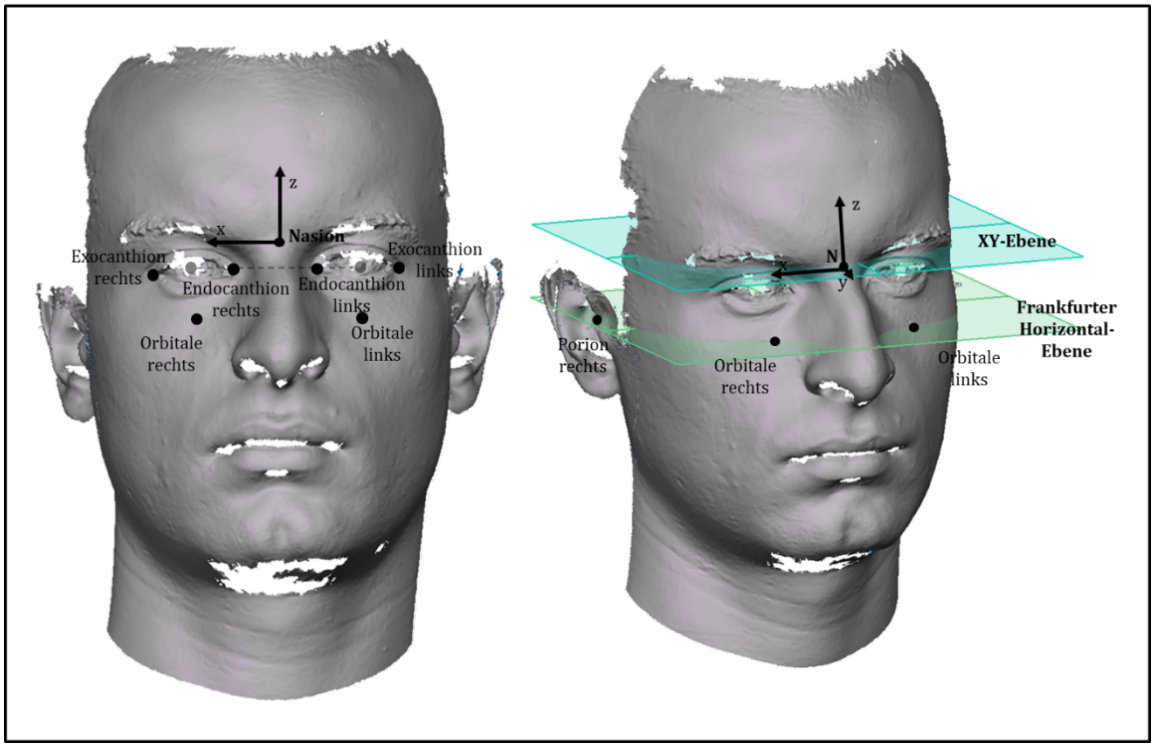


Abbildung 14: Frontale Ansicht der Gesichtslandmarken und Ebenen eines Probandenscans für die Erstellung des Gesichtskoordinatensystems; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

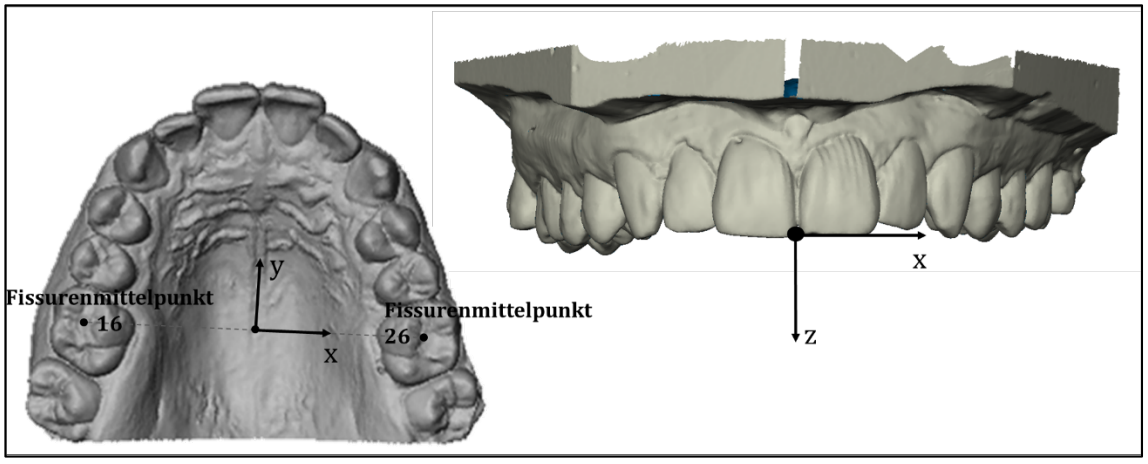


Abbildung 15: Darstellung des Kieferkoordinatensystems in okklusaler und frontaler Ansicht; es handelt sich um ein rechtsdrehendes Koordinatensystem, weshalb die x-Achse in Patientensicht nach links verläuft, die y-Achse von oral nach vestibulär und die z-Achse nach kaudal; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

2.5.1 Pilot- und Vorstudie

Das probandenspezifische Koordinatensystem gibt die Orientierung für die frontale bzw. seitliche Ansicht vor und die Analyse und Auswertung werden reproduzierbar. Alle Betrachter können in der frontalen Ansicht, ähnlich einer zweidimensionalen en face Fotografie, das Gesicht im selben Winkel betrachten und die Landmarken mit gleichen Ausgangssituationen setzen. Im Rahmen einer Pilotuntersuchung zur Reproduzierbarkeit der Gesichtsanalysen wurde die Intra- und Interrater-Reliabilität

der Punktsetzung bei 3D-Gesichtsanalysen am Universitätsklinikum Ulm untersucht [53]. Mit dem 3D Gesichtsscanner optoTOP-HE wurden Scans von zehn Probanden erstellt und fünf Rater haben in vordefinierten Ausrichtungen dreimal 30 für die Gesichtsanalyse relevante Landmarken im Abstand von mindestens 24 Stunden gesetzt. Die Punktsetzung erfolgte in MATLAB®. Für die Auswertung wurden die Abstände zwischen den gesetzten Punkten für jede Landmarken einzeln evaluiert [53]. Diejenigen Landmarken, die direkt durch anatomische Strukturen erkennbar waren, wie beispielsweise Exo- und Endocanthion, zeigen die kleinsten Abweichungen der Mittelwerte, d.h. Abweichungen kleiner 1,5 mm. Im Gegensatz dazu waren Landmarken, die stark von der Weichteilphysiognomie abhängig sind, schlechter reproduzierbar (Abbildung 16). Die Abweichung zwischen den fünf Untersuchern ist in Abbildung 17 dargestellt und lag durchschnittlich um 1,1 mm höher als die Intrarater-Reliabilität [53].

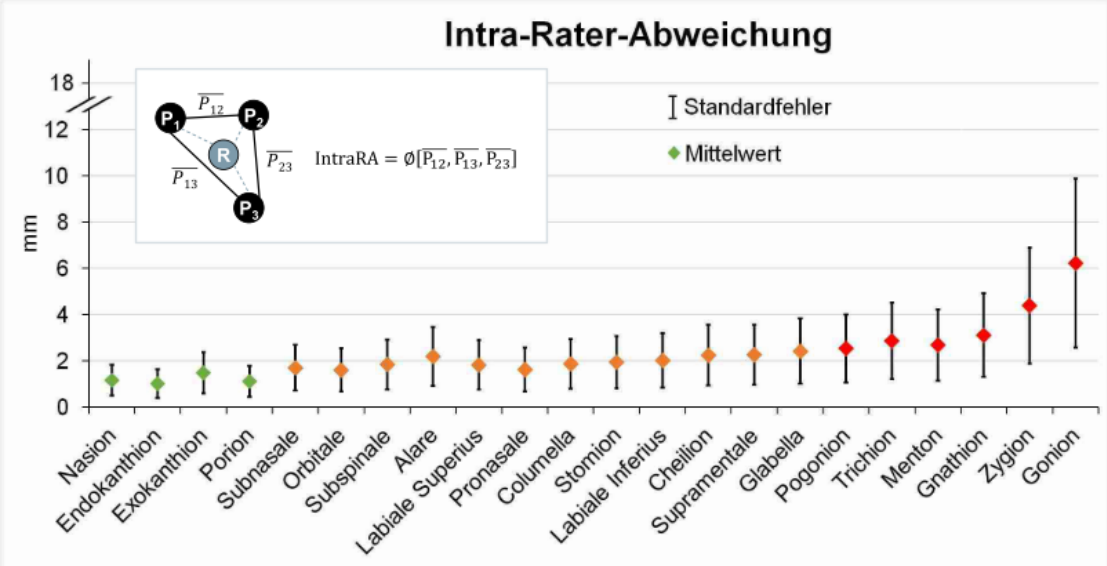


Abbildung 16: Basierend auf den Ergebnissen der Pilotstudie, Darstellung der Mittelwerte und Standardfehler der Intra-Rater-Abweichung, berechnet aus den Abständen der von einem Rater in drei Messwiederholungen gesetzten Punkte (P1-P3). Grün: Variabilität <1,5 mm; Orange: Variabilität 1,5-2,5 mm; Rot: Variabilität >2,5 mm; Universitätsklinikum Ulm, 2017 [53].

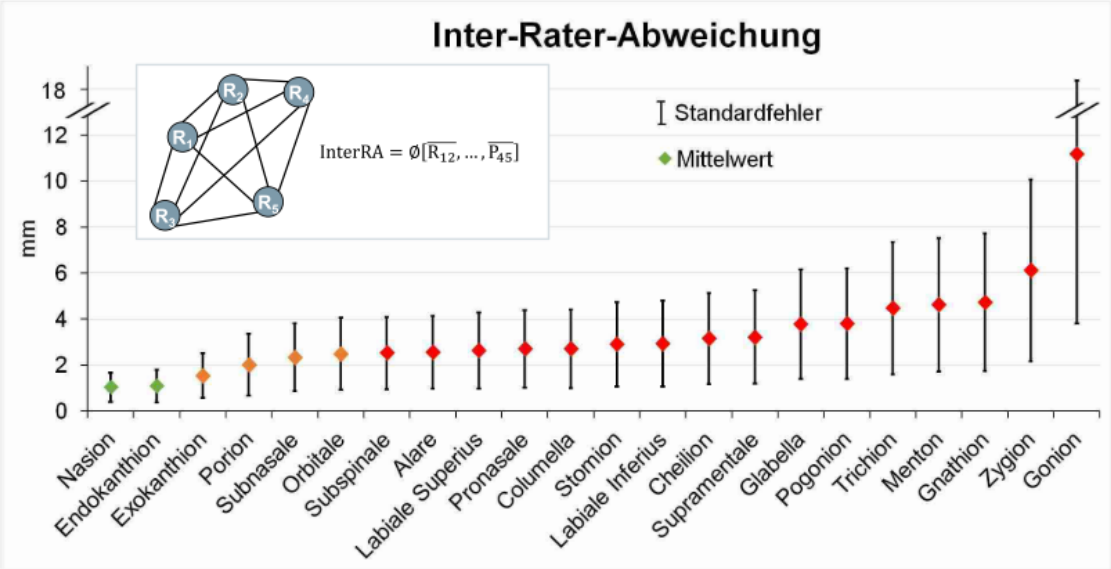


Abbildung 17: Basierend auf den Ergebnissen der Pilotstudie, Darstellung der Mittelwerte und Standardfehler der Inter-Rater-Abweichung, berechnet aus den Abständen der Mittelpunkte (R1-R5) der fünf Rater. Grün: Variabilität <1,5 mm; Orange: Variabilität 1,5-2,5 mm; Rot: Variabilität >2,5 mm; Universitätsklinikum Ulm, 2017 [53].

In einer weiteren Studie wird in der Abteilung für Kieferorthopädie und Orthodontie am Universitätsklinikum Ulm eine „strahlungsfreie Evaluation von dentalen, fazialen sowie dentofazialen Relationen mittels digitaler 3D-Kiefer- und Gesichtsanalyse“ durchgeführt [121]. Die Studie verwendet für die Auswertung einen abgewandt programmierten Algorithmus in MATLAB®, mit dessen Hilfe die Ergebnisse dieser Studie zur Validierung der Methode angesehen werden können. Ziel der Studie ist die Etablierung einer 3D-Kiefer-Gesichtsanalyse zur Evaluation der Gesichtsmorphologie sowie der gesichtsbezüglichen Kiefermodellanalyse. Der Datensatz besteht aus 100 kombinierten 3D-Kiefer- und Gesichtsscans, die aus dem Patientenstamm der Klinik für Kieferorthopädie und Orthodontie des Universitätsklinikums Ulm zur Verfügung gestellt wurden. Per Mausklick werden 97 Landmarken auf Gesichtsoberfläche und Kiefermodelle gesetzt. Die Auswertung erfolgt von vier Zahnärzten mit jeweils drei Wiederholungen und einem zeitlichen Abstand von mindestens 24 Stunden zwischen den einzelnen Wiederholungen. Die definierte metrische und anguläre Analyse verläuft über einen programmierten Algorithmus in MATLAB®[121].

2.5.2 Anatomische Landmarken

Die Gesichts-stl-Datei wurde in MATLAB® importiert und die neun Landmarken für das Koordinatensystem wurden durch den Untersucher gesetzt. Hierbei ist die Reihenfolge der Landmarken nicht entscheidend, da diese erst durch eine Bestätigung gespeichert werden. Es wird allerdings eine Reihenfolge vorgegeben, an der sich der Untersucher

orientieren kann. Zu Beginn sind die beidseitigen Ohrpunkte Porion und die Augenpunkte Orbitale auszuwählen; der Punkt Nasion als Nullpunkt beendet die Auswahl der Landmarken für das Koordinatensystem. Zur Validität erstellt MATLAB® eine grafische Darstellung der gesetzten Punkte, die in der Übersicht bei Bedarf noch optimiert werden können. Anschließend wird mit der Schaltfläche „Generate new CS“ das individuelle Gesichts-Koordinatensystem generiert.

Bei der weiteren Punktsetzung wurden die Ansichten vom Programm durch das hinterlegte Koordinatensystem vorgegeben. Dadurch wurde gewährleistet, dass die Punkte sowohl in einer reproduzierbaren Profilansicht („right view“), als auch en face („front view“) gesetzt werden können. Dies ermöglichte eine genaue Bestimmung der Landmarken unabhängig eines Betrachtungswinkels. Die Punkte in der Medianen wurden in der en face Ansicht von kranial nach kaudal gesetzt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die jeweiligen anatomischen Strukturen die mittige Position der Landmarken vorgeben und nicht bereits gesetzte Punkte eine Orientierung darstellten. Abbildung 18 stellt die Auswertung der Gesichtslandmarken eines Probanden in MATLAB® dar.

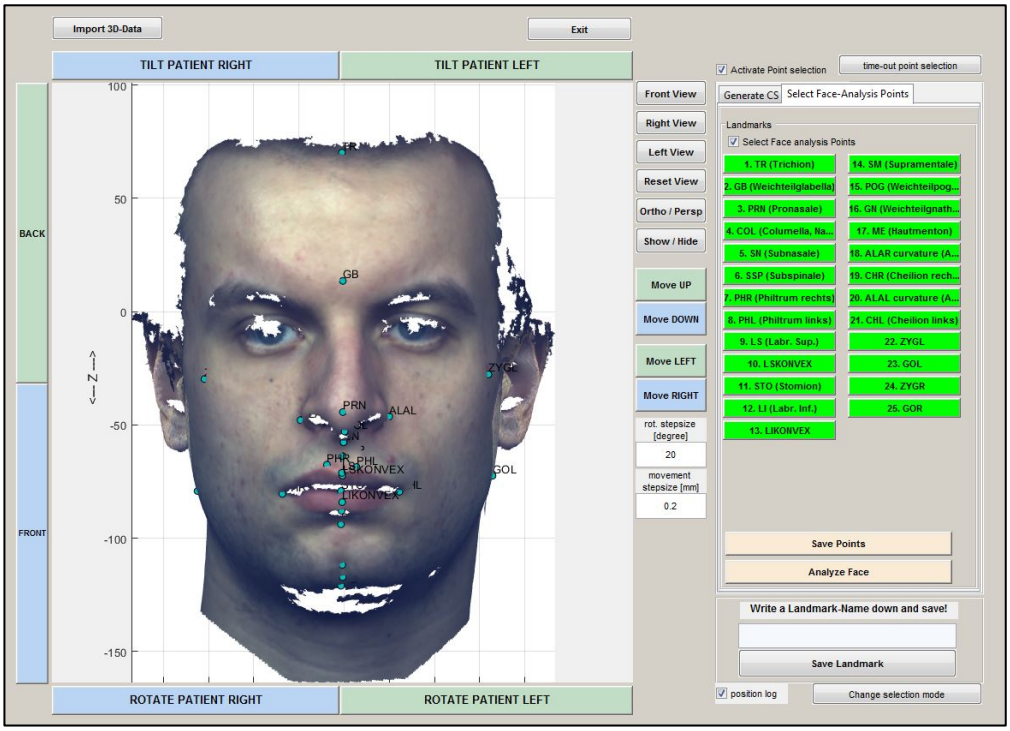


Abbildung 18: Darstellung eines Probanden in MATLAB®. Die Auswertung der Gesichtslandmarken ist bereits abgeschlossen, zur Überprüfung werden diese nochmal angezeigt. Die blau und grün hinterlegten Schaltflächen dienen der Auswahl der vordefinierten Ansichten im individuellen Gesichtskoordinatensystem; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

Die medianen Landmarken wurden historisch auf Profilaufnahmen bestimmt. Daher beschreiben diese oft hervorstehende Strukturen und werden beispielsweise definiert „als die am weitesten anterior liegenden Punkte“ einer anatomischen Struktur [107]. Im dreidimensionalen Raum wird die Übertragung und Feinjustierung durch den Wechsel zwischen „right view“ und „front view“ gewährleistet. Der per Mausklick markierte Punkt kann in beiden Ansichten betrachtet und ggf. präzisiert werden. Die Gesichtsanalyse wurde mit den beidseitig liegenden Landmarken an Nasenflügel, Mundwinkel, Jochbogen und Kieferwinkel abgeschlossen.

Das Kiefermodell wurde in das GKS eingefügt, da der Algorithmus in MATLAB® die Modellpositionierung von Optocat übernimmt. Die Auswertung begann mit dem Berechnen des KKS über die vier Punkte an den ersten Prämolaren und Molaren. Diese vier Punkte sind essentiell und müssen ausgewählt werden. Falls die erforderlichen Zähne fehlen, kann auf die zweiten Molaren bzw. auf die zweiten Prämolaren ausgewichen werden. In der anschließenden Punkteauswahl können einzelne Punkte bei z.B. fehlenden Zähnen als „nicht anwählbar“ angegeben werden. Zusammenfassend können die Punkte des OK-Modells in drei Kategorien eingeteilt werden:

- Punkte, die durch die Höckerspitzen der Seitenzähne bestimmt sind und zur Generierung der Kauebene benötigt werden,
- Punkte, die die Frontzahnstellung und -anatomie näher beschreiben und
- Punkte, die den Gaumenverlauf darstellen.

Abbildung 19 zeigt die okklusale Ansicht eines Oberkiefermodells bei der Auswertung in MATLAB®.

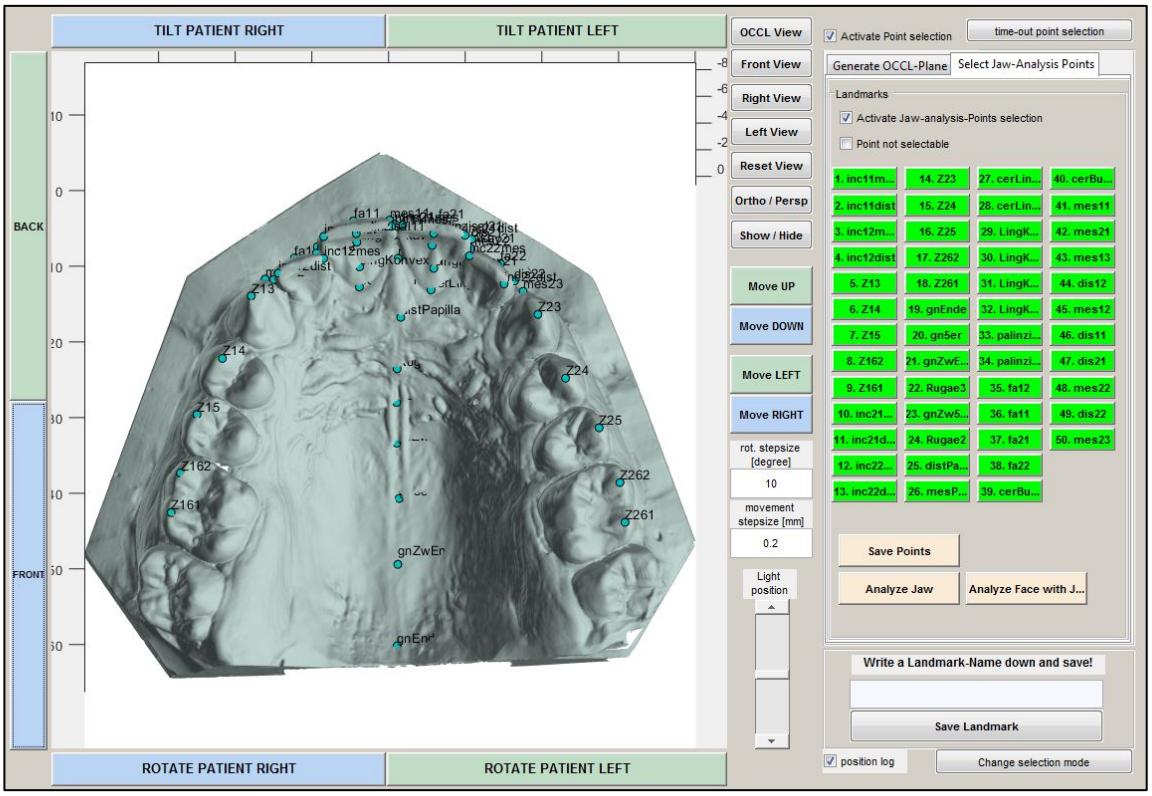


Abbildung 19: Okklusale Ansicht eines Oberkiefermodells in der Auswertung in MATLAB®. Die blau und grün hinterlegten Schaltflächen dienen der Auswahl der vordefinierten Ansichten im patientenindividuellen Koordinatensystem; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

2.5.3 Mundstückauswertung

Die drei Töne mit je drei Tonwiederholungen ergeben neun Positionierungen des Mundstücks zum Gesicht des Musikers. Daher musste die anschließende Auswertung des Mundstücks für jede Position durchgeführt werden, obwohl das eigentliche Werkstück dasselbe ist, nur die Lagebeziehung zum Gesicht variiert. Um die Orientierung und die Position des Mundstücks auswerten zu können, wurde ein Mundstück-Koordinatensystem (MKS) generiert. Die Form des Mundstücks war nicht Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit. Zuerst wurden vier Punkte auf der Randkontur angeklickt und daraus die „Randkonturebene“ gemittelt. Ein „Schaftvektor“ verläuft in der Mitte des Mundstückschaftes und gibt die Ausrichtung des Mundstücks an. Hierfür wurden jeweils drei gesetzte Punkte auf zwei verschiedenen Höhen des Schaftes bestimmt und zu einem Kreis verbunden. Die zwei Kreismittelpunkte wurden berechnet, miteinander verbunden und bilden die „Zentrale Instrumentenachse“ (ZI) (Abbildung 20). Der Ursprung des MKS ist der Schnittpunkt zwischen diesem Schaftvektor und der Randkonturebene, der als vorderer Mundstückmittelpunkt (vorMstkMitte) definiert ist. Für die y-Achse wird die Normale zur Randkonturebene am Ursprung konstruiert und die Ausrichtung mit dem

Schaftvektor kontrolliert. Die Schnittpunktlinie der Sagittalebene des GKS mit der Randkonturebene bildet die z-Achse und wird durch die Richtung der z-Achse des GKS kontrolliert. Die x-Achse ist nun die Normale zu den y- und z-Achsen und wird ebenfalls über die x-Achse des GKS kontrolliert.

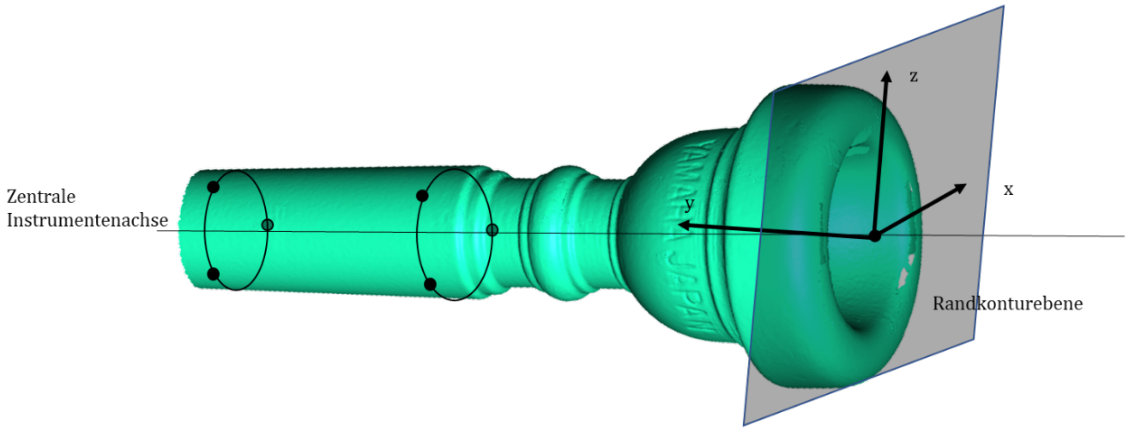


Abbildung 20: Darstellung eines Trompetenmundstück-Scans mit schematischer Zeichnung des Mundstückkoordinatensystems. Die Randkonturebene wird über vier Markierungen an der Randkontur gemittelt; die Zentrale Instrumentenachse (ZI) wird durch die Mittelpunkte der beiden Kreise des Schaftes generiert; Universitätsklinikum Ulm, 2019.

Die Mundstückpositionierung in lateraler, longitudinaler und sagittaler Richtung wird durch die XYZ-Werte des vorderen Mundstückmittelpunktes im GKS angezeigt. Die Neigung des Mundstücks wird in sagittaler und transversaler Ebene betrachtet. Die „sagittale Mundstückneigung“ ist definiert als der Winkel zwischen zentraler Instrumentenachse und y-Achse des GKS. Die ZI wird dazu auf die YZ-Ebene des GKS projiziert und die mathematische Berechnung des Winkels erfolgt über den Schnittwinkel der Normalenvektoren der Ebene XZ und der Randkonturebene des Mundstücks. Die „transversale Mundstückneigung“ beschreibt die seitliche Ausrichtung des Instrumentes und wird als Winkel zwischen der x-Achse des Mundstück-Koordinatensystems, die auf die XY-Ebene des GKS projiziert wird, und der x-Achse des Gesicht-Koordinatensystems beschrieben.

2.5.4 Tabellarische Dokumentation

Der Algorithmus wurde so programmiert, dass er die anatomischen Landmarken in Gesicht, Kiefer und Mundstück als Koordinaten in Tabellenform in Excel (Microsoft Excel 2016, Microsoft Corporation, Redmond, USA) ausgibt. Eine exemplarische Ausführung eines Probanden ist in Anhang 6 dargestellt Alle beschriebenen Punkte sind im GKS, sowie im objektbezogenen Koordinatensystem als Koordinaten

aufgelistet. Durch die Integration aller Analysen in das GKS wird der Vergleich einzelner Parameter erleichtert und eindeutig. Gleichzeitig wurden bestimmte anguläre, metrische und relative Berechnungen zwischen einzelnen Landmarken innerhalb eines Scans sowie objektübergreifend vorgegeben und in einer weiteren Exceltabelle dargestellt. Das Programm dokumentiert zusätzlich den Zeitaufwand für jede einzelne Auswertung.

Die Datenauswertung eines Probanden begann mit der Gesichtsanalyse, weshalb das Programm die Exceltabelle der Gesichtslandmarken zuerst generierte. Jede Exceltabelle entsteht mit Beenden einer Teilanalyse, weshalb die faziale sowie die dentale Analyse auch unabhängig voneinander durchgeführt werden können. In weiteren Tabellen wird die gemeinsame Auswertung der Objekte dargestellt. Die Mundstückanalyse wurde mit jedem der neun Mundstückpositionen separat zur Gesichtsanalyse durchgeführt. Mit diesen neun Analysen und einer Gesichts- bzw. Kieferanalyse, sowie der integrierten Gesichts-Kiefer-Analyse entstanden bei der Auswertung pro Proband zwölf Exceltabellen. Der Algorithmus wurde für eine generelle dreidimensionale dentofaziale Analyse programmiert und für die Auswertung dieser Studie durch Ergänzung der Mundstückanalyse angepasst. Die Gesichtsanalyse beinhaltet daher viele einzelne Parameter, die für die späteren Ergebnisse dieser Studie nicht von Bedeutung sind und daher nicht separat ausgewertet wurden. Die Auswertung durch Vergleiche der einzelnen Parameter in unterschiedlichen Patientengruppen und die zeitlichen Aspekte der digitalen Auswertung sind Teil einer weiteren Studie in der Abteilung der Kieferorthopädie und Orthodontie des Universitätsklinikums Ulm [121]. Dennoch werden die Auswertungen der dentofazialen Analysen in den folgenden Kapiteln (2.5.4.1 und 2.5.4.2) kurz beschrieben, da dieser Teil nicht aus dem MATLAB® Algorithmus herausgenommen wurde und alle Landmarken bei den Probanden markiert wurden.

2.5.4.1 Gesichtsanalyse

Die faziale Weichteilanalyse besteht aus Symmetrieauswertungen. Über anguläre und metrische Abstände anatomischer Landmarken zu teilweise konstruierten Ebenen und Linien können harmonische Gesichtsproportionen beschrieben werden [107].

Die dreidimensionale Gesichtsauswertung beginnt mit der Einteilung in die Kieferprofilfelder nach A.M. Schwarz. Hierfür wurden die Gesichter durch senkrecht

verlaufende Linien der Punkte Nasion und Orbitale zur FH in Vor-, Rück- oder Durchschnittsgesichter eingeteilt. Durch Drittelung des Abstandes zwischen der beiden vertikalen Linien erfolgt eine weitere Unterteilung in „gerade“, „nach hinten-“ und „nach vorne schief“ [107]. Diese Profilklassifikation wurde im Algorithmus berücksichtigt und durch den Vergleich der y-Koordinaten der Punkte Subnasale und Nasion wird das Kieferprofilfeld bestimmt. Die weitere Klassifikation in „nach vorne-“ oder „hinten schief“ bzw. „gerade“ erfolgt durch metrische Analyse in Millimeter des Weichteilpogonions zu Subnasale.

Die Gesichtsdrittelung nach Schwarz oder nach Kollmann verbindet die Punkte Trichion, Glabella, Subnasale und Gnathion in drei einzelne Strecken, die das Stirn-, Nasen- und Kieferdrittel bezeichnen. Während des Wachstums kann man durch den Wachstumsvorlauf des Hirnschädels eine Asymmetrie verzeichnen, wobei die idealen Proportionen im erwachsenen Alter nach A.M. Schwarz eine gleichverteilte Drittelung beschreiben [62]. Für die Auswertung wurden diese anatomischen Landmarken auf die Frontalebene projiziert und in das Verhältnis zu der Gesamthöhe Trichion zu Gnathion gesetzt. Eine detaillierte Auswertung der Gesichtsdrittel erfolgte durch die Analyse nach Proffit, bei der das Kieferdrittel durch die Strecken Subnasale zu Stomion und Stomion zu Hautgnathion im Verhältnis 1:2 weiter eingeteilt wird. Die Nasenlänge wird im Verhältnis zur Gesichtslänge (Trichion - Gnathion) ausgegeben und über die Strecke Nasion und einem gemittelten Punkt zwischen Subnasale und Columella definiert.

Die Analyse der Lippen beschreibt den Lippenverlauf, die Oberlippenmitte, die transversale Lippensymmetrie und die sagittale Lippentreppe. Der Lippenverlauf wird durch den vertikalen Abstand (z-Werte) der Punkte Cheilion rechts und links zur x-Achse in Millimeter angeben. Die Oberlippenmitte ist durch den Mittelpunkt der Strecke Philtrum rechts und links (PHR – PHL) definiert. Für die transversale Lippensymmetrie wird der horizontale Abstand (x-Werte) in Millimetern der Punkte Cheilion rechts, links und Philtrum rechts, links zur z-Achse berechnet. Die sagittale Lippentreppe beschreibt ebenfalls den Abstand in Millimetern (y-Werte) der konvexesten Stelle des Ober- und Unterlippenrotes zur z-Achse.

Die Ästhetik-Linie (esthetic line) nach Ricketts beschreibt als Tangente an Nasenspitze und Kinn eine Bezugslinie für die Analyse des Lippenprofils [107]. Für ein harmonisches Erscheinungsbild sollen die Lippen hinter dieser Linie und die

Unterlippe vor der Oberlippe in Relation zur Bezugslinie stehen [107]. Die Punkte Labrale superius und inferius werden in Millimetern im Raum, sowie auf die Sagittalebene projiziert zur Ästhetik-Linie dargestellt.

Die Abstände der median gesetzten Punkte Pronasale, Subnasale, Pogonion, Labrale superius und inferius und der beidseitigen Punkte am Nasenflügel (ALA) zur Sagittalebene (YZ-Ebene) des Gesichtes werden als x-Werte angegeben. Das Gesichts-Koordinatensystem ist rechtsdrehend, daher sind negative Werte aus Probandensicht linksseitig und positive Werte rechts.

In der Kephalometrie beschreibt der SNA-Winkel in der sagittalen Analyse die Lage des Oberkiefers zur Schädelbasis im Vergleich zu klinischen Normwerten [108]. Entsprechend der FRS-Analyse wurde eine Berechnung des SNA-Winkels bei der Weichteilanalyse durchgeführt. Hierfür wird ein Mittelpunkt aus den Punkten Porion links und rechts konstruiert und gemeinsam mit den Punkten Nasion und Supraspinale auf die Sagittalebene (YZ-Ebene) projiziert. Mit dem Skalarprodukt dieser projizierten Punkte wurde der SNA-Winkel berechnet. Übertragen auf den SNB Winkel, der die anatomische Lage des Unterkiefers zur Schädelbasis beschreibt, entsteht mit demselben Prinzip ein Winkel zwischen den Punkten Pronasale, Nasion und Submentale. Zur Übertragung des Nasolabialwinkels aus der FRS-Analyse, der die Relation der Oberlippe zur Nase beschreibt und das Profil beurteilt, wurde ein Winkel zwischen den Punkten Columella, Subnasale und Supraspinale berechnet [108].

Abschluss der fazialen Analyse ist die Jochbein- oder auch Gesichtsbreite. Diese wurde durch den Abstand in Millimetern im Raum, sowie projiziert auf die Frontalebene zwischen dem beidseitigen Punkt Zygion berechnet.

2.5.4.2 Modellanalyse

Bei der Auswertung der Kiefermodelle wird das Modell in das Gesichts-Koordinatensystem eingepflegt. Es werden zwei unterschiedliche Exceltabellen von MATLAB® generiert: eine dentale und eine kombinierte dentofaziale Analyse. Die einzelnen anatomischen Landmarken am Oberkiefermodell werden sowohl als Koordinaten im Kiefer-Koordinatensystem als auch im Gesichts-Koordinatensystem angegeben.

Die Modellanalyse befasst sich zum einen mit der Anatomie des Gaumens und zum anderen mit der Stellung und Form der Frontzähne. Der Gaumen beschreibt das Dach der Mundhöhle und wird in den harten und weichen Gaumen unterschieden [11]. Die kieferorthopädische Modellherstellung und -analyse konzentriert sich auf den harten Gaumen, da die Abformung des weichen Gaumens einen zu großen Würgereflex beim Patienten auslöst und dieser für die Auswertung nicht von Bedeutung ist. Die Schleimhaut des harten Gaumens (Palatum durum) wird durch quere Leisten, sogenannte Gaumenfalten (lat.: Rugae transversae) untergliedert und ist über kräftige Bindegewebszüge fest mit dem Knochen verwachsen [11]. Im Bereich der knöchernen Wachstumsstruktur sutura palatina mediana, die mittig im Gaumen verläuft, ist die Schleimhaut besonders fixiert und ist klinisch als Raphe mediane erkennbar [11]. Für die Auswertung des Gaumenverlaufs werden Punkte auf der Raphe mediane über Orientierung der Zähne oder der bindegeweblichen Querstrukturen gesetzt. Durch diese definierten Punkte wird die Steigung des Gaumens berechnet und in Grad und in Prozent in der Exceltabelle dargestellt. Für die Übertragung der Zahnbogenbreiten und -längen werden die Fissurenpunkte der ersten Molaren und ersten Prämolaren zueinander und in Relation zur Raphe mediane gesetzt. Der transversale Symmetrievergleich an den ersten Molaren sowie die Abstände dieser Zähne zueinander werden in Millimetern angeben. Die vordere Zahnbogenbreite beschreibt den Abstand zwischen den ersten Prämolaren. Die Zahnbogenlänge nach Korkhaus ist definiert als „das Lot von der vordersten Labialfläche der mittleren Schneidezähne auf die Verbindungslinie der Messpunkte der vorderen Zahnbogenbreite“ [109]. Diese wird ebenfalls in Millimetern angegeben und synchron als „hintere Zahnbogenlänge“ auf die Verbindungslinie zwischen den Zähnen 16 und 26 übertragen. Der Gaumenhöhenindex nach Korkhaus wird über eine Senkrechte auf die Raphe mediane zur konstruierten Kauebene ermittelt und über eine Formel berechnet [109]. Der Gaumenhöhenindex wird in Prozent und in Millimetern angegeben. Die Gaumenmitte ist durch den Punkt am zweiten Gaumenfaltenpaar (Ruage2) definiert.

Für die Länge und Position der mittleren Schneidezähne wird die Strecke in z-Richtung von dem Inzisalpunkt des Oberkiefers zur XY-Ebene des GKS gemessen. Dieser Inzisalpunkt ist der Mittelpunkt der Strecke der beiden mesialen inzisalen Markierungen der Zähne 11 und 21 und der Wert beschreibt die Strecke im GKS in Millimetern.

Die dentale Mitte ist über den Abstand der mesialen Punkte auf Höhe des Kontaktpunktes der mittleren Inzisivi (mes11 und mes21) zur Raphe mediane und dem Abstand des konstruierten Mittelpunkts der beiden Punkte zur Raphe mediane definiert.

Die individuelle Form und Stellung der Frontzähne wird über Kontaktpunktabweichungen, über Rotationen der einzelnen Zähne, über die Länge der inzisalen Kanten und mit dem Verlauf der Palatinalflächen beschrieben. Die Kontaktpunktabweichungen werden im Raum direkt und auf die Kauebene projiziert gemessen. Hierfür wurden mesial und distal der Inzisivi, sowie mesial der Eckzähne Punkte an den Approximalflächen markiert, an denen die Zähne Kontakt haben bzw. hätten. Über diese Abstände lassen sich ggfs. prominente Zahnkanten identifizieren. Ebenfalls im Raum und auf die Kauebene projiziert, werden die Längen der inzisalen Kanten über mesial und distal definierte Punkte auf der Inzisalkante gemessen. Um Engstände oder prominente Zahnkanten zu identifizieren werden Winkel zwischen der Inzisalkante eines Schneidezahns zur y-Achse des Kieferkoordinatensystems berechnet. Der Palatinalflächenverlauf stellt Winkel zwischen Verbindungslinien palatinaler Punkte und der Kauebene dar und wird nur an den beiden mittleren Inzisivi bestimmt.

Der zweite Teil der Modellanalyse beschreibt die Zuordnung des Modells zum Gesicht des Probanden. Diese dentofaziale Analyse wird in einer separaten Exceltabelle generiert. Der Einbau des Oberkiefers zum Gesicht wird analysiert und die Frontzahnstellung auf das Gesichtskoordinatensystem erweitert. Zusätzlich beschreibt der Abstand der labialen Flächen der mittleren Inzisivi in Verbindung mit den Landmarken am Philtrum die Lippenkonstitution des Probanden. Über den Vergleich der z-Werte in Millimetern der Fissurenmittelpunkten an den ersten Molaren und Prämolaren ist der Verlauf der Kauebene beschrieben. Die Kephalometrie beurteilt die Zahnachsenstellung der Schneidezähne (Inkliniation der Inzisivi) durch die Messung des Winkels des anteriorsten oberen Inzisivus zur Schädelbasis [108]. Die Kroneninklination (KI) überträgt diese Messung und beurteilt die Stellung der Längsachse der mittleren Inzisivi durch den Winkel zwischen der Verbindungslinie des inzisalen Mittelpunktes und des cervikalen Mittelpunktes der mittleren Inzisivi (Zähne 11 und 21) zur Frankfurter Horizontalen und zur Kauebene. Die Symmetrie der Stellung der Frontzähne wird als Zahnbogensymmetrie gekennzeichnet und durch die

y-Werte in Millimetern der labialen Flächen der mittleren und seitlichen Inzisivi beschrieben. Ebenfalls durch die Punkte der labialen Flächen der Zähne 11 und 21 wird die Lippenfülle dargestellt und der Abstand in Y-Richtung zu den Punkten des Philtrums gemessen. Die Lippenkonstitution ist durch die Y-Positionen der sechs Lippenpunkte (Philtrum rechts (PHR), Philtrum links (PHL), Labrale superius (LS), konvexester Punkt der Labrale superius (LSKonv), Labrale inferius (LI), konvexester Punkt der Labrale inferius (LIKonv)) dargestellt und diese werden durch Vektoren in y-Richtung verfolgt, um mittels Schnittpunkte die Distanzen zum Kiefermodell zu berechnen.

2.6 Auswertungsparameter

2.6.1 Beschreibung der Mundstückposition

Um die dreidimensionale Position des Mundstücks im Raum beschreiben zu können, wird dieses in vier unterschiedlichen Ansichten betrachtet. Die Namensgebung entsteht aus der jeweiligen Ansicht des Betrachters auf das Mundstück.

Die „vertikale Mundstückposition“ ergibt sich aus dem Z-Wert des vorderen Mundstückmittelpunkts und beschreibt die longitudinale (superior/inferior) Position im Gesicht in Millimetern. Die „transversale Mundstückposition“ bezieht sich auf den X-Wert des vorderen Mundstückmittelpunktes und beschreibt, ebenfalls in Millimetern, die Position des Mundstückes in lateraler (rechts/links) Richtung.

Die „transversale“ bzw. „sagittale Mundstückneigungen“ ergeben sich aus Winkeln der Randkonturebene und der zentrale Instrumentenachse zum Gesicht und beschreiben die Neigung des Instrumentes zu anatomischen Strukturen in lateraler bzw. longitudinaler Ausrichtung in Grad.

Die rostral-dorsale Veränderung des Mundstücks wird über die „Lippenkompression“ auf mathematisch-theoretischer Basis betrachtet. Für die Messung wurde der am weitest anterior liegende Punkt der Oberlippe (Labrale superius konvex (LSkonv)) ausgewählt. Ein Vektor in Y -Richtung wurde von dieser anatomischen Landmarke zur Randkonturebene gebildet. Der erste Schnittpunkt wurde ausgewählt und die Differenz zwischen der Lage von LSkonv im GKS und dem Schnittpunkt mit der Randkonturebene im GKS in Millimetern gebildet.

2.6.2 Mögliche Einflussvariablen auf die Mundstückposition

Von den fazialen und dentalen Variablen der dreidimensionalen Analyse wurden für diese Studie bestimmte morphologische Variablen bzw. Landmarken ausgewählt und in Beziehung zur Mundstückposition gesetzt. Diese anatomischen Landmarken und Messungen beschreiben

- die Lippenmorphologie,
- die Gaumenanatomie bzw. den Gaumenverlauf sowie
- dentale Parameter, die sich auf die Form und die Stellung der mittleren Inzisivi beziehen.

Die Beurteilung der Lippenmorphologie umfasst vier Variablen. Der Parameter „Oberlippenmitte“ zeigt durch eine laterale Verschiebung mit positiven Werten zum Punkt Nasion eine Oberlippenmittenverschiebung nach rechts, mit negativen Werten nach links an. Wie bereits bei den Landmarken und den Koordinatensystemen sind hier die Angaben auf rechte oder linke Seiten aus Patientensicht formuliert.

Der zweite Parameter beschreibt die „Lippensymmetrie“. Diese wird in transversaler Ansicht betrachtet und an den Mundwinkelpunkten festgestellt. Der Vergleich der Y-Werte von Cheilion rechts und links kann eine unsymmetrische Lippenform in sagittaler Richtung anzeigen. Für die Symmetrie wird der Winkel der Strecke der Mundwinkelmarkierungen (ChL-ChR) zur Frontalebene des GKS (XZ-Ebene) berechnet. Hier gilt je kleiner der Wert des Winkels gegen 0, desto symmetrischer sind die Mundwinkel im Gesicht eingebaut. Bei negativen Werten liegt der linke Mundwinkel weiter anterior, bei positiven Werten liegt der rechte Mundwinkel weiter anterior.

Die „Lippenfülle“ beschreibt die sagittale Strecke zwischen Labrale superius konvex (LSkonv) und dem Schnittpunkt des Vektors in Y-Richtung von LSkonv mit einer Hartgewebsstruktur des Kiefermodells. Hierbei ist nicht relevant, ob dieser Schnittpunkt an den Zähnen oder an der Gingiva des Kiefermodells liegt. Die mathematische Grundlage dieses Schnittpunktes bedingt weitere Schnittpunkte, wenn beispielsweise der Vektor durch die palatinale Fläche der Zähne oder mit dem Gaumendach einen Schnittpunkt bildet. Hierbei wurde darauf geachtet, dass lediglich der erste Schnittpunkt in die Auswertung integriert wurde.

Der vierte Parameter der Kategorie Lippenmorphologie betrachtet die sagittale Ansicht der Lippen. In der Profilansicht beschreibt die „Lippentreppe“ den Verlauf der Ober- bzw. Unterlippe zueinander. Die distale Verzahnung geht oft einher mit einer negativen Lippentreppe und einem fliehenden Kinn [107, 147]. Im Gegensatz dazu werden positive Lippentreppen vermehrt bei progenen Zügen oder sehr voluminösen Unterlippen beobachtet [147] Hierbei wird die „Lippentreppe“ über die Punkte, die am weitesten anterior liegen beschrieben. Die Punkte LS und LI sind am Übergang des Lippenrots zur Gesichtshaut definiert und liegen meist nicht am weitesten anterior. Daher werden die Punkte Labrale superius konvex (LSkonv) und Labrale inferius konvex (LSkonv) zur Berechnung der sagittalen Lippentreppe in Millimetern genutzt. Die Y-Werte der beiden Lippenlandmarken zeigen zusätzlich zum Abstand zueinander auch die Lage im Gesicht im Verhältnis zum Nullpunkt Nasion. Die Vorzeichen der Werte zeigen die Lage der Lippe dorsal (-) oder ventral (+) zu Nasion an.

Für die Beschreibung der Gaumenform werden mehrere Punkte auf der Raphe mediane benötigt. Der Verlauf und die Steigung des Gaumens werden mit drei Verbindungslinien dargestellt. Diese sind von anterior nach posterior in numerischer Reihenfolge als „FitGaumen“ benannt. „FitGaumen 1“ verbindet die anteriore und posteriore Markierungen der Papilla inzisiva, „FitGaumen 2“ die posteriore Begrenzung der Papilla inzisiva mit dem dritten Gaumenfaltenpaar und „FitGaumen 3“ das dritte Gaumenfaltenpaar mit der Markierung zwischen der Höhe der zweiten Prämolaren. Diese Verbindungslinien werden auf die Sagittalebene durch die Raphe mediane projiziert und bilden Winkel mit der Kauebene. Hierbei gilt, je größer die Gradzahl, desto steiler der Verlauf der Verbindungslinie und demnach die Strecke zwischen zwei Markierungen des Gaumens.

Die Auswertung der dentalen Parameter bezieht sich auf die Lage, auf die Stellung und auf die Form der vier Schneidezähne des Oberkiefers im Gesicht. Für die Auswertung der Lage der mittleren Inzisivi werden die Parameter „Inzisalpunkt“ [in mm zur XY-Ebene des GKS] und „dentale Mitte“ [in mm zur Raphe mediane] übertragen. Die Stellung der Frontzähne schließt die seitlichen Schneidezähne mit ein und wird als „Zahnbogensymmetrie“ gekennzeichnet. Hierbei werden in Millimetern die Abstände zwischen den labialen Markierungen der Flächen der vier Frontzähne (fa12, fa11, fa21, fa22) zur Frontalebene (XZ) des GKS angegeben. Zusätzlich wird die sagittale Stellung der mittleren Schneidezähne durch die „Kroneninklination“ (KI) betrachtet. Diese

Verbindungslinien (KI) der Mittelpunkte der inzisalen Strecke (inc11/21mes – inc11/21dis) und zervikalen Markierungen (cerLing11/21 – cerBuk11/21) in sagittaler Ansicht der Zähne 11 und 21 bilden zur XY-Ebene des GKS einen Winkel, der in Grad angegeben wird. Je größer der Wert dieses Winkels ist, desto steiler ist der Einbau der Frontzähne.

Relevant für die Auswertung ist nur die palatinale Form der mittleren Schneidezähne, der als „Palatinalflächenverlauf" der Zähne 11 und 21 ausgewertet wird. Dieser wird über die Linie zwischen der palatinal zervikalen Markierung (cerLing11/21) und der palatinal inzisalen Markierung (palInc11/21) dargestellt. Diese Verbindungslinie wird auf die Raphe Median Ebene projiziert und bildet zur Kauebene einen Winkel, der in die Auswertung übertragen wird. Eine Visualisierung der anatomischen und instrumentenspezifischen Auswertungsparameter sind in Anhang 5 aufgezeigt.

2.6.3 Einfluss der Tonhöhen auf die instrumentenspezifischen Auswertungsparameter

Zusätzlich wurden die instrumentenspezifischen Parameter der Mundstückposition sowie die „Lippenkompression" während des Spielens mit der Veränderung durch die Tonhöhe untersucht. Hierfür wurde ausgehend vom jeweils mittleren Ton (Trompete, Horn: „g1"; Posaune: „f") die unterschiedliche Positionierung des Mundstücks mit der beim Spielen einer Oktave höher (Trompete, Horn: „g2"; Posaune „f1") bzw. tiefer (Trompete, Horn: „g"; Posaune: „F") verglichen.

2.7 Statistische Auswertung

Die deskriptive statistische Auswertung mit Tabellen, xy-Diagrammen und Boxplots wurde mit dem Softwareprogramm Excel (Microsoft Excel 2016, Microsoft Corporation, Redmond, USA) für Windows erstellt und ausgegeben. Die darauf aufbauenden statistischen Tests wurden durch das statistische Institut der Universität Ulm durchgeführt. Zur Datenauswertung des Frage- und Befundbogens wurde eine deskriptive Analyse verwendet und die Ergebnisse tabellarisch dargestellt. Dabei wurden die statistischen Kenngrößen Mittelwert, Median, Standardabweichung und Spannweite berücksichtigt.

In instrumentenspezifischen Übersichtstabellen wurden die Werte der entsprechenden Variablen für die einzelnen Probanden aufgelistet. Eine Zeile zeigt eine Wiederholung eines Tones eines Probanden. Durch die drei Töne mit je drei

Wiederholungen sind einem Probanden neun Zeilen zugeordnet. Für die Auswertung wurden die Mittelwerte für eine Tonhöhe erstellt. Zur Beurteilung und Qualitätsprüfung des Datenexports wurde vor der eigentlichen statistischen Auswertung eine deskriptive Analyse der Datensätze zur Darstellung und Überprüfung von Ausreißern durchgeführt. Die Datensätze der drei Instrumentengruppen wurden nach Anzahl der Probanden, Art der Variablen und den Tonwiederholungen aufgeschlüsselt. Die Werte der einzelnen Variablen wurden zur Übersicht mit Minimum, erstem und drittem Quantil, Median, Mittelwert und Maximum dargestellt. Graphisch wurde ein Histogramm und ein Boxplot der Variable abgebildet. Auffällige Ausreißer wurden mit dem originalen Datensatz und den Scanauswertungen überprüft und konnten bei Bedarf korrigiert werden.

Der statistischen Auswertung liegt die Hypothese zugrunde, dass es anatomische Merkmale gibt, die theoretisch die Mundstückposition beeinflussen könnten. Mittels xy-Diagrammen (sog. Streudiagrammen) wurde die Interrelation von jeweils zwei Variablen grafisch dargestellt. Die anatomischen Merkmale als unabhängige Variablen wurden auf der Abszisse dargestellt, die abhängigen, mundstückspezifischen Variablen auf der Ordinate. Besteht zwischen den Variablen ein Zusammenhang, zeigt sich eine Tendenz der Punktewolke in Form einer Ellipse. Bei einer vollkommenen Korrelation würde sich anstatt einer Punktewolke eine Gerade (entsprechend eines linearen Verlaufs) zeigen. Numerisch lässt sich der Zusammenhang von zwei einzelnen Variablen nach Pearson mittels Korrelationskoeffizienten r und dessen Signifikanz (p-Wert) beschreiben. Diese Kennzahl nimmt Werte zwischen -1 (negativer Zusammenhang) und +1 (positiver Zusammenhang) an und das Signifikanzniveau liegt bei $p<0,05$. Für eine Aussage über die Stärke des Zusammenhangs kann die Einteilung nach Cohen verwendet werden [31]. Dabei beschreibt ein Korrelationskoeffizient r von 0 bis 0,1 bzw. -0,1 einen schwachen Zusammenhang, von 0,1 bis 0,5 bzw. -0,1 bis -0,5 einen mittleren und Werte von 0,5 bis 1 bzw. -0,5 bis -1 einen starken Zusammenhang [31]. Die Pearson-Korrelation ist jedoch stark von Extremwerten beeinflusst und lässt daher allein keine Aussage über den kausalen Zusammenhang zu [81]. Durch die drei unterschiedlichen Tonhöhen sieht man in den Streudiagrammen einem Wert auf der Abszisse (anatomischer Parameter) drei Werte der Mundstückposition auf der Ordinate zugeordnet. Aufbauend auf den Streudiagrammen wurde eine Korrelationsmatrix für die Variablen erstellt. Diese stellt die unabhängigen Variablen

den mundstückspezifischen Variablen gegenüber. Basierend auf der Vorauswahl durch die Streudiagramme wurden nur bestimmte Interrelationen weiter statistisch ausgewertet. Tabelle 2 zeigt die untersuchten Interrelationen der Variablen.

Tabelle 2: Korrelationsmatrix als Ausgangslage für die statistische Auswertung. Die mit einem Kreuz markierten Felder zeigen die zu untersuchenden Korrelationen zwischen den faziodentalen Parametern und der Mundstückpositionen und -neigungen an. Die anatomischen Parameter sind in Millimetern [mm] bzw. in Grad [°] angegeben. Dem Zahnschema Fédération Dentaire Internationale (FDI) folgend wurden die Schneidezähne im Oberkiefer angegeben (Zähne 12,11,21,22); Universitätsklinikum Ulm, 2019.

	Vertikale Mundstückposition [mm]	**Transversale Mundstückposition** [mm]	**Transversale Mundstückneigung** [°]	**Sagittale Mundstückneigung** [°]	**Lippenkompression** [mm]
Lippenmorphologie					
Oberlippenmitte [mm]		x	x		
Lippensymmetrie [°]		x	x		
Lippenfülle [mm]					x
Lippentreppe [mm]	x			x	x
Gaumenanatomie:					
FitGaumen 1 [°]				x	
FitGaumen 2 [°]	x			x	
FitGaumen 3 [°]				x	
Dentale Parameter:					
Inzisalpunkt des Oberkiefers [mm]	x			x	
dentale Mitte [mm]		x			
Zahnbogensymmetrie Zahn 11 [mm]			x		x
Zahnbogensymmetrie Zahn 12 [mm]			x		x
Zahnbogensymmetrie Zahn 21 [mm]			x		x
Zahnbogensymmetrie Zahn 22 [mm]			x		x
Palatinalflächenverlauf Zahn 11 [°]	x			x	
Palatinalflächenverlauf Zahn 21 [°]	x			x	
Kroneninklination Zahn 11 [°]				x	
Kroneninklination Zahn 21 [°]				x	

Die „vertikale Mundstückposition“ sowie die „sagittale Mundstückneigung“ sind mit dem „Gaumenverlauf“ und, als dessen Verlängerung betrachtet, mit dem „Palatinalflächenverlauf“ der mittleren Frontzähne in Beziehung gesetzt. Hierbei soll die Hypothese untersucht werden, ob die anatomische Form des Dachs der Mundhöhle einen Einfluss auf die Neigung des Instrumentes ausübt. Hintergrund dieser Analyse ist, dass der Luftstrom beim Spielen von Blasinstrumenten gemäß der anatomischen Form der Mundhöhle geleitet und kanalisiert wird. Um einen optimalen Winkel des Luftstroms in das Mundstück zu erzeugen könnte das Instrument somit unbewusst dem Verlauf der Luft in der Mundhöhle angepasst sein. Zusätzlich soll der Einfluss der sagittalen „Lippentreppe“ auf die Mundstückposition in longitudinaler Richtung berechnet werden. Dabei soll die Hypothese getestet werden, dass angepasst an der Form und Größe der Unterlippe, das Mundstück nach kranial oder kaudal verschoben sein könnte, um mögliche Unebenheiten oder Unverhältnismäßigkeiten der Lippengröße auszugleichen.

Die „transversale Mundstückposition“ kann mit der „transversalen Mundstückneigung“ zusammen betrachtet werden, da dieselben Parameter der „Lippenmorphologie“ in Relation gesetzt sind. Hierbei werden vorrangig Symmetrievergleiche anatomischer Merkmale genutzt. Die aufgestellte Hypothese, dass die Mundstückposition mit der „Lippenmorphologie“ korreliert, soll durch die Interrelationen zur „Oberlippenmitte“ sowie zur transversalen „Lippensymmetrie“ am Mundwinkel beantwortet werden. Im Bezug zu den Hartgeweben wird der Symmetrievergleich der transversalen Ausrichtung des Mundstücks zur „dentalen Mitte“ und zum „Zahnbogenverlauf“ der mittleren und seitlichen Schneidezähne betrachtet.

Die „Lippenkompression“ wird in Relation zur „Lippenfülle“ und sagittalen „Lippentreppe“, sowie zur „Zahnbogensymmetrie“ der Oberkieferfrontzähne betrachtet.

Basierend auf der Korrelationsmatrix wurde mittels Regressionsanalyse die gemeinsame Betrachtung der anatomischen Parameter auf die abhängigen Variablen durchgeführt. Dadurch soll geprüft werden, ob die abhängige Variable von einem oder mehreren unabhängigen Parametern beeinflusst wird. Hierfür wurde ein lineares Mixed-Effekt-Modell ausgewählt [41]. Das Mixed-Effekt-Modell schließt sowohl die

Faktoren, deren Einfluss auf die abhängige Variable interessant sind (sog. fixed factors), als auch jene, von denen erwartet wird, dass sie einen Einfluss auf die abhängige Variable ausüben werden, der Einfluss aber uninteressant ist (sog. random factors), ein [41, 92, 164]. Dies ermöglicht das gleichzeitige Betrachten mehrerer unabhängiger Einflussvariablen zur Mundstückposition. Die Beobachtungsanzahl, begrenzt durch die Anzahl der teilnehmenden Probanden, beeinflusst die Anzahl der möglichen Einflussvariablen auf die Zielvariable. Die Anzahl der unabhängigen Variablen zu einer Zielvariablen im Modell wurde gemäß dem Vorgehen der Rückwärtsselektion auf maximal neun Einflussvariablen reduziert [136].

Das Mixed-Effekt-Modell gibt Aussagen zu Zusammenhängen der Variablen über Schätzwerte (Estimate) und den dazugehörigen p-Wert. Der Schätzwert zeigt als Regressionsfaktor an, in welche Richtung und mit welcher Gewichtung eine Einflussvariable die Zielvariable im Modell beeinflusst und beschreibt in der Regressionsgleichung den numerischen Zusammenhang der Variablen. Der Schätzwert zeigt die Sensitivität einer unabhängigen Variablen und gibt dadurch einen interpretierbaren Effekt an. Beispielhaft kann man sagen, dass sich eine abhänge Variable um 1 in der angegeben Einheit verändert, wenn sich die unabhängige Variable in ihrer Einheit um den Betrag des Schätzwerts verändert. Das Vorzeichen des Schätzwertes korreliert mit einem negativen oder positiven Zusammenhang der beiden Variablen. In einer univariablen Betrachtung sind die Vorzeichen des Schätzwertes identisch mit denen des Pearson-Korrelationskoeffizienten, in der multivariablen Analyse können die Vorzeichen unterschiedlich sein, da der Schätzwert durch andere Variablen mitbeeinflusst wird [12]. Das Mixed-Effekt-Modell ist anfällig für eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Variablen und einem möglichen Verstärkungs- oder Auslöschungseffekt. Trotz dieser Limitationen stellt es für die ganzheitliche Betrachtung der Parameter ein passendes Modell dar [12, 136].

Als Güte- oder Bestimmtheitsmaß der Regression wird R^2 berechnet, der angibt, wie gut die unabhängigen Variablen geeignet sind die Varianz der abhängigen Variablen im Modell zu erklären [104]. R^2 liegt zwischen 0 und 100%. Je kleiner R^2 ist, desto geringer ist der lineare Zusammenhang. Werte zwischen 0,7-0,9 beschreiben eine hohe Korrelation, Werte zwischen 0,4 und 0,69 zeigen ein mittelmäßiges Verhältnis und ein Wert unter 0,3 wird als unerhebliche Korrelation beschrieben [59]. Da das Mixed-Effekt-Modell die zufälligen Faktoren (random facts) ebenfalls einschließt, diese aber

beispielweise die Individualitäten der Probanden ausgleichen sollen und nicht erfasst sind, gibt das Modell zusätzlich zum Bestimmtheitsmaß R^2 einen konditionales Bestimmtheitsmaß an (conditional R^2). Um eine Unterscheidung des Bestimmtheitsmaßes auf die Faktoren zu gewährleisten, wird der marginale R^2 als Gütemaß des Mixed-Effekt-Modells beschrieben. Da die zufälligen Effekte nicht bekannt sind, wird auf die Interpretation des conditional R^2 verzichtet.

Für das Mixed-Effekt-Modell beschreibt die Regressionsgleichung die mathematische Beziehung zwischen einer abhängigen und mehreren unabhängigen Variablen. Diese Gleichung kann verwendet werden, um Vorhersagen über die abhängige Variable zu treffen oder um die Auswirkungen von Veränderungen der unabhängigen Variablen zu untersuchen [110].

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * (x_1) + \beta_2 * (x_2) + \cdots + \beta_k * (x_k) + b_i + \varepsilon$$

(Gleichung 0)

Hierbei ist Y die instrumentenspezifische Variable (beispielsweise die „vertikale Mundstückposition“). β_0 beschreibt als Intercept den Y-Achsenabschnitt, an dem die Regressionsgerade die Y-Achse schneidet, wenn die unabhängige Variable auf null gesetzt wäre. β_1 bis β_k sind die Regressionskoeffizienten oder auch Schätzwerte (Estimate) der unabhängigen Variablen (x_1 bis x_k). Durch Verwendung des Mixed-Effekt-Modells wird der zufällige Effekt für Proband i als b_i angegeben und der Residualterm als normalverteilter Fehler mit Mittelwert 0 als ε [110]. Für die übersichtlichere Darstellung werden die unabhängigen Variablen, die eine statistisch nachweisbare signifikante Korrelation mit dem instrumentenspezifischen Parameter aufwiesen, hervorgehoben.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse des Frage- und Befundbogens

3.1.1 Personenangaben

Die Studie wurden mit 50 Teilnehmern durchgeführt, die zum Zeitpunkt der Untersuchung (2018) zwischen 20 und 56 Jahre alt waren. Eine äquivalente Berücksichtigung beider Geschlechter konnte nicht erfolgen, da die Gesamtanzahl der Probanden sonst zu stark reduziert worden wäre. Durch das Einschlusskriterium „Berufsmusiker“ wurden junge Musiker, die sich noch im Wachstum befinden, bereits ausgeschlossen, ohne eine Altersspanne als Einschlusskriterium vorzugegeben.

3.1.2 Allgemein musikalische Fragen

Die mittlere Spielzeit aller Blechbläser in Stunden pro Woche betrug 20 Stunden und die Dauer in Jahren, in der die wöchentliche Spielpraxis angegeben wurde, betrug im Mittel 12,15 Jahre. Im Vergleich der Instrumentengruppen fällt auf, dass die Musiker der Klasse A1 eine höhere Spielzeit pro Woche (Trompeter: im Mittel 23,44 h/Woche; Hornisten: im Mittel 21,14 h/Woche) angaben, als die Posaunisten (im Mittel 17,75 h/Woche). 20 % der Probanden spielten zu ihrem Hauptinstrument noch mindestens ein weiteres Blasinstrument der Gruppen A1 oder A2 nach Strayer [150].

3.1.3 Spezielle Fragen zum Ansatz

43% der Hornisten nannten Probleme mit dem Ansatz. Dies liegt über den Angaben der Posaunisten (25%) und Trompetern (15%). Die Frage nach „Verspannungen der Lippenmuskulatur“ wurde von 36%, „Verspannungen der Kaumuskulatur“ von 26% aller Probanden mit „Ja“ beantwortet. Die acht quantitativen Fragen zu möglichen Komplikationen durch kieferorthopädische Apparaturen, Zahnersatz oder Krankheitsbildern im Kopf- und Gesichtsbereich zeigten eine geringe Prozentzahl von positiven Antworten in der Stichprobe ohne Auffälligkeiten

Sechs Fragen zu bereits vergangenen zahnmedizinischen oder logopädischen Behandlungen der Probanden zeigten ebenfalls keine Auffälligkeiten.

Die detaillierten Ergebnisse des Fragebogens sind Anhang 7 zu entnehmen.

3.1.4 Ergebnisse der extra- und intraorale Befunderhebung

Die Lippenhaltung wurde bei 98% der Probanden als „kompetent“ bewertet. Die Lippenhaut wurde bei 50% der Probanden „trocken“ und bei 25% der Posaunisten

„rissig“ beschrieben. Lippenimpressionen zeigten sich bei 42% der Musiker und Rötungen der Lippen ließen sich bei 28% beschreiben.

Der zweite Teil des extraoralen Befunds bezieht sich auf den Funktionsbefund, der keine besonderen Auffälligkeiten aufwies.

Die Beurteilung der Lippenbändchen zeigte lediglich bei einem Posaunisten ein tief ansetzendes Lippenbändchen. Die Zungenbeweglichkeit war bei keinem Probanden eingeschränkt, Zungenimpressionen ließen sich bei 72% der Probanden feststellen, wobei die Instrumentengruppen dabei keine auffälligen Unterschiede untereinander aufzeigen.

Die Beurteilung der Schneidekanten bezieht sich sowohl auf Abrasionen als auch auf Schmelz- und Schneidekantendefekte. Da bei einzelnen Probanden sowohl leichte Schneidekantendefekte durch beispielsweise Traumata gegeben waren und zusätzlich Abrasionsflächen sichtbar waren, sind Mehrfachnennungen möglich, die die Anzahl der Probanden (n) in der Auswertungstabelle steigen lässt. Bei der Beurteilung der Mundschleimhaut wies ein Trompeter eine weißliche nicht wegwischbare Veränderung auf, die laut Proband bereits als oraler lichen planus (OLP) mucosae diagnostiziert wurde. Die Erkrankung des OLP zählt zu einer der häufigsten adulten Mundschleimhauterkrankungen [125].

Anhang 7 zeigt die detaillierte Übersicht der Ergebnisse des extra- und intraoralen Befundbogens.

3.1.5 Periotest

Die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der Periotest-Werte zeigen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Instrumentengruppen (Tabelle 3). Die Mittelwerte der Eckzähne liegen im Vergleich zu denen der Schneidezähne im negativen Bereich, was eine geringere Zahnbeweglichkeit der Eckzähne beschreibt. Der Vergleich der Mittelwerte mit der vom Hersteller angegeben Skala zeigt keine Auffälligkeiten in der Beweglichkeitsmessung.

Tabelle 3: Übersicht über die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) der Werte des Periotests instrumentenspezifisch als Mittelwerte aufgelistet. Spalte 1 zeigt die morphologisch gleichen Zähne mit Oberkiefer Eckzahn (OK3), Oberkiefer seitlicher Schneidezahn (OK2), Oberkiefer mittlerer Schneidezahn (OK1), Unterkiefer Eckzahn (UK3), Unterkiefer seitlicher Schneidezahn (UK2) und Unterkiefer mittlerer Schneidezahn (UK1); das Signifikanzniveau liegt bei p<0,05; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

	Trompete [n=20]	**Horn** [n=14]	**Posaune** [n=16]	ANOVA (p-Wert)
OK3 [MW]	-1,76	-1,13	-0,98	0,38
OK2 [MW]	1,98	1,99	2,68	0,43
OK1 [MW]	1,64	2,41	2,75	0,16
UK3 [MW]	-2,12	-1,66	-1,87	0,73
UK2 [MW]	1,90	1,59	2,23	0,80
UK1 [MW]	4,13	3,44	3,77	0,76

3.1.6 Sagittale Frontzahnstufe

Tabelle 4 sind die Mittelwerte der sagittalen Frontzahnstufe für die Instrumentengruppen sowie für alle 50 Probanden zu entnehmen. Der Vergleich der Instrumentengruppen zeigte keine auffälligen Abweichungen zueinander. Die Mittelwerte lagen bei den Trompetern bei 2,53 mm und 2,5 mm, bei den Hornisten bei 2,29 mm und 2,36 mm und bei den Posaunisten bei 2,66 und 2,94 mm. Das Boxplotdiagramm von Abbildung 21 zeigt die Mittelwerte, die 25% und 75% Quartile und Ausreißer aller Musiker. Der Ausreißer in der Darstellung zeigt einen Posaunisten, der eine Dysgnathie mit frontal offenem Biss und einer sagittalen Frontzahnstufe von 8 mm aufwies. Des Weiteren zeigt der Boxplot keine breit gestreute Ergebnislage der Messung.

Tabelle 4: Instrumentenspezifische [n] und Gesamt [n] - Übersicht über die Mittelwerte (MW) der „sagittalen Frontzahnstufe“ in Millimetern [mm] an den Zähnen 11 zu 41 und 21 zu 31; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

		Trompete [n=20] MW	**Horn** [n=14] MW	**Posaune** [n=16] MW	**Gesamt** [n=50] MW
sagittale Frontzahnstufe	manuell gemessen [mm] (Zahn 11-41)	2,53	2,29	2,66	2,50
	manuell gemessen [mm] (Zahn 21-31)	2,50	2,36	2,94	2,60

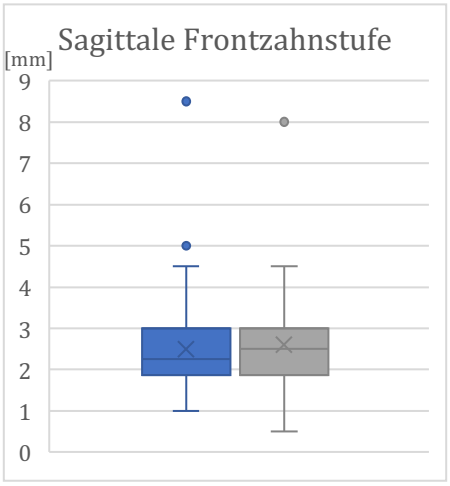


Abbildung 21: Boxplot Diagramm der „sagittalen Frontzahnstufe“ der Probanden; auf der y-Achse ist der Abstand in Millimetern [mm] angegeben; der blaue Boxplot zeigt die Mittelwerte der „sagittalen Frontzahnstufe“ der Zähne 11 zu 41, der graue Boxplot die Mittelwerte der Zähne 21 zu 31 aller Probanden [n=50]; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

3.2 Ergebnisse der digitalen 3D-Analyse

3.2.1.1 Vertikale Mundstückposition

Die „vertikale Mundstückposition“ wurde mit der sagittalen „Lippentreppe“, dem anterioren Gaumenverlauf („FitGaumen 2“), dem „Inzisalpunkt des Oberkiefers“ und den „Palatinalflächenverläufen“ der mittleren Inzisivi in Korrelation gesetzt.

Die paarweise Korrelation nach Pearson zeigte für die Trompeter statistisch signifikante Korrelationen bei allen fünf Parametern mit der „vertikalen Mundstückposition“ (Tabelle 5). Das Bestimmtheitsmaß (R^2) der linearen Korrelationsanalyse zeigte vor allem bei dem dentalen Parameter „Inzisalpunkt des Oberkiefers“ mit 0,76 einen starken Zusammenhang der beiden Variablen. Der Pearson Korrelationskoeffizient mit r=0,87 beschreibt einen positiven Verlauf der Trendlinie im Streudiagramm mit starkem Zusammenhang (Abbildung 22 a) und beschreibt ein Ansetzen der vordere Mundstückmitte weiter kranial, wenn der „Inzisalpunkt des Oberkiefers“ ebenfalls weiter kranial liegt. Dieselbe Korrelation lässt sich auch bei den beiden Instrumentengruppen Horn und Posaune bestätigen, wobei die Posaunisten mit r=0,54 einen schwächeren Zusammenhang der beiden Variablen aufweisen (Abbildung 22 b und c).

Die „Lippentreppe“ zeigte eine statistisch signifikante Korrelation nach Pearson bei den Instrumenten der Klasse A1. Der negative Korrelationskoeffizient zeigt einen mittleren Zusammenhang der Variablen mit negativem Verlauf der Trendlinie (Trompete: r=-0,38; Horn: r=-0,20). Dies beschreibt mit größerer sagittaler

Lippentreppe ein weiter kaudal positioniertes Mundstück. Für die Posaunisten ließ sich keine statistisch signifikante Korrelation feststellen.

Der anteriore Gaumenverlauf „FitGaumen 2“ zeigte in der Korrelationsanalyse nach Pearson nur für die Trompeter eine statistische Signifikanz**.** Diese positionierten mit steiler verlaufendem anterioren Gaumen das Mundstück weiter kranial. Die Ergebnisse der Hornisten und Posaunisten zeigten für den anterioren Gaumenverlauf keine statistisch signifikante Interrelation mit der „vertikalen Mundstückposition“.

Bei der Betrachtung des „Palatinalflächenverlaufs“ der mittleren Inzisivi (Zahn 11 und Zahn 21) zeigten sich bei den Instrumenten der Klasse A1 statistisch signifikante Korrelationen in der Pearson-Analyse. Für die Posaunisten ließ sich nur für Zahn 11 eine statistisch signifikante Korrelation nachweisen. Die Bestimmtheitsmaße R^2 zeigten allerdings für die Trompeter und Posaunisten eine sehr schwache Korrelation (Trompete: R^2=0,06 (Zahn 11), R^2=0,02 (Zahn 21); Posaune: R^2=0,03 (Zahn 11)). Die Hornisten beschreiben mit R^2=0,23 (Zahn 11) und R^2=0,20 (Zahn 21) einen ebenfalls moderaten bis schwachen Zusammenhang des „Palatinalflächenverlaufs“ mit der „vertikalen Mundstückposition“.

Tabelle 5: Pearson-Korrelationsanalyse der „vertikalen Mundstückposition“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

	Vertikale Mundstückposition [mm]								
	Trompete [n=20]			**Horn** [n=14]			**Posaune** [n=16]		
	r	R^2	p	r	R^2	p	r	R^2	p
Lippenmorphologie:									
Lippentreppe [mm]	-0,38	0,14	**0,00**	-0,20	0,04	**0,02**	0,03	0,00	0,75
Gaumenanatomie:									
FitGaumen 2 [°]	0,25	0,06	**0,00**	0,04	0,00	0,69	-0,09	0,01	0,28
Dentale Parameter:									
Inzisalpunkt des Oberkiefers [mm]	0,87	0,76	**0,00**	0,83	0,68	**0,00**	0,54	0,29	**0,00**
Palatinalflächenverlauf 11 [°]	-0,24	0,06	**0,00**	0,23	0,05	**0,01**	0,16	0,03	**0,05**
Palatinalflächenverlauf 21 [°]	-0,15	0,02	**0,05**	0,20	0,04	**0,03**	0,04	0,00	0,64

Die starke Korrelation des „Inzisalpunkts des Oberkiefers“ zeigte sich auch bei den Ergebnissen des Mixed-Effekt-Modells, das eine gemeinsame Betrachtung der fünf anatomischen Variablen auf die „vertikale Mundstückanalyse“ beschreibt (Tabelle 6).

Die Trompeter zeigten zusätzlich einen statistisch signifikanten Einfluss des anterioren Gaumenverlaufs „FitGaumen 2“ auf die mundstückspezifische Variable. Das Modell erklärte für die Trompeter etwa 80% der Gesamtvarianz für die Positionierung der vorderen Mundstückmitte (marginaler R^2=0,80). Gleichung 1 zeigt die Regressionsgleichung des Mixed-Effekt-Modells der „vertikalen Mundstückposition“ für die Trompeter.

$$\begin{aligned}\text{vertMSPos(Trompete)} &= -13{,}59 + 0{,}07 * (\text{Lippentreppe}) + \mathbf{0{,}17} * (\mathbf{FitGaumen2}) \\ &+ \mathbf{0.95} * (\mathbf{Inzisalpunkt\ OK}) - 0{,}08 \\ &* (\text{Palatinalflächenverlauf 11}) + 0{,}08 \\ &* (\text{Palatinalflächenverlauf 21}) + b_i + \varepsilon\end{aligned}$$

(Gleichung 1)

Das Mixed-Effekt-Modell zeigte für die Hornisten und Posaunisten keine zum „Inzisalpunkt des Oberkiefers“ zusätzlichen statistisch signifikanten Korrelationen der anatomischen Variablen auf die „vertikale Mundstückposition“. Der marginale R^2 für die Hornisten zeichnet das Modell mit 0,70 dennoch als geeignet aus, um die Varianz der abhängigen Variable zu erklären. Die Posaunisten zeigten mit einem marginalen R^2 von 0,33 eine mittlere Vorhersagbarkeit für die „vertikale Mundstückposition“.

Tabelle 6: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „vertikale Mundstückposition“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

	Vertikale Mundstückposition [mm]					
	Trompete [n=20]		**Horn** [n=14]		**Posaune** [n=16]	
R^2 marginal	0,80		0,70		0,33	
	Schätzwert	p	Schätzwert	p	Schätzwert	p
Lippenmorphologie:						
Lippentreppe [mm]	0,07	0,74	-1,11	0,14	-0,02	0,95
Gaumenanatomie:						
FitGaumen 2 [°]	0,17	**0,02**	-0,43	0,09	-0,10	0,41
Dentale Parameter:						
Inzisalpunkt des Oberkiefers [mm]	0,95	**0,00**	0,90	**0,00**	0,54	**0,03**
Palatinalflächenverlauf 11 [°]	-0,08	0,57	0,05	0,87	0,14	0,41
Palatinalflächenverlauf 21 [°]	0,08	0,61	0,18	0,55	-0,01	0,96

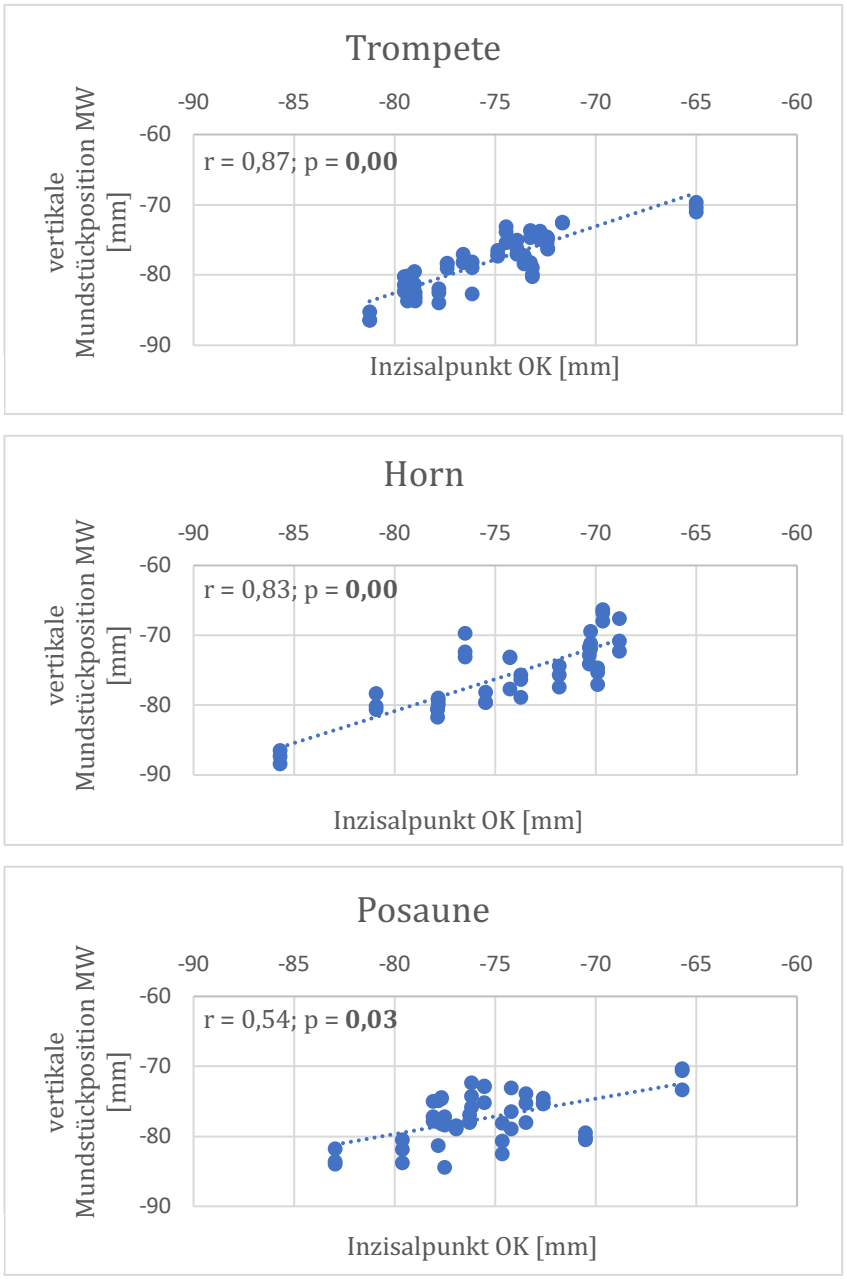


Abbildung 22 a, b und c: Abhängigkeit der „vertikalen Mundstückposition“ in Millimetern [mm] von der Position des „Inzisalpunktes des Oberkiefers“ („Inzisalpunk OK“) in Millimetern [mm]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für „Trompeter“ (a), „Hornisten“ (b) und „Posaunisten“ (c), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

3.2.1.2 Transversale Mundstückposition

Die Pearson-Korrelationsanalyse ergab bei den Instrumenten der Klasse A1 eine statistisch signifikante Interrelation bei allen drei Variablen (Tabelle 7). Die Trompeter wiesen eine starke Korrelation der „Oberlippenmitte“ mit einem Korrelationskoeffizient von r=0,71 und die Hornisten einen mittleren Zusammenhang mit r=0,35 mit der „transversalen Mundstückposition“ auf. Die Musiker richteten demnach das Mundstück nach dem Philtrum aus. Die Korrelation mit der

„Lippensymmetrie“ zeigte einen mittleren Zusammenhang mit r=-0,43 (Trompete) und r=0,41 (Horn), der statistisch signifikant ist. Die unterschiedlichen Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten im Vergleich der beiden Instrumentengruppen zeigen, dass das Mundstück im Falle einer Lippenasymmetrie (d.h. rechts und links unterschiedlich weit lateral liegenden Mundwinkeln) bei den Trompetern eher zum medianen Mundwinkel hin verlagert wurde. Bei den Hornisten erfolgte die Verlagerung des Mundstücks (entsprechend des positiven Korrelationskoeffizienten) zum lateralen Mundwinkel hin (Abbildung 23 a und b). Zusätzlich ließ sich ein mittlerer Zusammenhang bei der „dentalen Mitte“ mit r=0,46 (Trompete) und r=-0,41 (Horn) nachweisen.

Die Posaunisten zeigten bei der paarweisen Betrachtung der Variablen keinen statisch signifikanten Zusammenhang mit der „Lippensymmetrie“ (Abbildung 23 c). Bei den Parametern „Oberlippenmitte“ und „dentale Mitte“ ließ sich ein mittlerer bis schwacher signifikanter Zusammenhang bei den Posaunisten feststellen („Oberlippenmitte“: r=0,30 und „dentale Mitte“: r=0,36).

Tabelle 7: Pearson-Korrelationsanalyse der „transversalen Mundstückposition“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

	Transversale Mundstückposition [mm]								
	Trompete [n=20]			**Horn** [n=14]			**Posaune** [n=16]		
	r	R^2	p	r	R^2	p	r	R^2	p
Lippenmorphologie:									
Oberlippenmitte [mm]	0,71	0,51	**0,00**	0,35	0,12	**0,00**	0,30	0,09	**0,00**
Lippensymmetrie [°]	-0,43	0,18	**0,00**	0,41	0,17	**0,00**	-0,11	0,01	0,17
Dentale Parameter:									
dentale Mitte [mm]	0,46	0,21	**0,00**	-0,41	0,17	**0,00**	0,36	0,13	**0,00**

Die Ergebnisse des Mixed-Effekt-Modells zeigten bei den Trompetern einen statistisch signifikanten Einfluss der „Lippensymmetrie“ auf die „transversale Mundstückposition“, mit einem Schätzwert von -1,88. Das negative Vorzeichen des Schätzers ist übereinstimmend mit der paarweisen Betrachtung nach Pearson und das Modell lässt eine mittlere Vorhersagbarkeit der Ausrichtung der „transversalen Mundstückposition“ mit einem marginalen R^2 von 0,53 zu. In der gemeinsamen

Betrachtung waren die Variablen „Oberlippenmitte“ und „dentale Mitte“ nicht signifikant (Tabelle 8).

Für die Hornisten ließ sich mit dem Mixed-Effekt-Modell eine statistisch signifikante Korrelation der beiden lippenmorphologischen Parametern feststellen.

$$\begin{aligned}\text{transMSPos(Horn)} &= -0{,}30 + \mathbf{0,67} * (\mathbf{Oberlippenmitte}) + \mathbf{0,57} \\ &* (\mathbf{Lippensymmetrie}) - 0.92 * (\text{dentale Mitte}) + b_i + \varepsilon\end{aligned}$$

(Gleichung 2)

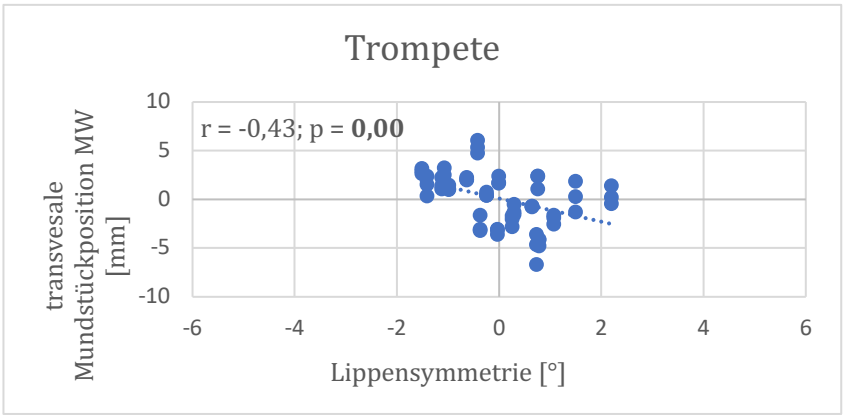
Das Bestimmtheitsmaß weist das Modell mit einem marginalen R^2 =0,42 zu einer mittleren Vorhersagbarkeit der „transversalen Mundstückposition“ bei den Hornisten aus.

Das Mixed-Effekt-Modell ließ keine statistisch signifikanten Aussagen zur „transversalen Mundstückposition“ für die Posaunisten zu. Das Bestimmtheitsmaß mit einem marginalen R^2 von 23% unterstützt die Aussage, dass die drei Variablen die „transversale Mundstückposition“ für die Posaunisten nicht ausreichend erklären können.

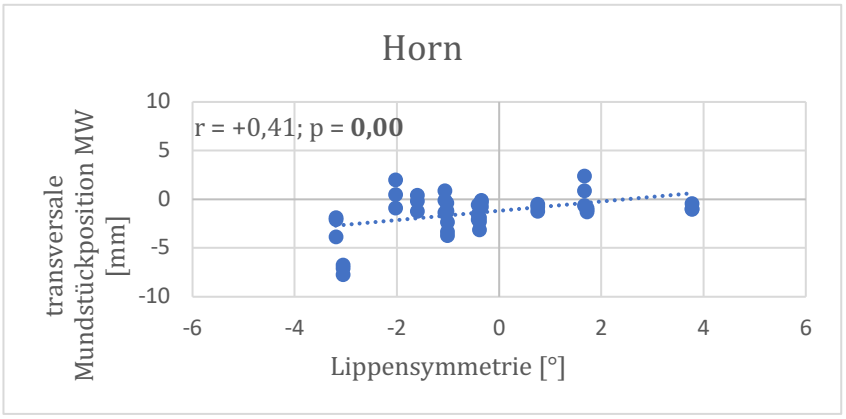
Tabelle 8: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „transversale Mundstückposition“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Im Fall eines Signifikanzlevels von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

	Transversale Mundstückposition [mm]					
	Trompete [n=20]		**Horn** [n=14]		**Posaune** [n=16]	
R^2 marginal	0,53		0,42		0,23	
	Schätzwert	p	Schätzwert	p	Schätzwert	p
Lippenmorphologie:						
Oberlippenmitte [mm]	0,37	0,28	0,67	**0,03**	1,26	0,11
Lippensymmetrie [°]	-1,88	**0,00**	0,57	**0,04**	0,00	0,99
Dentale Parameter:						
dentale Mitte [mm]	0,87	0,15	-0,92	0,25	1,64	0,09

a



b



c

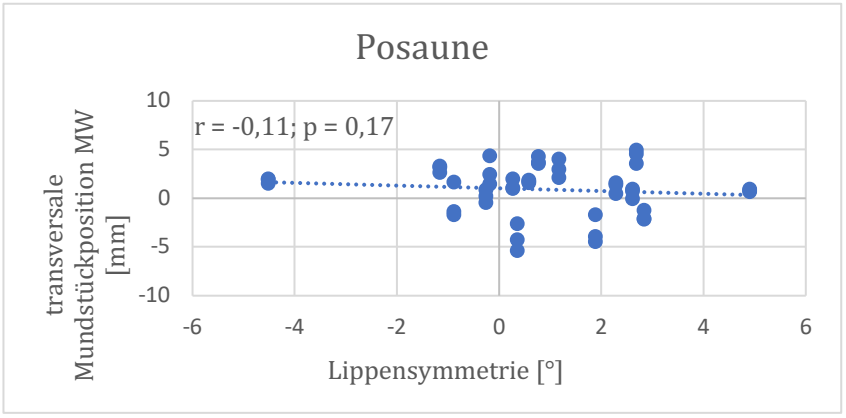


Abbildung 23 a, b und c: Abhängigkeit der „transversalen Mundstückposition“ in Millimetern [mm] von der „Lippensymmetrie“ in Grad [°]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für die „Trompeter“ (a), „Hornisten“ (b) und „Posaunisten“ (c), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

3.2.1.3 Transversale Mundstückneigung

In der paarweisen Betrachtung der anatomischen Variablen mit der „transversalen Mundstückneigung“ zeigte sich eine statistische signifikante Korrelation der „Oberlippenmitte“ mit der Ausrichtung des Mundstücks bei allen drei Instrumentengruppen (Tabelle 9). Der Korrelationskoeffizient der Trompeter mit r=0,32 beschreibt einen positiven Verlauf der Trendlinie im Streudiagramm mit mittlerem Zusammenhang der Variablen (Abbildung 24 a). Dies zeigt einen

Zusammenhang mit einer Vergrößerung des Winkels der „transversalen Mundstückneigung“ mit einer nach rechts im Gesicht verschobenen „Oberlippenmitte“. Die Korrelationskoeffizienten der Hornisten und Posaunisten hingegen beschreiben einen negativen Verlauf der Regressionsgeraden im Streudiagramm mit schwachem Zusammenhang (Abbildung 24 b und c). Dies zeigt eine Verkleinerung des Winkels der Randkonturebene des Mundstücks mit der XZ-Ebene des Gesichtskoordinatensystems, wenn die Oberlippenmitte eine Abweichung zur rechten Seite aufweist.

Die Variable „Lippensymmetrie“ zeigte keine statistisch signifikanten Interrelationen mit der „transversalen Mundstückneigung“. Die „Zahnbogensymmetrie“ der mittleren und seitlichen Inzisivi zeigten bei den Instrumenten der Klasse A1 keine statistisch signifikanten Ergebnisse. Hingegen ließen sich für die Posaunisten (Klasse A2) bei der Pearson-Korrelationsanalyse einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit der „Zahnbogensymmetrie“ nachweisen. Die Korrelationskoeffizienten beschreiben einen negativen Verlauf der Regressionsgeraden bei einem schwach ausgeprägten Zusammenhang. Die Neigung des Mundstücks in transversaler Richtung wird von den Posaunisten verkleinert, wenn sich eine Asymmetrie im Zahnbogen, durch weiter anterior liegenden vestibulären Zahnflächen, zeigt.

Tabelle 9: Pearson-Korrelationsanalyse der „transversalen Mundstückneigung“ der drei Instrumentengruppen in Grad [°] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern [mm] bzw. Grad. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

	Transversale Mundstückneigung [°]								
	Trompete [n=20]			**Horn** [n=14]			**Posaune** [n=16]		
	r	R^2	p	r	R^2	p	r	R^2	p
Lippenmorphologie:									
Oberlippenmitte [mm]	0,32	0,10	**0,00**	-0,18	0,03	**0,04**	-0,28	0,08	**0,00**
Lippensymmetrie [°]	-0,03	0,00	0,71	0,07	0,00	0,43	0,05	0,00	0,58
Dentale Parameter:									
Zahnbogensymmetrie 11 [mm]	0,04	0,00	0,63	0,08	0,01	0,38	-0,26	0,07	**0,00**
Zahnbogensymmetrie 12 [mm]	0,08	0,01	0,29	0,09	0,01	0,31	-0,22	0,05	**0,01**
Zahnbogensymmetrie 21 [mm]	0,11	0,01	0,13	0,11	0,01	0,21	-0,21	0,04	**0,01**
Zahnbogensymmetrie 22 [mm]	0,10	0,01	0,18	0,11	0,01	0,21	-0,17	0,03	**0,04**

Allerdings wird diese These im Mixed-Effekt-Modell nicht unterstützt, da sowohl die Posaunisten als auch die Hornisten keine statistisch signifikante Korrelation der

anatomischen Parameter auf die abhängige Variable im gemeinsamen Modell aufwiesen (Tabelle 10).

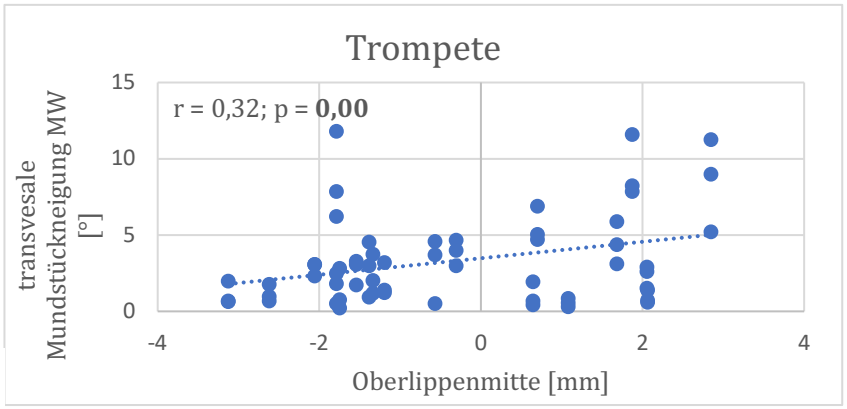
Lediglich die Trompeter zeigten eine statistisch nachweisbare signifikante Korrelation der lippenmorphologischen Variablen in der gemeinsamen Betrachtung der Parameter. Der marginale R^2 weist das Modell mit einer mittleren Vorhersagbarkeit mit 34% durch diese Variablen auf die „transversale Mundstückneigung“ bei den Trompetern aus und Gleichung 3 zeigt die Regressionsgleichung für die Trompeter.

$$\begin{aligned}\text{transMSNei(Trompete)} &= 3{,}96 + \mathbf{1,04} * (\mathbf{Oberlippenmitte}) + \mathbf{1,53} \\ &* (\mathbf{Lippensymmetrie}) - 1{,}77 * (\text{ZBsymm11}) - 0{,}74 \\ &* (\text{ZBsymm12}) + 2{,}7 * (\text{ZBsymm21}) + 0{,}07 * (\text{ZBsymm22}) + b_i \\ &+ \varepsilon\end{aligned}$$

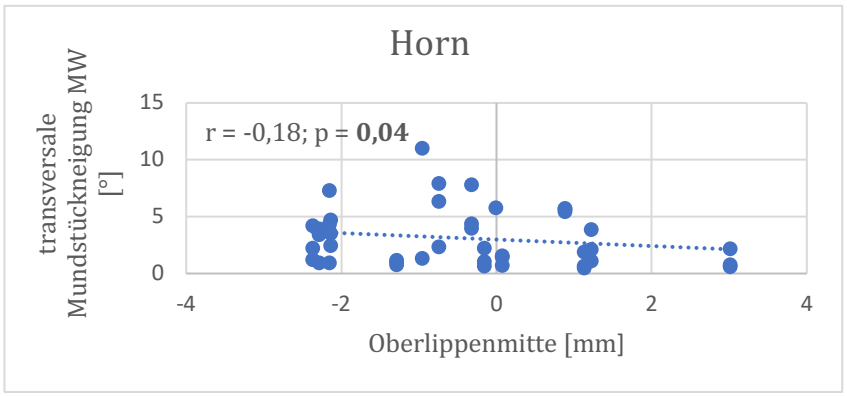
(Gleichung 3)

Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „transversale Mundstückneigung“ der drei Instrumentengruppen in Grad [°] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern [mm] bzw. Grad. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

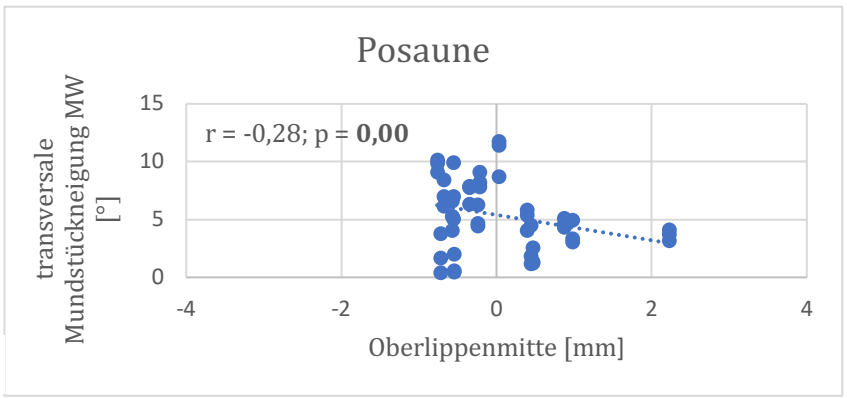
	Transversale Mundstückneigung [°]					
	Trompete [n=20]		**Horn** [n=14]		**Posaune** [n=16]	
R^2 marginal	0,34		0,11		0,20	
	Schätzwert	p	Schätzwert	p	Schätzwert	p
Lippenmorphologie:						
Oberlippenmitte [mm]	1,04	**0,01**	-0,27	0,57	-1,61	0,28
Lippensymmetrie [°]	1,53	**0,01**	0,27	0,60	-0,12	0,85
Dentale Parameter:						
Zahnbogensymmetrie 11 [mm]	-1,76	0,32	-3,13	0,32	-0,61	0,75
Zahnbogensymmetrie 12 [mm]	-0,74	0,37	0,02	0,99	-0,02	0,99
Zahnbogensymmetrie 21 [mm]	2,70	0,16	1,43	0,48	-1,35	0,37
Zahnbogensymmetrie 22 [mm]	0,07	0,94	1,52	0,30	1,75	0,15



a



b



c

Abbildung 24 a, b und c: Abhängigkeit der „transversalen Mundstückneigung“ in Grad [°] von der Position der „Oberlippenmitte“ in Millimetern [mm]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für die „Trompeter“ (a), „Hornisten“ (b) und „Posaunisten“ (c), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

3.2.1.4 Sagittale Mundstückneigung

Die „sagittale Mundstückneigung“ ist mit der größten Anzahl der miteinander betrachteten, in Korrelation gesetzten, unabhängigen Variablen untersucht worden. Dabei zeigt die Pearson-Korrelation unterschiedliche statistische Signifikanzen auf die abhängige Variable in den Instrumentengruppen. Die Trompeter zeigten eine signifikante positive Korrelation zwischen der „Lippentreppe“, der Gaumenanatomie an „FitGaumen 3“ sowie an den „Palatinalflächenverläufen“ der Zähne 11 und 21 (Tabelle 11). Zusätzlich zeigte sich eine signifikante negative Korrelation mit der

Variablen „Inzisalpunkt des Oberkiefers“. Die Zusammenhänge der Variablen mit der „sagittalen Mundstückneigung“ lassen sich als moderat beschreiben („Lippentreppe“: r=0,27; „FitGaumen 3“: r=0,25; „Inzisalpunkt OK“: r=-0,39; „Palatinalflächenverlauf 11“: r=0.35, „Palatinalflächenverlauf: 21“ r=0,29). Diese Korrelationen der Variablen lassen sich bei gemeinsamer Betrachtung der unabhängigen Variablen im Mixed-Effekt-Modell nicht bestätigen, da es keine statistisch signifikanten Interrelationen ergab (Tabelle 12). Der marginale R^2 unterstützt dieses Ergebnis, da nur eine schwache Vorhersagbarkeit über diese Variablen mit 29% im Mixed-Effekt-Modell getätigt werden kann.

Tabelle 11: Pearson-Korrelationsanalyse der „sagittalen Mundstückneigung“ der drei Instrumentengruppen in Grad [°] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern [mm] bzw. Grad. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

	Sagittale Mundstückneigung [°]								
	Trompete [n=20]			**Horn** [n=14]			**Posaune** [n=16]		
	r	R^2	p	r	R^2	p	r	R^2	p
Lippenmorphologie:									
Lippentreppe [mm]	0,27	0,07	**0,00**	0,16	0,03	0,07	0,19	0,04	**0,02**
Gaumenanatomie:									
FitGaumen 1 [°]	0,09	0,01	0,24	0,23	0,05	**0,01**	0,49	0,24	**0,00**
FitGaumen 2 [°]	-0,08	0,01	0,27	0,29	0,08	**0,00**	0,10	0,01	0,23
FitGaumen 3 [°]	0,25	0,06	**0,00**	-0,39	0,15	**0,00**	-0,46	0,21	**0,00**
Dentale Parameter:									
Inzisalpunkt des Oberkiefers [mm]	-0,39	0,15	**0,00**	0,13	0,02	0,13	-0,40	0,16	**0,00**
Palatinalflächenverlauf 11 [°]	0,35	0,12	**0,00**	0,12	0,02	0,17	0,49	0,24	**0,00**
Palatinalflächenverlauf 21 [°]	0,29	0,08	**0,00**	0,22	0,05	**0,01**	0,57	0,33	**0,00**
Kroneninklination 11 [°]	0,08	0,01	0,31	0,12	0,01	0,17	-0,02	0,00	0,78
Kroneninklination 21 [°]	-0,11	0,01	0,15	-0,02	0,00	0,86	0,25	0,06	**0,00**

Die Hornisten zeigten bei der Pearson-Korrelationsanalyse eine statistisch signifikante Korrelation mit der Gaumenanatomie „FitGaumen 1-3“ (Tabelle 11). Die beiden Parameter „FitGaumen 1“ und „FitGaumen 2“ beschreiben einen positiven Zusammenhang mit der abhängigen Variablen (r=0,23, r=0,29) (Abbildung 25 a und b). Diese stellen die Steigung des anterioren Gaumens zwischen der Papilla inzisiva und dem dritten Gaumenfaltenpaar dar. Mit größeren Winkeln steigt der Gaumen steiler an und die Hornisten setzten ihr Mundstück ebenfalls steiler an. Die dritte Verbindungslinie „FitGaumen 3“ beschreibt die Steigung des Gaumendachs nach dem

dritten Gaumenfaltenpaar (vgl. 2.6.2). Vergrößert sich hierbei der Winkel ist das Gaumendach ebenfalls steiler allerdings zeigt der negative Korrelationskoeffizient r=-0,39 ein Abflachen der „sagittalen Mundstückneigung“ mit moderatem Zusammenhang der Variablen (Abbildung 25 c). Die lippenmorphologischen und dentalen Parameter zeigten bei den Hornisten keine statistisch signifikanten Korrelationen bei der Analyse nach Pearson, bis auf den „Palatinalflächenverlauf“ des Zahns 21. Mit r=0,22 zeigt sich hier ein schwacher positiver Zusammenhang der Variable und beschreibt das steilere Ansetzen des Mundstücks mit größerem Winkel der Palatinalfläche zur Kauebene. Diese lässt sich als Verlängerung des anterioren Gaumens für den Luftstrom bei der Tonerzeugung ansehen und bestätigt das Ausrichten der „sagittalen Mundstückneigung“ nach der anterioren Gaumenform für die Hornisten. Die gemeinsame Auswertung mittels Mixed-Effekt-Modells zeigte bei den Hornisten mehrere statistisch signifikante Korrelationen der Variablen (Tabelle 12).

$$\begin{aligned}\text{sagMSNei(Horn)} &= 158{,}84 + \mathbf{4{,}61} * (\mathbf{Lippentreppe}) - \mathbf{0{,}73} * (\mathbf{FitGaumen1}) \\ &\quad - 0{,}83 * (\text{FitGaumen2}) - \mathbf{1{,}36} * (\mathbf{FitGaumen3}) + \mathbf{1{,}38} \\ &\quad * (\mathbf{InzisalpunktOK}) + 1{,}03 * (\text{Palainalflächenverlauf 11}) + 0{,}02 \\ &\quad * (\text{Palatinalflächenverlauf 21}) + \mathbf{1{,}67} \\ &\quad * (\mathbf{Kroneninklination\ 11}) - \mathbf{1{,}41} \\ &\quad * (\mathbf{Kroneninklination\ 21}) + b_i + \varepsilon\end{aligned}$$

(Gleichung 4)

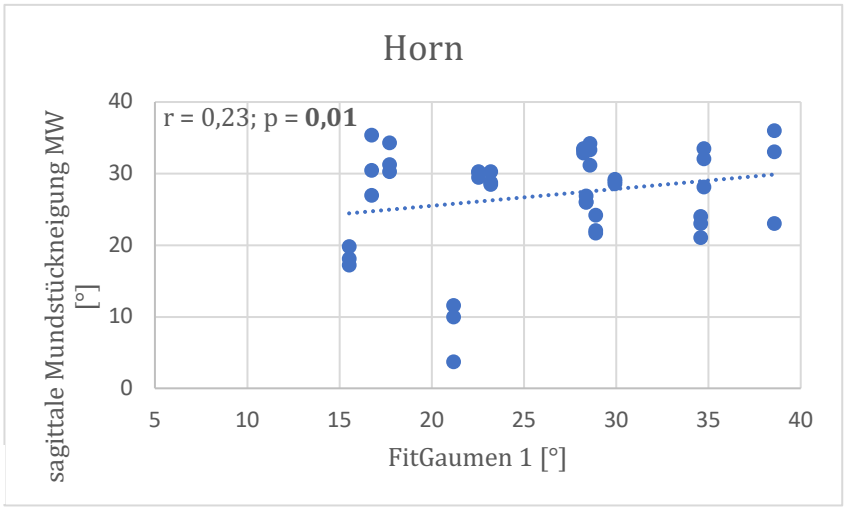
Das Modell erklärt etwa 73% der Gesamtvarianz der „sagittalen Mundstückneigung“ für die Hornisten (marginaler R^2=0,73) und lässt dadurch eine gute Vorhersagbarkeit treffen. Würde das Modell auf die signifikanten Variablen reduziert werden, verringert sich der marginale R^2 merklich auf 0,51 und würde damit eine schlechtere Güte des Modells beschreiben. Im gemeinsam betrachteten Modell zeigten sich hier entgegen der Pearson-Analyse auch statistisch signifikante Korrelationen beim lippenmorphologischen Parameter „Lippentreppe“, der mit einem Schätzwert von 4,61 eine Vergrößerung des Winkels, also ein steileres Ansetzen des Mundstücks bei weiter distal liegender Unterlippe beschreibt und der dentalen Parameter „Kroneninklination“ der Zähne 11 und 21.

Die Pearson-Korrelationsanalyse für die Posaunisten zeigten signifikante Ergebnisse ähnlich die der Trompeter. Der betrachtete lippenmorphologische Parameter „Lippentreppe“ zeigte eine schwache positive Korrelation (r=0,19) mit der „sagittalen Mundstückneigung“. Der Gaumenverlauf „FitGaumen1 und 3“, sowie die dazu in

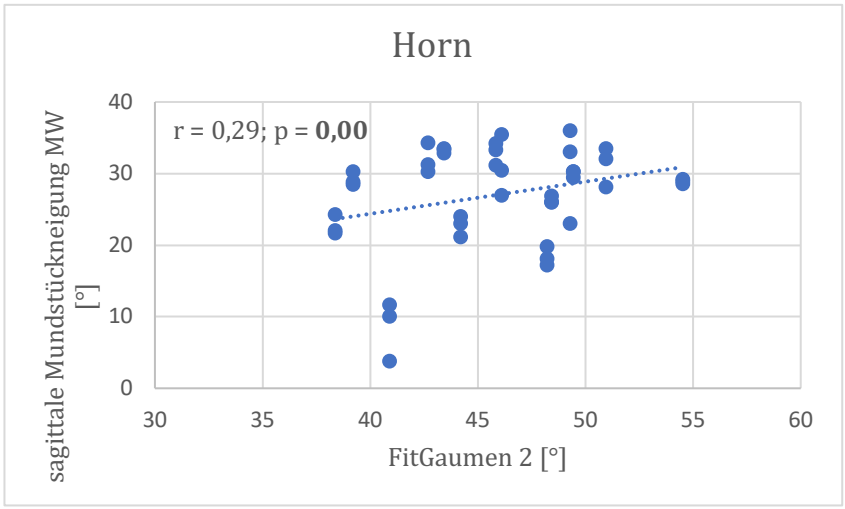
Verlängerung zu betrachtenden „Palatinalflächenverläufe“ der mittleren Inzisivi zeigten einen moderaten Einfluss auf die abhängige mundstückspezifische Variable (Tabelle 11). Das Mundstück der Posaunisten wurde demnach steiler angesetzt mit größerer anteriorer Gaumensteigung, oder mit steilerem „Palatinalflächenverlauf“ der Zähne 11 oder 21. Zusätzlich ließ sich eine schwache positive signifikante Korrelation mit der Kroneninklination des Zahns 21 feststellen (r=0,25). Ähnlich dem Ergebnis der Trompeter zeigte der „Inzisalpunkt des Oberkiefers“ eine moderate negative signifikante Korrelation (r=-0,4) mit der „sagittalen Mundstückneigung“ bei den Posaunisten. Dies bedeutet mit weiter kranial liegendem „Inzisalpunkt des Oberkiefers“ wird das Mundstück der Posaunisten flacher angesetzt. Diese Korrelationen ließen sich – ähnlich der Instrumentengruppe „Trompete“ – nicht durch das Mixed-Effekt-Model bestätigen (Tabelle 12). Der marginale R^2 weist das Mixed-Effekt-Model mit 0,51 mit einer moderaten Vorhersagbarkeit für die „sagittale Mundstückneigung“ der Posaunisten aus. Die gemeinsame Betrachtung der Parameter lässt keine statistisch signifikante Aussage über die Korrelationen der Parameter auf die abhängige Variable zu.

Tabelle 12: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „sagittale Mundstückneigung“ der drei Instrumentengruppen in Grad [°] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern [mm] bzw. Grad. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

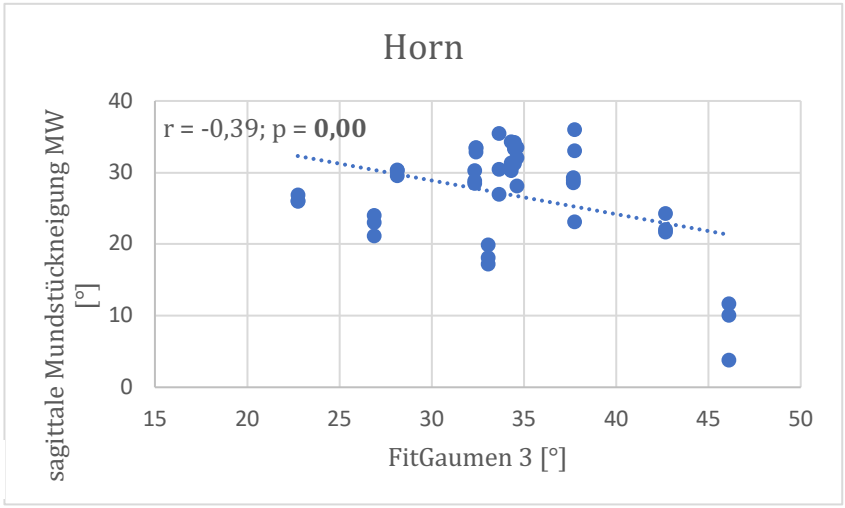
	Sagittale Mundstückneigung [°]					
	Trompete [n=20]		**Horn** [n=14]		**Posaune** [n=16]	
R^2 marginal	0,29		0,73		0,51	
	Schätzwert	p	Schätzwert	p	Schätzwert	p
Lippenmorphologie:						
Lippentreppe [mm]	0,49	0,66	4,61	**0,01**	0,94	0,24
Gaumenanatomie:						
FitGaumen 1 [°]	-0,06	0,83	-0,73	**0,04**	-0,19	0,60
FitGaumen 2 [°]	-0,27	0,42	-0,83	0,08	0,17	0,56
FitGaumen 3 [°]	0,24	0,47	-1,36	**0,01**	-0,53	0,14
Dentale Parameter:						
Inzisalpunkt des Oberkiefers [mm]	-0,45	0,34	1,38	**0,01**	-0,71	0,11
Palatinalflächenverlauf 11 [°]	0,43	0,53	1,03	0,08	0,54	0,14
Palatinalflächenverlauf 21 [°]	-0,13	0,86	0,02	0,95	-0,31	0,59
Kroneninklination 11 [°]	0,69	0,15	1,67	**0,00**	-0,51	0,26
Kroneninklination 21 [°]	-0,47	0,15	-1,41	**0,00**	0,29	0,40



a



b



c

Abbildung 25 a, b und c: Abhängigkeit der „sagittalen Mundstückneigung“ in Grad [°] mit dem Gaumenverlauf in Grad [°]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für die „Hornisten“ mit den Parametern des Gaumenverlaufs („FitGaumen 1“ (a), „FitGaumen 2“ (b), „FitGaumen 3“ (c)), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

3.2.1.5 Lippenkompression

Die Analyse der „Lippenkompression“ nach Pearson ergab in allen Instrumentengruppen eine hohe statistisch signifikante Korrelation (Tabelle 13). Bei den lippenmorphologischen Parametern zeigten sowohl die „Lippenfülle“ als auch die „Lippentreppe“ hochsignifikante Korrelationen an ($p<0,00$). Die Trendlinien verlaufen positiv, was eine stärkere Lippenkompression bei größerer „Lippenfülle“ und „-treppe“ beschreibt. Die Trompeter zeigten bei der „Lippenfülle“ einen hohen Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten von r=+0,72 (Abbildung 26 a). Bei der „Lippentreppe“ ließ sich ein moderater Zusammenhang feststellen (r=+0,32). Die Hornisten wiesen bei beiden lippenmorphologischen Variablen einen mittleren Zusammenhang auf („Lippenfülle“: r=+0,38; „Lippentreppe“: r=+0,43). Die Posaunisten zeigten ähnlich der Ergebnisse der Trompeter einen hohen Zusammenhang der „Lippenfülle“ (r=+0,61) und einen mittleren Zusammenhang bei der „Lippentreppe“ (r=+0,45) (Abbildung 26 b und c).

Bei der „Zahnbogensymmetrie“ der oberen Schneidezähne ergab die Pearson-Analyse statistisch hochsignifikante Ergebnisse bei den Trompetern (Tabelle 13). Die Korrelationskoeffizienten beschreiben einen moderaten negativen Zusammenhang und somit eine geringere Kompression bei weiter anterior liegenden Vestibulärflächen der Schneidezähne (Zahn 11: r=-0,27; Zahn 12: r=-0,35; Zahn 21: r=-0,37; Zahn 22: r=-0,33). Die Pearson-Analyse der „Lippenkompression“ mit der Zahnbogensymmetrie bei den Hornisten ergab mit positiv verlaufender Trendlinie und schwachem Zusammenhang eine statistisch signifikante Korrelation für die Zähne 11, 12 und 21. Für den Zahn 22 ließ sich keine statistisch signifikante Korrelation feststellen. Entgegen der Ergebnisse der Trompeter wurde die „Lippenkompression“ verstärkt bei weiter anterior liegenden Vestibulärflächen der Schneidezähne. Die Posaunisten zeigten ähnliche Ergebnisse mit negativ verlaufenden Trendlinien der Streudiagramme und einem schwachen nicht signifikanten (Zahn 11: r=-0,09) und moderaten signifikanten Zusammenhängen (Zahn 12: r=-0,18; Zahn 21: r=-0,23; Zahn 22: r=-0,16) der Variablen.

Das Mixed-Effekt-Modell zeigte eine statistisch signifikante Korrelation der „Lippenfülle“ bei den Trompetern und Posaunisten (Tabelle 14). Die Korrelationen der „Lippentreppe“ und der „Zahnbogensymmetrie“ der oberen Schneidezähne ließ sich im gemeinsam betrachteten Modell nicht bestätigen. Der marginale R^2 beschreibt eine

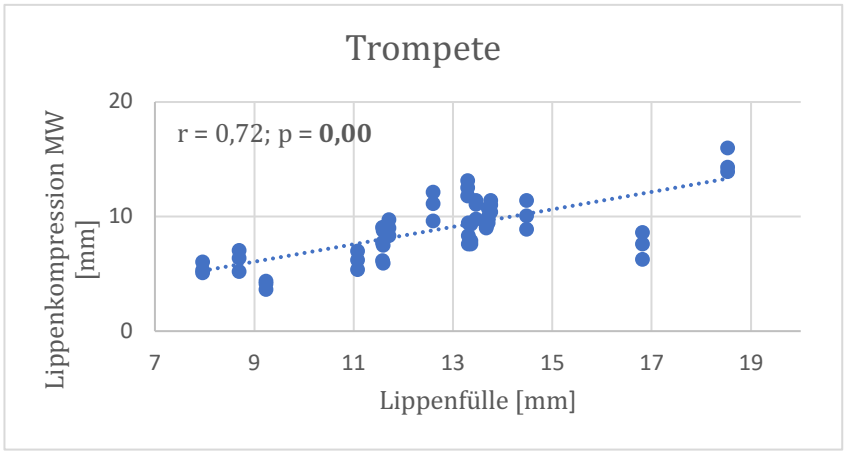
hohe Vorhersagbarkeit der Variable im Mixed-Effekt-Modell der „Lippenkompression“ für die Trompeter mit 70%. Die Posaunisten hingegen haben nur eine moderate Korrelation im Mixed-Effekt-Modell durch einen marginalen R^2 von 0,44. Für die Hornisten ließen sich keine statistisch signifikanten Ergebnisse im Mixed-Effekt-Modell feststellen und der marginale R^2 beschreibt eine niedrige Korrelation mit nur 0,28.

Tabelle 13: Pearson-Korrelationsanalyse der „Lippenkompression“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

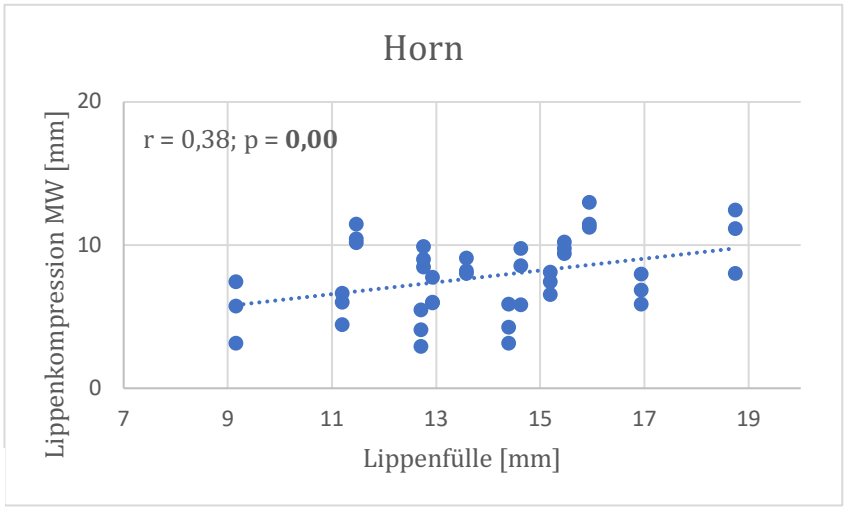
	Lippenkompression [mm]								
	Trompete [n=20]			**Horn** [n=14]			**Posaune** [n=16]		
	r	R^2	p	r	R^2	p	r	R^2	p
Lippenmorphologie:									
Lippenfülle [mm]	0,72	0,51	**0,00**	0,38	0,14	**0,00**	0,61	0,37	**0,00**
Lippentreppe [mm]	0,32	0,10	**0,00**	0,43	0,19	**0,00**	0,45	0,20	**0,00**
Dentale Parameter:									
Zahnbogensymmetrie 11 [mm]	-0,27	0,07	**0,00**	0,21	0,04	**0,02**	-0,09	0,01	0,29
Zahnbogensymmetrie 12 [mm]	-0,35	0,12	**0,00**	0,21	0,04	**0,02**	-0,18	0,03	**0,03**
Zahnbogensymmetrie 21 [mm]	-0,37	0,14	**0,00**	0,19	0,04	**0,03**	-0,23	0,05	**0,00**
Zahnbogensymmetrie 22 [mm]	-0,33	0,11	**0,00**	0,16	0,03	0,07	-0,16	0,03	**0,05**

Tabelle 14: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „Lippenkompression“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.

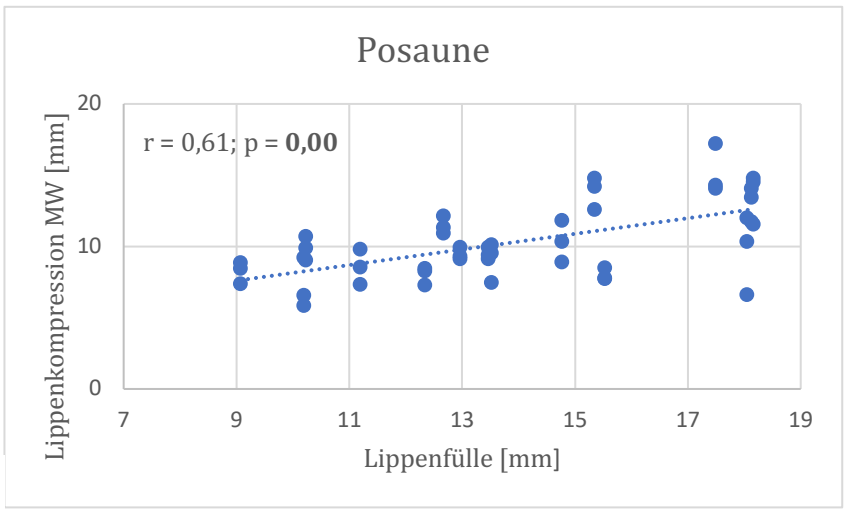
	Lippenkompression [mm]					
	Trompete [n=20]		**Horn** [n=14]		**Posaune** [n=16]	
R^2 marginal	0,70		0,28		0,44	
	Schätzwert	p	Schätzwert	p	Schätzwert	p
Lippenmorphologie:						
Lippenfülle [mm]	0,56	**0,00**	0,18	0,77	0,52	**0,04**
Lippentreppe [mm]	0,43	**0,05**	0,93	0,32	0,01	0,97
Dentale Parameter:						
Zahnbogensymmetrie 11 [mm]	-0,74	0,48	1,97	0,55	0,93	0,45
Zahnbogensymmetrie 12 [mm]	0,23	0,62	-0,63	0,72	0,15	0,82
Zahnbogensymmetrie 21 [mm]	-0,48	0,62	0,82	0,73	-1,21	0,23
Zahnbogensymmetrie 22 [mm]	0,83	0,17	-1,79	0,19	0,01	0,99



a



b



c

Abbildung 26 a, b und c: Abhängigkeit der „Lippenkompression“ in Millimetern [mm] von der „Lippenfülle“ in Millimetern [mm]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für die „Trompeter“ (a), „Hornisten“ (b) und „Posaunisten“ (c), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

3.2.1.6 Einfluss der Tonhöhe auf die Zielvariablen

Die Auswertung des Einflusses der Tonhöhe auf die Zielvariablen erfolgte anhand der Regressionsanalyse. Alle drei Instrumentengruppen zeigten eine statistisch

signifikante Korrelation der „vertikalen Mundstückposition“ mit der Veränderung der gespielten Tonhöhe. Die p-Werte der Oktavwechsel ausgehend der mittleren Tonhöhe weisen eine hochsignifikante statistische Korrelation ($p<0,01$) mit der Positionierung der „vertikalen Mundstückposition“ zum tieferen und höheren Ton auf (Tabelle 15). Abbildung 27 zeigt als Boxplot-Diagramm die „vertikale Mundstückposition“ der Musiker zu den drei gespielten Tönen.

Bei den Trompetern und Hornisten lässt sich hierbei eine weiter kranial sitzende Mundstückposition mit höherer Tonhöhe erkennen (Abbildung 27 a und b). Die Schätzwerte beschreiben eine mittlere Veränderung der „vertikalen Mundstückposition“ der Trompeter um 0,63 mm nach kranial beim Oktavwechsel von „g1“ zu „g2“. Für die Hornisten beschreibt der Schätzwert eine mittlere Veränderung von 2,10 mm nach kranial der „vertikalen Mundstückposition“. Beim Oktavwechsel zum tiefen Ton von „g1“ zu „g“ zeigte sich eine mittlere weiter kaudale Positionierung der vorderen Mundstückmitte bei den Trompetern um 0,9mm und für die Hornisten um 1,07 mm. Die Posaunisten hingegen durchbrechen die Systematik, da die „vertikale Mundstückposition“ auch zur hohen Oktave (Ton f1) weiter kaudal positioniert wird (Abbildung 27 c).

Die Evaluation der „transversalen Mundstückposition“ in Abhängigkeit mit der gespielten Tonhöhe ergab im Mixed-Effekt-Modell keine statistisch signifikanten Zusammenhänge mit der untersuchten Variablen.

Die Trompeter wiesen bei der Untersuchung der „transversalen Mundstückneigung“ eine statistisch signifikante Interrelation zum Tonwechsel in die höhere Oktave („g1“ zu „g2“) auf (Abbildung 28 a). Der Schätzwert beschreibt eine mittlere Zunahme des Winkels der „transversalen Mundstückneigung“ um 0,67° beim Wechsel in die höhere Oktave. Dies beschreibt eine stärkere Neigung des Instrumentes auf die rechte Seite der Musiker. Der Tonwechsel zur tiefen Oktave („g“) zeigte keine statistisch signifikante Interrelation. Die Ergebnisse zeigten ebenfalls keine statistisch signifikante Korrelation der „transversalen Mundstückneigung“ beim Oktavwechsel für die Hornisten und Posaunisten (Abbildung 28 b und c).

Die Trompeter und Posaunisten zeigten bei der Betrachtung der „sagittalen Mundstückneigung“ eine statistisch hochsignifikante Korrelation mit dem Wechsel zur tieferen Oktave ($p<0,01$) (Abbildung 29 a und c). Die Schätzwerte beschreiben bei den

Trompetern und Posaunisten einen im Mittel kleineren Winkel um 1,18° (Trompete) und 0,83° (Posaune). Demnach wird das Mundstück bei diesen Instrumentengruppen flacher angesetzt, wenn die tiefen Töne gespielt werden. Die Untersuchung des Oktavwechsels zum hohen Ton zeigte keine statistisch signifikante Interrelation.

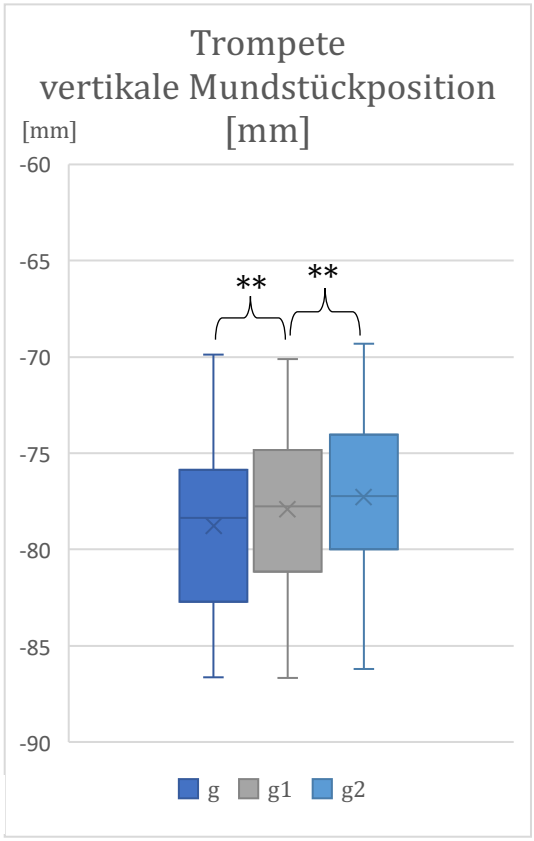
Die „sagittale Mundstückneigung“ der Hornisten zeigte im Mixed-Effekt-Modell bei beiden Oktavwechseln statistisch signifikante Anpassungen. Ausgehend der Neigung des Mundstücks der mittleren Oktave (Ton „g1“) wird der Winkel um 1,72 zur tiefen Oktave (Ton „g“) und um 1,6 zur höheren Oktave (Ton „g2“) vergrößert. Demnach wird das Instrument von den Hornisten in der mittleren Oktave im Vergleich zu den anderen Tonhöhen flacher gehalten (Abbildung 29 b).

Mit Hinblick auf die Oktavwechsel zeigte die „Lippenkompression“ bei allen drei Instrumentengruppen hochsignifikante statistische Korrelationen. Die Schätzwerte der Trompeter (-0,77) und Posaunisten (-1,23) zeigen eine stärkere „Lippenkompression“ beim Spielen des tieferen Tons durch Verkleinerung der Strecke zwischen dem Weichgewebspunkt Labrale superius und dem Schnittpunkt des Vektors der Randkonturebene des Mundstücks. Die Schätzwerte für die hohe Oktave (Trompete: 0,92 und Posaune: 0,95) beschreiben eine geringere Kompression der Lippen. Die Hornisten zeigten ebenfalls eine statistisch signifikante Korrelation, allerdings wurde entgegen den Trompetern und Posaunisten die „Lippenkompression“ auch beim Oktavwechsel zum tiefen Ton im Mittel um 1,26 mm reduziert.

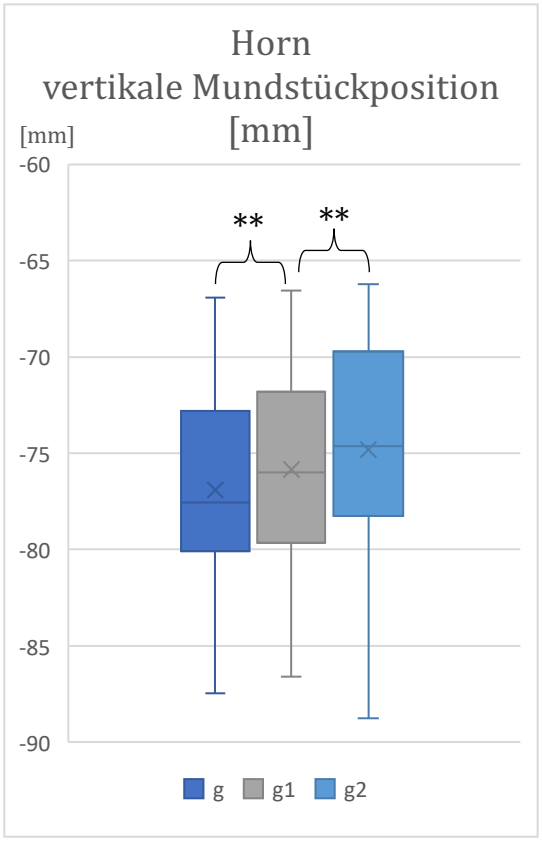
Abschließend zeigt Abbildung 30 zur Anschaulichkeit der Auswirkung der Veränderungen eine Scanaufnahme eines Trompeters mit drei unterschiedlichen Mundstückpositionen (g=türkis, g1=blau; g2=rot).

Tabelle 15: Darstellung der Ergebnisse der Tonhöhenunterschiede als Einflussvariablen für alle mundstückspezifischen Zielvariablen. Für die jeweilige Instrumentengruppe sind der Schätzwert und der p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben. Die Instrumente der Klasse A1 (Trompete und Horn) spielen als Ausgangston g1 und wechseln zum tiefen Ton (g) und zum hohen Ton (g2). Die Posaunen als Vertreter der Klasse A2 spielen als Ausgangston f, wechseln zum tiefen Ton (F) und zum hohen Ton (f1); Universitätsklinikum Ulm, 2022.

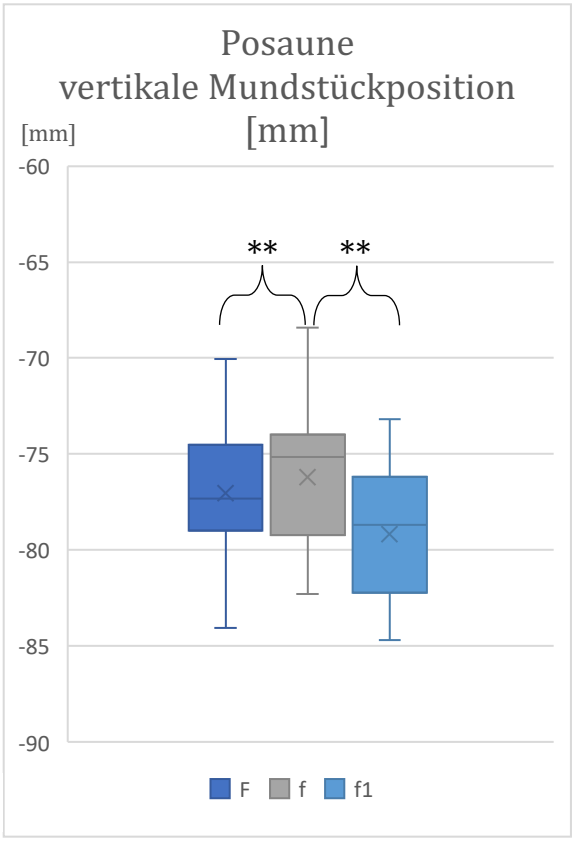
			Oktavwechsel zum tiefen Ton	**Oktavwechsel** zum hohen Ton
Vertikale Mundstückposition	Trompete [n=20]	Schätzwert	-0,90	0,63
		p	**0,00**	**0,00**
	Horn [n=14]	Schätzwert	1,07	2,10
		p	**0,00**	**0,00**
	Posaune [n=16]	Schätzwert	-2,11	0,85
		p	**0,00**	**0,00**
Transversale Mundstückposition	Trompete [n=20]	Schätzwert	0,12	0,13
		p	0,45	0,42
	Horn [n=14]	Schätzwert	-0,05	0,09
		p	0,81	0,68
	Posaune [n=16]	Schätzwert	0,09	0,28
		p	0,67	0,19
Transversale Mundstückneigung	Trompete [n=20]	Schätzwert	0,16	0,67
		p	0,51	**0,01**
	Horn [n=14]	Schätzwert	-0,55	-0,10
		p	0,17	0,81
	Posaune [n=16]	Schätzwert	-0,29	0,42
		p	0,29	0,13
Sagittale Mundstückneigung	Trompete [n=20]	Schätzwert	-1,18	0,69
		p	**0,00**	0,06
	Horn [n=14]	Schätzwert	1,72	1,60
		p	**0,00**	**0,00**
	Posaune [n=16]	Schätzwert	-0,83	0,25
		p	**0,01***	0,41
Lippenkompression	Trompete [n=20]	Schätzwert	-0,77	0,92
		p	**0,00**	**0,00**
	Horn [n=14]	Schätzwert	1,26	2,10
		p	**0,00**	**0,00**
	Posaune [n=16]	Schätzwert	-1,23	0,95
		p	**0,00**	**0,00**



a

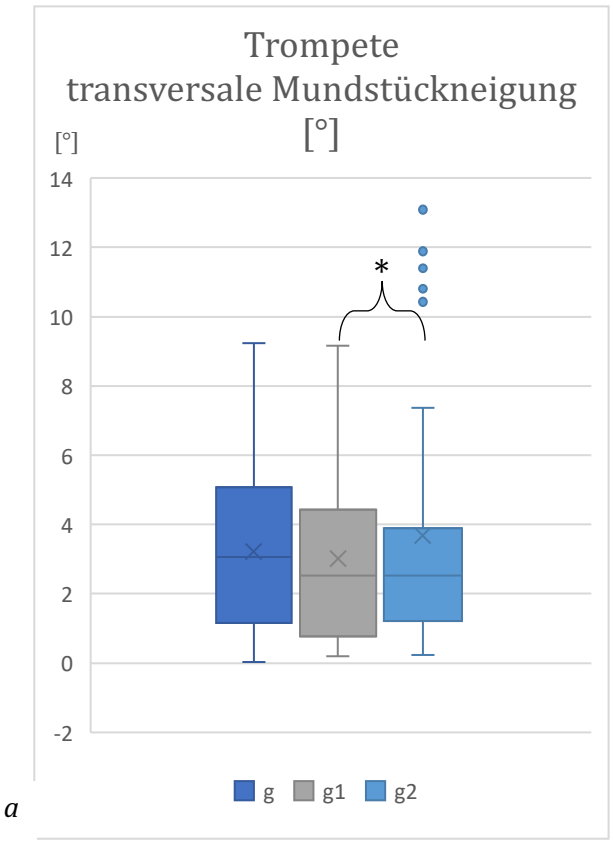


b

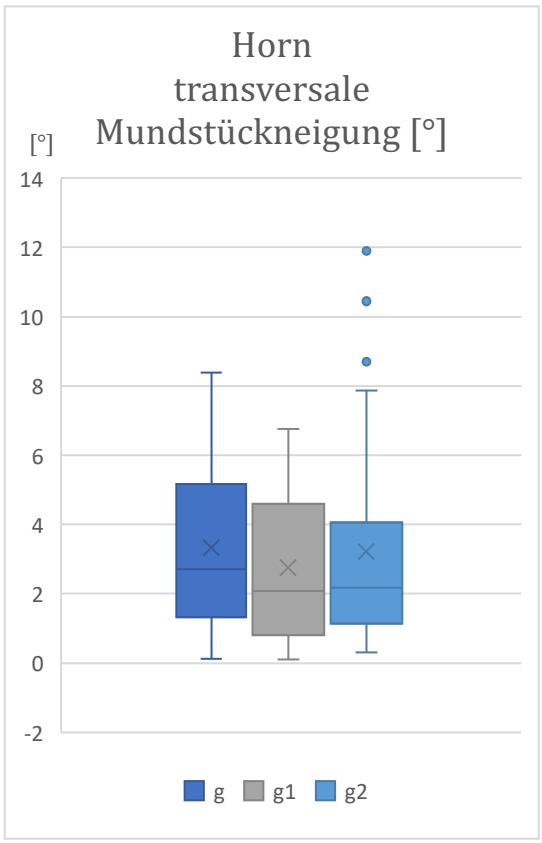


c

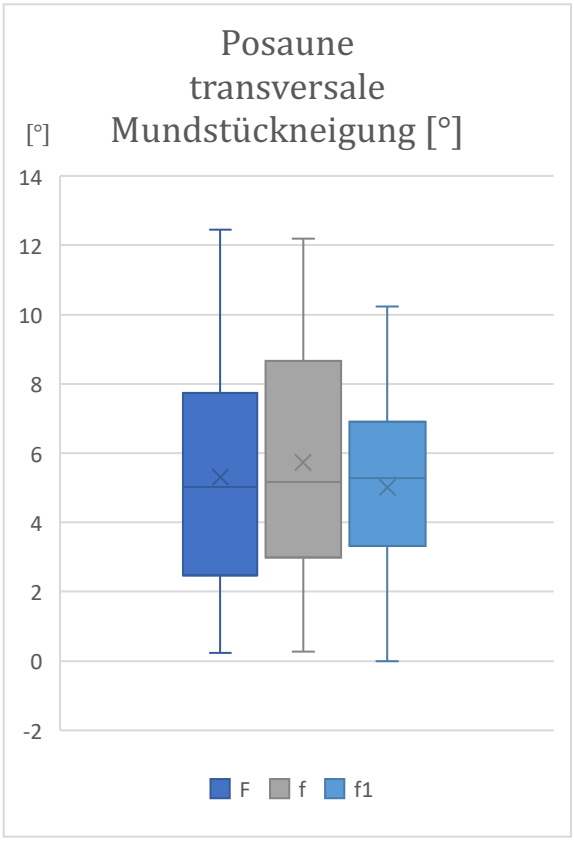
Abbildung 27 a, b und c: Boxplot Diagramme der vertikalen Mundstückposition in Millimetern [mm] der drei Instrumentengruppen „Trompete“ (a), „Horn“ (b) und „Posaune“ (c). Die mittlere graue Box stellt den Ausgangston dar und der Oktavwechsel wird zu dunkelblau (tiefer Ton) und hellblau (hoher Ton) dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei $p<0,05$. Statistisch signifikante Ergebnisse sind durch (*), statistisch hochsignifikante Ergebnisse durch (**) angegeben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.



a



b



c

Abbildung 28 a, b und c: Boxplot Diagramme der transversalen Mundstückneigung in Grad [°] der drei Instrumentengruppen „Trompete“ (a), „Horn“ (b) und „Posaune“ (c). Die mittlere graue Box stellt den Ausgangston dar und der Oktavwechsel wird zu dunkelblau (tiefer Ton) und hellblau (hoher Ton) dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei $p<0,05$. Statistisch signifikante Ergebnisse sind durch (*) angegeben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

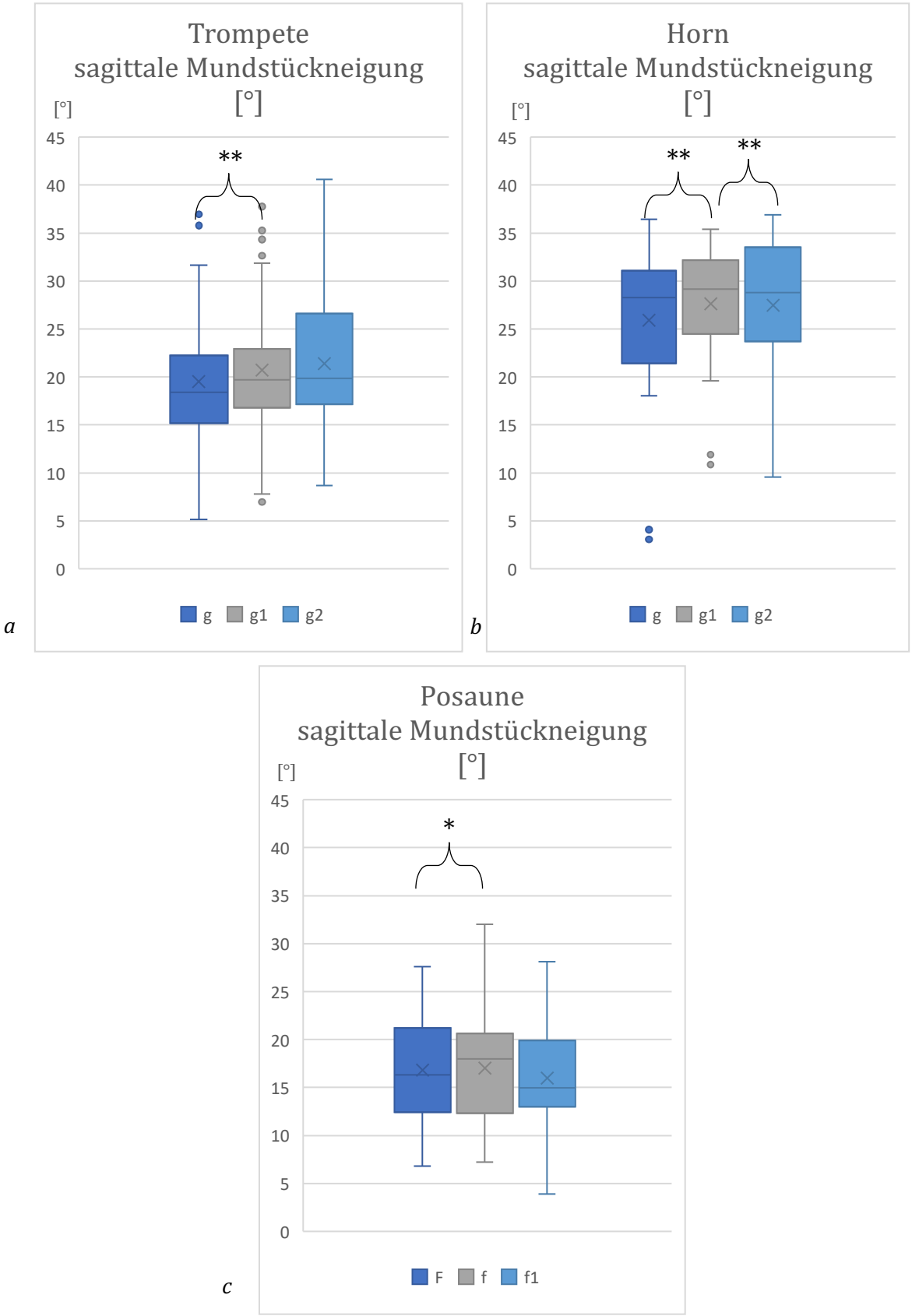


Abbildung 29 a, b und c: Boxplot Diagramme der sagittalen Mundstückneigung in Grad [°] der drei Instrumentengruppen „Trompete“ (a), „Horn“ (b) und „Posaune“ (c). Die mittlere graue Box stellt den Ausgangston dar und der Oktavwechsel wird zu dunkelblau (tiefer Ton) und hellblau (hoher Ton) dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei $p<0,05$. Statistisch signifikante Ergebnisse sind durch (*), statistisch hochsignifikante Ergebnisse durch (**) angegeben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.

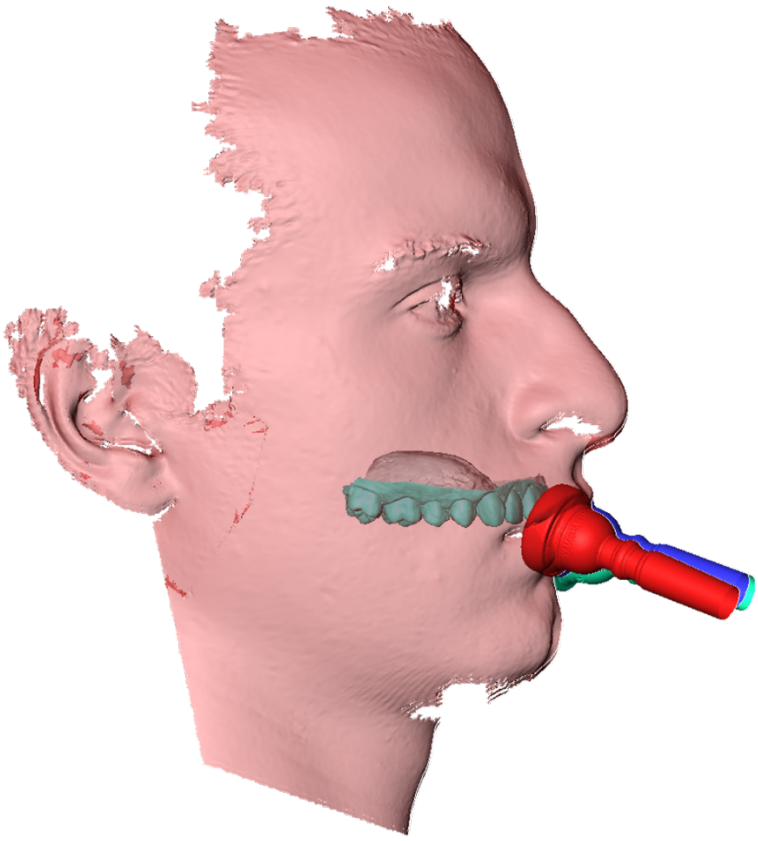


Abbildung 30: Darstellung eines Probanden der Gruppe Trompete in sagittaler Ansicht mit integriertem Oberkiefermodell und drei Mundstückpositionen. Der Ton g wird von der türkisfarbenen Mundstückposition repräsentiert, g1 von dem blau eingefärbten Mundstück und die höchste Tonlage g2 durch das rote Mundstück. Gut erkennbar ist der Unterschied der weiter kranialen Positionierung der türkisenen Position zu der der Roten und die sagittale Neigungsänderung von flach (g- türkis) zu steiler (g2- rot), Universitätsklinikum Ulm, 2020.

4 Diskussion

Die Ergebnisse des Frage- und Befundbogens zeigen die Relevanz des stomatognathen Systems für Musiker, die sich intensiv mit ihrem Ansatz zur individuellen Tonbildung auseinandersetzen und einer dauerhaften, intensiven und präzisionsgenauen Belastung dieses Körperareals ausgesetzt sind. Bei der Auswertung der Regressionsanalyse mittels Mixed-Effekt-Modell lassen sich u.a. eine statistisch signifikante Korrelation der inzisalen Kante der Oberkiefer-Schneidezähne, sowie der Steigung des anterioren Gaumenverlaufs mit der longitudinalen Ausrichtung des Mundstücks nachweisen. Die Lippenphysiognomie beeinflusst die transversale Neigung des Mundstücks und zeigt Wechselbeziehungen mit der Lippenkompression. Zusätzlich zeigt die gespielte Tonhöhe eine deutliche Korrelation mit der Instrumentenpositionierung. Der Vergleich der Ergebnisse zwischen den einzelnen Instrumentengruppen zeigt bei manchen Parametern abweichende statistische Signifikanzen, die auf die unterschiedlichen Größen und der daraus resultierenden Haltung der Instrumente und Kesselmundstücke zurückzuführen sind.

Die Tonerzeugung bei Blechbläsern basiert auf einem komplexen Zusammenspiel, um die Luftsäule im Instrument durch den Musiker in Schwingung zu setzen und zu halten [158]. Dabei können sich kleinste Veränderungen auf die Haltung und die Tonqualität auswirken [83, 158, 159]. Mit den modernen dreidimensionalen Scantechniken entstehen neue Perspektiven für eine Datenerhebung, ohne den Musiker während des Spielens zu beeinträchtigen. Im Vergleich zu früheren Studien lässt der dreidimensionale Gesichtsscan eine normale Spielposition der Musiker zu, da Orchestermusiker meistens in einer sitzenden Position musizieren [79, 82]. Dies ermöglicht einen realitätsnahen Versuchsaufbau.

Für die dentale Datenerhebung wurden Gipsmodelle der Probanden digitalisiert und im Nachhinein in den dreidimensionalen Datensatz integriert. Die Übertragung des Unterkiefers erfolgte dann in der Schlussbissposition über ein Wachsbissregistrat. Da für die Versuche eine unbeeinträchtigte Spielposition wichtig war, wurde keine Messung der Unterkieferlage während des Spielens durchgeführt. Die Lage des Unterkiefers wird über Bewegung im Kiefergelenk verändert, welches als Gelenktyp ein doppelgelenk-wirkendes Drehscharniergelenk ist [9]. Als Trochoginglymus ermöglicht das Kiefergelenk Scharnier-, Translations-, Schiebe- und Mahlbewegungen

[9]. Beim Musizieren sind die Zähne in Nonokklusion und durch Vor- oder Rückschub des Unterkiefers werden die Lippen übereinander zur Tonerzeugung platziert [158]. Da die veränderte Spielposition des Unterkiefers ohne einen erneuten Übertragungsschlüssel nicht in den Datensatz integriert werden kann, wurde auf die Auswertung des Unterkiefers verzichtet. Für eine Beurteilung der Beeinflussung des Ansatzes durch die Stellung der Unterkieferzähne, der Lage des Unterkiefers und besonders der Lage der Zunge müssen weitergehende Untersuchungen durchgeführt werden. Für die digitale Modellanalyse eignen sich – wie in dieser Studie angewendet – digitalisierte Gipsmodelle, sowie direkt digitale intraorale Scans [21]. Im letzten Jahrzehnt lässt sich eine deutliche Entwicklung der digitalen Scanmethodik feststellen [1, 7, 40, 133]. Durch Anwendung dieser Methode in Folgestudien könnte der Zwischenschritt der Digitalisierung von herkömmlichen Gipsmodellen entfallen, welcher ein Risiko von Übertragungsungenauigkeit birgt.

Bewertet man die Studienlage der Musikermedizin zu den Blechbläsern zur Geschlechterverteilung, überwiegt das männliche Geschlecht [49, 75, 88, 111, 146, 162]. Dies lässt sich mit der Realität in Orchestern abgleichen, bei denen die Blechblasinstrumente traditionell eher von Männern gespielt werden [67]. Hier geben die Daten von Himmelbauer einen mittleren Frauenanteil von 0,74% bei den Posaunisten, 1,32% bei den Trompetern und einen vergleichsweise hohen Anteil mit 10,39% bei den Hornisten für Berufsmusiker an [67]. In der vorliegenden Studie lässt sich eine ähnliche Tendenz feststellen, wobei die Gruppe der Hornisten mit 42,86% eine deutlich höhere Anzahl von Musikerinnen enthält. Diese Zahl an teilnehmenden Hornistinnen kann durch das geringere Durchschnittsalter dieser Stichprobe im Vergleich zu den Trompetern und Posaunisten erklärt werden. Die Probanden aus der HDMK waren mehrheitlich junge Studentinnen mit dem Hauptfach Horn und erklären die hohe Teilnehmerinnenzahl in dieser Stichprobe. Der Gesamtanteil der weiblichen Teilnehmer liegt bei 20%. Aufgrund der Gesamtprobandenzahl von n=50 war eine geschlechterspezifische Auswertung nicht angezeigt.

Als mittlere Spieldauer wurde von den Studienteilnehmern 20 Stunden pro Woche angegeben. Ähnliche Zeitangaben lassen sich mit der Literatur bestätigen [93, 131, 140, 162]. Es zeigte sich eine geringere Spieldauer bei den Musikern der Klasse A2 im Vergleich zur Klasse A1. Trompeter und besonders Hornisten haben in einer Orchesterpartitur oftmals Soli mit hohen Tönen und herausstechenden Motiven. Die

Kunst, diese hohen Töne exakt zu treffen bedingt eine tägliche und ausdauernde Spielpraxis der Musiker und erklärt die etwas höher gelegene Durchschnittspieldauer der Klasse A1 im Vergleich zu der Klasse A2 [38, 96].

In der vorliegenden Studie waren keine Teilnehmer eingeschlossen, die eine fokale Dystonie aufweisen. Obwohl diese Erkrankung keine zentrale Fragestellung in dieser klinischen Studie darstellt, wurde über spezifische Fragen zum Ansatz ein kurzer Überblick des subjektiven Ansatzgefühls der Musiker erstellt. Hierbei beschrieben 36% der Befragten Verspannungen der Lippenmuskulatur. Zusätzlich beantworteten 43% der Hornisten die Fragen nach Ansatzproblemen positiv. Auf Basis der aktuellen Studienlage zur fokalen Ansatzdystonie sind diese Ergebnisse nachvollziehbar und weisen die hohe Belastung des stomatognathen Systems beim Blasinstrumentenspiel durch hohe Präzision, täglichem Üben und der dauerhaften Beanspruchung des Muskelareals auf [38, 86, 129, 148].

Die morphologische Befundung der Lippen zielte auf makroskopisch sichtbare pathologische Veränderungen der Lippenhaut aus. Hierfür wurden diese extra- und intraoral befundet. Bei 54% der teilnehmenden Musiker ließ sich eine trockene oder rissige Lippenhaut feststellen. Impressionen, Narben und Rötungen zeigten 72% der Probanden. Rötungen waren vor allem bei den Trompetern sichtbar (50%). Im Abgleich mit der Literatur lassen sich diese Befunde bestätigen. Schon im Jahr 1924 berichtete der Zahnarzt Reichenbach über den Anpressdruck des Mundstückes, der „zu einem den Größenverhältnissen des jeweiligen Mundstückes entsprechenden Bezirk[s] an der Innenseite der Ober- und Unterlippe“ führe, welcher bei allen Blechbläsern „in chronischer Weise verändert“ sei [93, 124]. Viele weitere Studien beschreiben an Hand von Einzelfällen die morphologischen Veränderungen durch den engen Kontakt zwischen Mundstück und Lippen [24, 50, 51, 78, 79, 93, 101, 114, 139–141].

Hinsichtlich craniomandibulären Dysfunktionen (CMD) führten Attallah et al. 2014 eine systematische Literaturanalyse durch, um die Frage zu beantworten, ob eine Relation von temporomandibulären Erkrankungen und dem Spielen eines Musikinstrumentes vorhanden ist [8]. Eine weitere Übersichtsarbeit führten 2017 van Selms et al. durch [152]. Die Autoren beider Metastudien kamen zu dem Ergebnis, dass sich keine evidenzbasierte Aussage für einen Zusammenhang von CMD bei Musikern

treffen lässt [8, 152]. Das Ergebnis des Funktionsstatus in der vorliegenden Studie ist mit der Literatur übereinstimmend und lässt keine Rückschlüsse oder Verbindungen zwischen craniomandibulären Störungen und dem physikalischen Blasinstrumentenspiel zu. Die psychische Belastung, die viele Berufsmusiker beispielweise durch das Rampenlicht auf der Bühne verspüren, kann durchaus mit muskulären Verspannungen in Verbindung gebracht werden, gehörte allerdings nicht zu den Fragestellungen dieser Studie [14, 18, 131].

In Bezug auf die periodontale Gesundheit mit den Aspekten Zahnstellungsveränderung und Zahnbeweglichkeit mit alveolärem Knochenverlust durch das regelmäßige und professionelle Blasinstrumentenspiel lässt sich eine Heterogenität in der Literatur feststellen. Borchers et al. untersuchten 1995 in ihrer Studie über die Veränderung der Zahnstellung und Messung der Kräfte beim Blasinstrumentenspiel Trompeter, Hornisten und Tubisten [23]. Es wurden vom Mundstück ausgehende Kräfte von 29 Newton bei den Tubisten und bis zu 50 Newton bei den Trompetern gemessen. Die Veränderung der Zahnstellung beim Spielen lag zwischen 43 und 100 µm [23]. In einer zweijährigen Studie von Hermann 1981 wurde die Veränderung der Zahnstellung durch das Blasinstrumentenspiel untersucht [65]. Hierbei wurde an fünf Schulen in New York City der dentale Befund von Kindern zwischen 11 und 13 Jahren mithilfe von Fragebögen, Interviews, intraoralen Befundungen und dentalen Gipsmodellen je nach einem und zwei Jahren aufgenommen. Der Autor fand eine statistisch relevante Veränderung der Stellung der mittleren Schneidezähne der Kinder, die ein Musikinstrument spielten im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Blasinstrumentenspiel [65]. Weitere Studien zur Zahnstellung bei Jugendlichen in Bezug zum Erlernen eines Blasinstruments wurden mit vergleichbaren Ergebnissen veröffentlicht [17, 55–57, 64, 78, 98, 100, 103]. Im Hinblick auf die Veränderung der Zahnstellung durch das Blasinstrumentenspiel ermöglicht dieses Studiendesign keine Aussage, da der Istzustand der Musiker untersucht wird und keine Verlaufsstudie durchgeführt wurde. Bei der Betrachtung der Mittelwerte der Kroneninklination, die als Winkel der Zahnlängsachse der Zähne 11 und 21 mit der Frankfurter Horizontalen definiert ist, zeigt sich keine Auffälligkeit zwischen den einzelnen Instrumentengruppen (Trompete: 49,77°; Horn: 49,27°; Posaune: 51,66°). Ebenso zeigen die Ergebnisse der Zahnbogensymmetrie der mittleren und seitlichen oberen Schneidezähne in allen drei Instrumentengruppen keine signifikanten Unterschiede.

Zusammenfassend kann angenommen werden, dass der vorliegende Probandenpool keine gehäufte Zahnstellungsanomalie aufweist.

1999 wurde in Schweden eine Untersuchung zur parodontalen Knochenhöhe bei 244 Musikern durchgeführt [146]. Davon waren 87 Teilnehmer Blasinstrumentalisten. Die anfänglichen Aufnahmen, sowie die auf zehn Jahre ausgelegten Ergebnisse der Längsschnittstudie zeigten keine signifikanten Unterschiede der Blasmusiker im Vergleich zu Musikern anderer Instrumentengruppen bezüglich der periodontalen Knochenhöhe, die mit einer erhöhten Zahnbeweglichkeit einhergeht [146]. Diese Aussage bestätigt die Übersichtsarbeit von Lapatki von 2010 [83]. Seidner berichtet hingegen 1970 in einer Untersuchung einen deutlichen Unterschied der periodontalen Gesundheit der Blechbläser im Vergleich zu den Holzbläsern [140]. Er beschreibt einen klinisch und röntgenologisch nachweisbaren Abbau des Alveolarknochens bei 75% der untersuchten Blechbläser und nur bei 17% der Holzbläser [140]. Bei Betrachtung der zeitlichen Komponente der Studienlage fällt auf, dass besonders neuere Studien keine Nachweise für einen direkten Zusammenhang der periodontalen Schädigung durch das Blasinstrumentenspiel aufstellen. Hierbei darf die allgemein steigende Bewusstheit für die Mund- und Zahngesundheit in der Bevölkerung nicht außer Acht gelassen werden [71]. Beim vorliegenden Studiendesign stellt sich die Frage, wie der Einfluss des Blasinstrumentenspiels auf die periodontale Gesundheit der Musiker in einer Momentaufnahme beschrieben werden kann. Der Periotest wurde für eine objektive Bewertung der Zahnbeweglichkeit und der Osseointegration von Implantaten entwickelt. Das Messverfahren des Periotests gilt als etabliert und wird erfolgreich in der Diagnostik der parodontalen Gesundheit angewendet [89]. Betrachtet man die Ergebnisse des Periotests der vorliegenden Studie, zeigt sich, dass die Mittelwerte der Messungen Werte zwischen -2,12 und +4,13 annehmen und damit im Vergleich mit der vom Hersteller angegeben Skala keine Auffälligkeiten in der Beweglichkeitsmessung wiedergeben [95]. Die in den Ergebnissen dargestellte höhere Festigkeit der Eckzähne im Ober- und Unterkiefer im Vergleich zu den mittleren und seitlichen Schneidezähnen lässt sich durch die anatomisch bedingte lange Wurzeloberfläche und große Pfeilerwertigkeit der Eckzähne erklären [118]. Bei drei Probanden ließen sich Einzelmessungen in den Unterkieferfrontzähnen von über +10 feststellen, wobei der Maximalwert bei +14 lag. Dies entspricht einem Mobilitätsgrad I, der keinen Behandlungsbedarf vorsieht. Basierend auf den objektiven Messergebnissen der

Periotestung lässt sich das Ergebnis von Seidner, dass das Blasinstrumentenspiel die parodontale Gesundheit beeinflusst, nicht bestätigen. Die Zahnbeweglichkeiten zeigten zudem keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die unterschiedlichen Instrumentengruppen. Da die Zahnbeweglichkeit häufig mit erhöhten Sondierungstiefen und periodontalem Knochenverlust einhergeht, bestätigen diese Ergebnisse die Aussage der schwedischen Untersuchung von Stamatakis et al. und weiteren [83, 146]. Die aktuelle Studienlage zeigt keine Studien, die die Zahnbeweglichkeit der Blechblasmusiker direkt untersuchten. Für einen genauen Vergleich der Ergebnisse der Probanden mit den Angaben der Literatur zur alveolären Knochenhöhe bei Blechblasmusikern, wären röntgenologische Aufnahmen der Frontzähne erforderlich, was aus ethischer Hinsicht nicht möglich ist.

Für die Evaluierung der Auswertungssoftware zeichnen die Ergebnisse der Pilot- und Vorstudien die Methode als valide und reproduzierbar aus [53, 121]. Die aktuelle Studienlage zum Thema der wechselseitigen Lagebeziehung zwischen Mundstück und stomatognathem System umfasst keine direkt vergleichbaren Arbeiten mit dieser Methodik. Eine Dissertation aus dem Jahre 1997 untersuchte mittels Gesichtsbogen die sagittale und transversale Mundstückpositionen mit unterschiedlichen Weichgewebs- und dentalen Punkten [82]. Hierbei wurde eine signifikante Interrelation zwischen dem Trompetenneigungswinkel und Parametern des Luftstroms festgestellt. Der Versuchsaufbau bedingte allerdings eine Beeinflussung der Musiker bei der Spielpraxis, da die Zusammenhänge während des Spielens metrisch erfasst wurden und die Musiker ihr Instrument in der Position starr hielten. Für die Datenerhebung der Gesichtspunkte wurde ein dreidimensional bewegbares System mit dem Gesichtsbogen verbunden und über einem der Trompetenlängsachse parallelen Stab wurde mittels Winkelmessers, der am Gesichtsbogen angebracht war, der sagittale Trompetenneigungswinkel bestimmt. Der Versuchsaufbau lässt die Vermutung zu, dass die Probanden hierbei in ihrer gewohnten Spielpraxis eingeschränkt waren [82]. Hingegen liegt der Vorteil dieser Studie im Versuchsaufbau durch die Datenerhebung mittels dreidimensionaler Scans beim praxisnahen Musizieren.

Die Auswahl der Landmarken der dreidimensionalen Gesicht- und Kiefermodellanalyse folgt gängigen Vorgaben [44, 70, 90, 91, 115, 121, 128]. Die konstruierten Ebenen und Winkel zur Auswertung mit dem Instrument wurden auf Basis der bestehenden Landmarken angepasst. Für die Mundstückanalyse wurde die

Position über das Mundstück-Koordinatensystem festgestellt und die eigentliche Form des Mundstückes nicht berücksichtigt oder ausgewertet. Das Studiendesign zielte darauf ab, lippenmorphologische, Gaumen- und dentale Parameter zur Lagebeziehung beim Blechblasmusizieren zu untersuchen. Über Limitationen durch die Anzahl der Stichprobe und des Studiendesigns lassen sich nur bestimmte Einflussvariablen mit der Zielvariablen (Mundstückposition) in Korrelation setzen. Bei der daraus notwendigen Reduktion auf die ausgewerteten Variablen der verschiedenen Komponenten des stomatognathen Systems wurden mittels Pearson-Korrelation die vermutlich relevanten und sinnvollen Verbindungen zwischen Zielvariablen und anatomischen Parametern ausgewählt (vgl. 2.7). Der Pearson-Korrelationskoeffizient betrachtet die Werte einer Einflussvariablen für die jeweilige Zielvariable. Die Tonerzeugung besteht aus einem komplexen System und einzelne anatomische Variablen sollten daher nicht isoliert betrachtet werden. Eine isolierte Betrachtung verfälscht die Relevanz einzelner Variablen und würde bspw. eine Signifikanz beschreiben, die klinisch nicht realistisch erscheint. Im Prozess der Rückwärtsselektion zur Auswahl der Einflussvariablen wurde besonders im Hinblick zur Gaumenanatomie eine ausführliche Auswertung durchgeführt. Dabei fiel bei gemeinsamer Betrachtung des Gaumenverlaufs mit dem Gaumenhöhenindex ein ausgeprägter Auslöschungseffekt auf. Durch diese gegenseitige Beeinflussung wurde auf die Auswertung der Gaumenhöhe verzichtet, um den Einfluss der Steigung des Gaumens beurteilen zu können. Die in der Regressionsanalyse mittels Mixed-Effekt-Modells berechneten Schätzwerte berücksichtigen alle im Modell eingeschlossenen Einflussvariablen pro Zielvariable und wurden nicht einzeln in einem gesonderten Modell ausgerechnet. Die folgende Beurteilung der Ergebnisse der Mundstückpositionierung folgt keinen aus der Literatur bekannten Korrelationen und Angaben, weshalb hier die Vergleichbarkeit zur aktuellen Studienlage ausbleiben muss.

Bei der vertikalen Ausrichtung des Mundstücks zeigt sich eine signifikant nachweisbare Ausrichtung nach der Schneidekante der Oberkiefer-1er in allen drei Instrumentengruppen. Diese Anpassung lässt sich durch die Tonentstehung bei den Blasinstrumenten erklären. Die zur Tonerzeugung benötigte Luftsäule wird durch die Lippen des Musikers in Schwingung gebracht. Diese Luftsäule beginnt nicht im Instrument, sondern wird durch das Zusammenspiel der Atemmuskeln, des

Kehlkopfes, der intra- und perioralen Muskulatur generiert, beeinflusst und in das Instrument weitergegeben. Das System ist dabei von einer abgedichteten Verbindung vom Mundstück zu den Lippen abhängig. Diese Abdichtungsfunktion wird unter anderem bei der Erkrankung der Ansatzdystonie eingeschränkt [4, 5]. Die Lippen liegen auf den vestibulären Flächen der Schneidezähne auf und besonders bei Tönen der höheren Lagen werden diese an die Zähne gedrückt und rollen sich um die inzisalen Kanten [158]. Daher wird die vordere Mundstückmitte unbewusst an der Position der Schneidekanten platziert, um ein möglichst störungsfreies Schwingen der Lippen zu ermöglichen.

Für die Trompeter zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang der vertikalen Mundstückposition zur Steigung des anterioren Gaumens. Hierbei kann man zusammenfassen, dass ein steilerer Verlauf des anterioren Gaumens eine kraniale Positionierung des Mundstückes bewirkt. Der Luftstrom folgt dem Gaumenverlauf und wird kanalisiert, um in das Mundstück weitergegeben zu werden. Damit zeigt die Abhängigkeit des Gaumenverlaufs, dass der Eintrittswinkel des Luftstroms in das Instrument für die Tongebung und dadurch für den Musiker relevant ist. Die Werte für die Hornisten und Posaunisten zeigten keine statistisch nachweisbare signifikante Korrelation und der Pearson-Korrelationskoeffizient beschreibt eine große Streuung der Punktwolken. Entgegen der Vermutung, dass zusätzlich zum Gaumenverlauf die palatinale Form der mittleren Inzisivi für den Verlauf des Luftstroms und dadurch für die Position des Mundstücks von Bedeutung ist, zeigt sich bei den dentalen Parametern keine signifikante Korrelation zur longitudinalen Ausrichtung des Mundstücks. Bei Betrachtung der Werte der drei Instrumentengruppen lässt sich dabei eine ähnliche Tendenz feststellen.

Bei den Ergebnissen der „transversalen Mundstückposition“ müssen die Unterschiede in der Mundstückform zwischen Klasse A1 und A2 betrachtet werden. Der deutlichste Unterschied der Mundstücke der Instrumentengruppen liegt in der Größe. Das Mundstück der Instrumentenklasse A2 hat einen deutlich größeren Durchmesser, als das der Klasse A1. Die Kontaktfläche ist damit größer und das Posaunenmundstück liegt mit der Randkontur nur an bestimmten Stellen direkt auf den Lippen auf. Die Lagebeziehung zwischen Randkontur und Lippe bei den Mundstücken von Trompete und Horn ist hingegen deutlich enger. Dies kann als Erklärung angesehen werden, weshalb die Einflussparameter „Oberlippenmitte“ und „Lippensymmetrie“ für die

„transversale Mundstückposition“ nur für die Instrumentengruppe A1 eine statistisch nachweisbare signifikante Interrelation zeigen. Die Posaunisten, als Vertreter der Klasse A2, zeigten keine statistisch signifikanten Korrelationen. Zusammenfassend reagieren die Mundstücke der Trompeten und Hörner sensitiv auf die Lippenform.

Bei der „transversalen Mundstückneigung“ lässt sich diese Aussage der „transversalen Mundstückposition“ über die Weichteilanatomie für die Trompeter übernehmen. Beide in Korrelation gesetzten lippenmorphologischen Parameter zeigen statistisch nachweisbare signifikante Korrelationen für die transversale Neigung, was eine Beeinflussung durch ungleich geformte Lippen bedeutet. Bei einer asymmetrischen Lippenform wird das Instrument auf die Seite, die sagittal weiter anterior liegt, geneigt. Man könnte davon ausgehen, dass der Musiker versucht, die Asymmetrie zu kompensieren um eine nach vorne gerade Ausrichtung des Instrumentes zu gewährleisten. Die Vermutung, dass die Lippen symmetrisch komprimiert werden und demnach eine Ausrichtung zur weiter posterior gelegenen Seite vorliegt, kann nicht bestätigt werden.

Die nicht signifikanten Werte der Lippenmorphologie auf die Neigung für die Instrumentengruppe Horn im Vergleich zur „transversalen Mundstückposition“ erklären sich durch die Gesamtgröße und die daraus resultierende Haltung des Instrumentes. Die mittlere Rohrlänge ohne Ventilbeeinflussung bei einer B-Trompete beträgt von der Mundstückzwinge bis zum Schallbecher, auch Stürze genannt, 1,38 m [123]. Beim Horn hingegen liegt die Rohrlänge zwischen Mundstück und Schalltrichterende je nach Instrumentenstimmung bei 2,83 m (B-Horn) und 3,78 m (F-Horn) [27]. Bei einem Doppelhorn, das durch seine höhere Tonsicherheit sowie der größeren klanglichen und intonatorischen Möglichkeiten als Standardinstrument in den heutigen Orchestern gespielt wird, kann die Rohrlänge um knapp 100 cm über ein Haupt-Schaltventil verändert werden [27]. Die Form des Horns bedingt eine spezielle Haltung des Instruments. Üblicherweise wird die rechte Hand des Musikers im Schalltrichter platziert, die Linke bedient die Ventile. Das stomatognathe System scheint dabei die seitliche Neigung des Instrumentes nicht so stark zu beeinflussen, wie bei der vom Mundstück nach vorne ausgerichteten Trompetenhaltung. Für die Posaunisten lassen sich bei dieser Zielvariablen ebenfalls keine statistisch signifikanten Ergebnisse feststellen. Bei dieser Instrumentengruppe beeinflussen ebenfalls die Größe, die Form und das Gewicht die Haltung. Das Mundstück ist deutlich

größer und Strukturen der Lippenmorphologie haben keine statistisch nachweisbaren Korrelationen mit der Haltung des Instrumentes. Die Posaune wird auf der linken Schulter mit der linken Hand fixiert und die rechte Hand führt den Zug der Posaune.

In der sagittalen Betrachtung korreliert die „Lippentreppe“ als lippenmorphologischer Parameter mit der Neigung der Hörner. Das Mundstück wird von den Hornisten steiler angesetzt bei größerer Lippentreppe, also bei weiter distal liegender Unterlippe. Dies erklärt sich über die leicht kaudal gerichtete Haltung des Instrumentes. Bei einer größeren „Lippentreppe“ wird das Instrument steiler ausgerichtet als bei einem geringen Unterschied der äußeren Lippenkontur in der Sagittalen. Die Mundstückform der Hörner unterscheidet sich in der Form zu denen der Trompeten und in der Größe und in der Form zu den Posaunenmundstücken. Die Trichtermundstücke der Hörner haben nicht die blechblastypische Becherform und haben einen deutlich geringeren Durchmesser der Randkontur. Im Formvergleich kann man diese Trichtermundstücke daher als graziler beschreiben. Für die Tonerzeugung werden die Lippen übereinander gebracht, damit sie als Schwingungsgenerator fungieren können und dichten das Mundstück ab [48, 83, 105]. Bei größerer Lippentreppe, wie es beispielsweise bei einer Angle Klasse II auftreten kann, wird durch die Neigung des Mundstücks der Vorschub der Unterlippe kompensiert [154]. Die grazile Form der Trichtermundstücke kann eine mögliche Erklärung für die deutliche „Lippenform-Sensitivität“ der Hornisten sein.

Der Gaumenverlauf beschreibt die Form des Mundhöhlendachs. Die Luft wird an dieser Form entlang kanalisiert. In einer Studie 1984 wurde der Zusammenhang mit dem Mundstückneigungswinkel zum Zungenwinkel untersucht, der allerdings von den Autoren als nicht korrelierend bewertet wurde [82]. Der Luftstrom verläuft von kaudal nach kranial und orientiert sich damit an der Form des Gaumens [82]. Für die Bestätigung der Hypothese, dass die Instrumentenneigung der Gaumenhöhe und -form angepasst wird, wurden unterschiedliche Parameter für die Gaumenanalyse ausgewählt. Der Methode der Rückwärtsselektion als Auswahl für die Einflussvariablen folgend, wurden zu Beginn der statistischen Auswertung weitere Gaumenvariablen ausgewertet. Die posteriore Form des Gaumens zeigte keine statistisch relevante Korrelation in der Pearson-Analyse, beeinflusste im Mixed-Effekt-Modell allerdings mit Auslöschungseffekt die Ergebnisse der anterioren Verbindungslinien, weshalb die Auswertung des posterioren Gaumens (auf Höhe der ersten Prämolaren bis Ende der Gaumennaht am Übergang zum weichen Gaumen) aus

dem Auswertungsmodell ausgeschlossen wurden. Die Gaumenhöhe, gemessen auf der Raphe mediane palatinae auf Höhe der ersten Molaren, zeigte eine ähnliche Beeinflussung des anterioren Gaumenverlaufs und wurde ebenfalls aus dem Modell ausgeschlossen, da bei Integration der Gaumenhöhe und des anterioren Gaumenverlaufs in das Modell ebenfalls ein Auslöschungseffekt zu beobachten war. Die signifikante Korrelation der Hornisten zum anterioren Gaumenverlauf zeigt eine steilere Instrumentenneigung bei flacherer Gaumensteigung. Schematisch betrachtet wird durch dieses Anpassen der Lufteintrittswinkel in das Instrument beeinflusst. Ein flacherer Gaumen mit einem flach positionierten Instrument bedingt einen großen Lufteintrittswinkel. Durch die steilere Haltung wird dieser Winkel bei einem flachen Gaumenverlauf nun verkleinert. Diese Anpassung des Lufteintrittwinkels ist bei einem steileren Gaumenverlauf ebenfalls erkennbar. Zusätzlich zeigen die Neigungen der mittleren Inzisivi eine Korrelation mit der Mundstückneigung bei den Hörnern. Die „Kroneninklination“ beschreibt die Neigung der mittleren Frontzähne im Gesicht. Die Ergebnisse zeigen statistisch signifikante Werte für die „Kroneninklination“ beider mittlerer Frontzähne mit einer hohen Faktorsensibilität. Dies kann mit dem graziler und schmaler gestalteten Hornmundstück erklärt werden. Durch die schmale Auflagefläche und einen bestimmten Lufteinstromwinkel für die erwünschte, diffizil entstehende Tonqualität des Musikers, korreliert eine protrudierte „Kroneninklination“ der Frontzähne mit einer flacheren Mundstückneigung. Durch das flachere Ansetzen wird die Randkonturebene mehr den vestibulären Flächen der mittleren Schneidezähne angepasst und die Lippen können ihrer Rolle als Schwingungsgenerator nachgehen, ohne durch die möglicherweise hervorstehenden Schneidekanten protrudierter Frontzähne gestört zu werden.

Die ausladenden Bechermundstücke von Trompete und Posaune erklären die nicht signifikanten Ergebnisse möglicher Korrelationen der Weichteilparameter zur sagittalen Neigung des Instruments. Die Randkontur der Trompetenmundstücke ist breiter als die der trichterförmigen Hornmundstücke. Die Auflagefläche ist daher vergrößert und die anatomischen Einflussgrößen haben eine geringere Auswirkung auf die Haltung des Instruments. Bei den Posaunisten hat das Mundstück einen deutlich größeren Durchmesser und bildet daher eine andere Auflagefläche an der perioralen Morphologie.

Die Kompression der Lippen der Musiker wurde nur auf mathematisch-theoretischer Basis betrachtet, da der Versuchsaufbau darauf bedacht war, den Musikern so wenig Einschränkungen und Ablenkung während des Spielens wie möglich zu gewährleisten. Es sollten keine Einwirkungen auf den Spielvorgang ausgeübt werden, mit Ausnahme der möglichen Irritation durch den Streifenlichtscanner. Daher wurde darauf verzichtet, Messplättchen oder Ähnliches auf den Frontzähnen oder an den Lippen zu platzieren, da bereits in anderen Studien über funktionelle Einschränkungen durch Messapparaturen beim Trompetenspiel berichtet wurde [82]. Aufgrund der engen Lagebeziehung und der nicht veränderbaren Oberkiefer-Frontzahnstellung liegt die Hypothese nahe, dass der Abstand zwischen den vestibulären Flächen der Inzisivi sowie der Randkonturebene der Mundstücke einen Druck auf die Lippen an den Kontaktstellen der Randkontur ausübt. Aus technischen und programmspezifischen Gründen wurde keine Auswertung der Kesselform der Mundstücke durchgeführt. Die Lippen stülpen sich jedoch in die Öffnung des Mundstücks, was im Versuchsaufbau nicht detektierbar ist. Die Bewertung der auf theoretischer Basis betrachteten „Lippenkompression“ muss somit mit besonderer Vorsicht erfolgen und erweiterte Versuchsaufbauten für eine genaue Messung der „Lippenkompression“ sind angezeigt. In der Auswertung werden Korrelationen zwischen dieser theoretisch berechneten Kompression in Millimetern und der „Lippenfülle“ untersucht, um die Hypothese, dass die „Lippenkompression“ proportional zur „Lippenfülle“ angepasst wird, zu bestätigen. Hierbei ist eine statistisch nachweisbare Korrelation im Zusammenhang mit der „Lippenfülle“ bei den U-förmigen Bechermundstücken der Trompeten und Posaunen zu sehen, hingegen keine signifikanten Ergebnisse der Lippenmorphologie bei der Gruppe der Hornisten. In einer Studie über die entstehenden Mundstückkräfte bei der Trompete wurden 1988 von Barbenel et al. Maximalwerte von 83 N in der Testgruppe der professionellen Trompeter gemessen [15]. Ähnliche Werte wurden 1995 in einer weiteren Studie von Borchers et al. über die entstehenden Mundstückkräfte bestätigt [23]. Letztere untersuchte neben den Trompeten auch weitere Instrumente der Klassen A1 und A2 und berichtete über entstehende Kräfte von bis zu 50 N bei den Hornisten [23]. Bedingt durch die dabei geringe Stichprobenanzahl (n=10) von Amateurmusikern, die teilweise mehrfach mit unterschiedlichen Instrumenten untersucht wurden, müssten diese Werte durch eine weitere Studie evaluiert werden. Eine mögliche Erklärung für die stärkere „Lippenkompression“ bei größerer

„Lippenfülle“ bei den Trompetern im Vergleich zu der anderen Gruppe der Klasse A1, sind die höheren Mundstückkräfte. Mit steigender Mundstückauflagefläche wird allerdings die Kraft vermindert und die Forschung zeigt geringere Werte für die tiefen Blechblasinstrumente [23]. Dies widerspricht der vorherigen Annahme, da die Messung der „Lippenkompression“ bei den Posaunen ebenfalls signifikante Werte für die „Lippenfülle“ beschreibt. Zur Tonerzeugung werden die Lippen angespannt und auf einer Höhe aneinander platziert, um die Luftsäule im Instrument in Schwingung zu versetzen [83, 158]. Bei einer stark ausgeprägten „Lippentreppe“ stellt sich die Vermutung an, dass die „Lippenkompression“ ebenfalls zunimmt, um die dadurch benötigte Vor- bzw. Rückverlagerung des Unterkiefers zu kompensieren. Dies lässt sich allerdings durch die Ergebnisse nicht bestätigen, da keine statistisch signifikante Korrelation dieser Parameter festzustellen ist. Die „Zahnbogensymmetrie“ weist, synchron zu den Ergebnissen der „transversalen Mundstückposition“, keine signifikante Korrelation bei der „Lippenkompression“ auf. Der Verlauf des Zahnbogens im Frontzahnbereich zeigt damit keine signifikanten Korrelationen im gesamten Korrelationsmodell. Gleichzeitig muss hier bei der Dateninterpretation der Auslöschungseffekt durch andere Einflussvariablen betont werden, da die Parameter des Zahnbogens nicht in einem gesonderten Modell zu den Zielvariablen betrachtet wurden. Da die Weichteilanatomie auf dem Hartgewebe des Oberkiefers aufliegt und dadurch eine gewisse Formvorgabe entsteht, stellt sich die Vermutung an, dass die Weichteilparameter durchaus mit der „Zahnbogensymmetrie“ in Korrelation stehen könnten. Dieser Zusammenhang muss allerdings in weiterführenden Studien untersucht werden und ist unabhängig des instrumentalen Blickwinkels dieser Studie.

Betrachtet man die Gütemaße R^2 der Mixed-Effekt-Modelle, fällt auf, dass je mehr signifikante Korrelationen in der Regressionsgleichung auftreten, desto höher ist R^2. Die Modelle für die „vertikale Mundstückposition“ der Trompeter und Hornisten, die „sagittale Mundstückneigung“ der Hornisten, sowie das Modell für die „Lippenkompression“ der Trompeter lassen mit einem $R^2>0,70$ eine sehr gute Beschreibung der abhängigen Variablen durch die Auswahl der anatomischen Parameter zu. Auch die Werte zwischen 0,30 und 0,69 zeigen eine moderate Beschreibung der abhängigen Variablen in den Modellen „vertikale Mundstückposition“ (Posaune), „transversale Mundstückposition (Trompete und Horn), „sagittale Mundstückneigung“ (Posaune) und „Lippenkompression“ (Posaune).

Für eine aussagekräftige Beschreibung und Vorhersagbarkeit der „transversalen Mundstückposition“ (Posaune), der „transversale Mundstückneigung“ (Horn und Posaune), der „sagittalen Mundstückneigung“ (Posaune) und der „Lippenkompression“ (Horn) müssten in weiterführenden Studien weitere Parameter untersucht werden, da die Gütemaße bei diesen Modellen bei $R^2<0,29$ liegen. Dies zeigt sich ebenfalls durch eine geringe Anzahl statistisch nachweisbar signifikanter Korrelationen der Parameter in diesen fünf Modellen. Betrachtet man die Gütemaße im Instrumentengruppenvergleich, fällt auf, dass eine moderate bis sehr gute Beschreibung der Lagebeziehung des Mundstücks mit dem stomatognathem System für die Gruppe der Trompeter möglich ist (R^2 („vertikale Mundstückposition“) =0,80, R^2 („transversale Mundstückposition“) =0,53; R^2 („transversale Mundstückneigung“) =0,34, R^2 („sagittale Mundstückneigung“) =0,29, R^2 („Lippenkompression“) =0,70). Die Gütemaße der Hornisten und Posaunisten sind nur in einzelnen Modellen moderat bis gut. Wobei die Beschreibung der Lagebeziehung bei den Posaunisten mit den ausgewählten Parametern die am wenigsten vorhersagbaren Ergebnisse liefern (R^2 („vertikale Mundstückposition“) =0,33, R^2 („transversale Mundstückposition“) =0,23; R^2 („transversale Mundstückneigung“) =0,20, R^2 („sagittale Mundstückneigung“) =0,51, R^2 („Lippenkompression“) =0,44). Dennoch wurden die unabhängigen Parameter für die einzelnen Instrumentengruppen nicht verändert, damit eine Vergleichbarkeit möglich ist. Welche Parameter vor allem die wechselseitige Lagebeziehung des stomatognathen Systems mit dem Mundstück bei den Posaunisten beschreiben würde, muss in weiterführenden Studien untersucht werden. Eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Gütemaße wäre die unterschiedliche Mundstück- und Instrumentengröße mit dem dazugehörigen Gewicht der Instrumente. In wie weit dadurch beispielsweise die Haltemuskulatur mit Ausdauer und Ermüdungszeit der Musiker einen Einfluss auf die Positionierung und Neigung der Instrumente hat, müsste ebenfalls in weiterführenden Studien untersucht werden.

Neben der Bewertung der Wechselbeziehung der anatomischen Parameter mit der Mundstückposition lag ein weiterer Fokus auf der Hypothese, dass sich die Positionierung den gespielten Tonhöhen anpasst. Die Dissertation von 1997 beschreibt in ihren Ergebnissen einen bei den meisten Probanden vergrößerten Trompetenneigungswinkel (zwischen Camper’scher Ebene und Trompetenlängsachse in der Sagittalebene) vom Ton „c1“ zum Ton „c3“ [82]. Für die Beurteilung des

Einflusses durch die Tonhöhe wurden die Zielvariablen miteinander verglichen und zeigen bis auf die „transversale Mundstückpositionierung“ signifikante Werte. Die Werte der Trompeter und Hornisten beschreiben ein kraniales Ansetzen in longitudinaler Richtung bei einem Wechsel in die höhere Oktave. Dies lässt sich durch die steigende Muskelanspannung vor allem in der Oberlippe in den höheren Tonlagen erklären. Stroboskopische Untersuchungen zeigen einen Unterschied zwischen Upstream- und Downstream-Typen bei der Tonerzeugung [43, 63, 93]. Beim häufiger vertretenden Downstreamtyp liegt eine vorgewölbte Oberlippe vor, die den Luftstrom unterhalb der Bohrung im Kessel leitet [93]. Beim Upstreamtyp wird der Luftstrom durch die vorgewölbte Unterlippe geführt und trifft oberhalb der Bohrung in den Kessel des Mundstücks [93]. Die individuelle anatomische Grundlage bestimmt, welcher Typ vorliegt und kann nicht erlernt werden [93, 155]. Mit steigender Tonhöhe wird der Luftstrom steiler ausgerichtet und je flacher der Luftstrom auftritt, desto tiefer wird auch der erzeugte Ton. Dies erklärt die Veränderung der „vertikalen Mundstückposition“ in Z-Richtung. Um einen möglichst steilen Winkel des Luftstroms auf den Becher bzw. Trichter des Mundstücks zu generieren und den Abstand zur Bohrung zu verlängern, werden die Mundstücke mit steigender Tonhöhe weiter kranial positioniert. Die Posaunisten wiesen eine ähnliche Anpassung vom tiefen Ton („F“) zum mittleren Ton („f“) auf. Hingegen lag zur höchsten der drei erforderten Oktaven („f1“) eine kaudale Orientierung der „vertikalen Mundstückposition“ vor. Dies kann durch den großen Durchmesser des Mundstücks erklärt werden. Der musculus orbicularis oris, der die muskuläre Grundlage der Lippen bildet, ist für die Abdichtung an der Randkontur mitverantwortlich [10, 158]. Näher am Nasolabialwinkel ist die Bewegungsfreiheit der Oberlippe eingeschränkt und der subnasale Anteil der mimischen Muskulatur wird beim Anspannen der Lippen abgeflacht. Wird das große Posaunenmundstück zu weit kranial positioniert, kann die Abdichtungsfunktion am oberen Rand der Randkontur nicht mehr von der Oberlippe gewährleistet werden und die Luftsäule entweicht aus dem Mundstück. Dies kann die kaudale Anpassung bei den Posaunen zum Ton „f1“ erklären. Bei der Betrachtung der Median- und Mittelwerte der „vertikalen Mundstückposition“ muss berücksichtigt werden, dass es sich um minimale Veränderungen der Lage der vorderen Mundstückmitte handelt und die klinische Relevanz damit in Frage gestellt werden muss.

Die „sagittale Mundstückneigung“ wird ebenfalls signifikant nachweisbar bei allen drei Instrumentengruppen zum tiefen Ton angepasst. Dies lässt sich auf derselben Grundlage des Lufteintrittwinkels im Mundstück erklären. Durch eine flache oder steile Haltung des Instrumentes kann dieser Winkel durch die Musiker einfach angepasst werden und erleichtert das Anspielen der gewünschten Tonhöhe. Deckungsgleich zu den Ergebnissen der „vertikalen Mundstückposition“ zeigen die Ergebnisse der Posaunisten ebenfalls zum hohen Ton („f1“) eine flachere Neigung des Instrumentes als beim Ton „f“. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Hornisten sind die Veränderungen der „sagittalen Mundstückneigung“ bei Posaune und Trompete vom mittleren zum hohen Ton nicht statistisch signifikant nachweisbar. Die Ergebnisse der „Lippenkompression“ scheinen hochsignifikant korrelierend bei der Tonhöhenveränderung. Bei der Bewertung dieser Ergebnisse ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Tonentstehung entscheidend durch die Lippenmuskulatur beeinflusst wird. Der Ansatz oder Embouchure eines Blasinstrumentenspielers beschreibt besonders die Lippenformgebung während des Spielens [158]. Der Tonwechsel durch die 12 Töne einer Oktave erfolgt im Zusammenspiel zwischen den Veränderungen der Ventile (Klasse A1) bzw. Züge (Posaune) und besonders der unterschiedlichen Anspannungen der Lippenmuskulatur. Bei den Naturtoninstrumenten, bei denen keinerlei Veränderungen der Rohrlänge vorgenommen werden kann (Jagdhorn), entsteht der Tonwechsel ausschließlich durch die unterschiedliche Anspannung und Form der Lippenmuskulatur, weshalb das Ergebnis der „Lippenkompression“ in unterschiedlichen Tonhöhen sehr streng bewertet und in weiterführenden Studien untersucht werden muss.

Zusammenfassend muss man feststellen, dass es durchaus anatomische Merkmale und Gegebenheiten gibt, die mit der Mundstückpositionierung bei professionellen Blechbläsern korrelieren. Meist unbewusste Anpassungen der Musiker zeigen bei einigen Einflussvariablen einen statistisch signifikanten Zusammenhang. Die Mundlippen als Schwingungsgenerator der Luftsäule zeigen besonders bei den Instrumenten der Klasse A1 mit kleinem Durchmesser der Mundstücke einen deutlichen Zusammenhang mit der Mundstückpositionierung. Das Zusammenspiel der Mundstückpositionierung mit der Funktion und Form der Lippen ist entscheidend für die angestrebte Tonqualität der Musiker. Dieses empfindliche Zusammenspiel zwischen Weichgewebe und Mundstück steht in einem Gleichgewicht und bedingt für

die klinische Relevanz eine besondere Vorsicht bei der Behandlung beispielweise von Weichgewebsverletzungen im unteren Gesichtsdrittel der Musiker. Erkrankungen in diesem Bereich sind bereits in Studien untersucht worden und die Aufnahme und Anerkennung der fokalen Ansatzdystonie bei Blasinstrumenten als Berufskrankheit 2017 zeigt die aktuelle Relevanz und Akzeptanz des Themas [4, 5, 28, 42, 50, 86, 129].

Für die klinische Relevanz der dentalen Parameter lässt sich die Korrelation der mittleren Schneidezähne mit der Mundstückpositionierung hervorheben. Bei möglichem Zahnverlust im Frontzahnbereich kann eine kurzfristige oder gar dauerhafte Berufsunfähigkeit der Musiker entstehen, wenn die Rekonstruktion der Schneidezähne eine neue Stellung, Länge und Form der Schneidekante mit sich bringt. Beim Gaumenverlauf hingegen muss die klinische Relevanz in Frage gestellt werden. Die anatomische Gegebenheit des Gaumens ist individuell und nicht veränderbar. Demnach erlernen die Musiker bereits mit ihrer anatomischen Grundlage die Instrumente und passen für eine gewünschte Tonqualität ihr Instrument unbewusst der anatomischen Gegebenheit an. Es bestehen keine von außen einwirkenden Veränderungen. Besonders Berufsmusiker finden oft früh in ihrem Leben den Gefallen am Musizieren und beginnen bereits im Kindesalter, ein Instrument zu spielen. Beim Erlernen eines Blechblasinstrumentes sind die Auswirkungen auf die Entwicklung der Gaumenform durchaus interessant, allerdings schwer zu detektieren, da die Häufigkeit des Musizierens im Kindesalter oft nicht mit dem im Erwachsenenalter vergleichbar ist, sowie die Kontrolle einer Entwicklung ohne den Reiz durch das Blasinstrumentenspiel schwierig zu verfolgen wäre. Wie bereits die Studien zu Veränderungen zur Gebissmorphologie beim Blasinstrumentenspiel im jugendlichen Alter, könnten hier weitere Studien folgen [17, 55–57, 64, 78, 98, 100, 103].

Die vorliegende Untersuchung kann als relevante, nicht invasive Forschung für die wechselseitige Lagebeziehung des stomatognathen Systems mit dem Ansatz bei professionellen Musikern angesehen werden und liefert klinisch relevante Teilaspekte im Bereich der Musikermedizin.

5 Zusammenfassung

Die Tonentstehung bei Blechbläsern basiert auf einem komplexen Zusammenspiel zwischen Atemmuskulatur, stomatognathem System und dem Instrument. In wie weit sich dabei anatomische Gegebenheiten auf den Ansatz und auf die Haltung des Instrumentes auswirken, wird mittels dreidimensional gestützter digitaler Analysen der Probanden ermittelt. Insbesondere die Auswirkungen der Lippenphysiognomie, der Oberkiefer-Frontzahnstellung und der Verlauf des Gaumens auf die Haltung des Instruments stehen dabei im Mittelpunkt der Betrachtungen. Durch die Methode der digitalen dreidimensionalen Gesichtsaufnahme und Datenauswertung ist eine realitätsnahe und störungsfreie Beurteilung der Instrumentenpositionierung während des Spielens möglich. Die digitale Gesichtsanalyse etabliert sich zunehmend im Fachbereich der Kieferorthopädie und konnte erfolgreich auf die zusätzliche Auswertung der Mundstückposition übertragen werden. Mit der steigenden akademischen Anerkennung der Musikermedizin, erkennbar beispielsweise an der Aufnahme der fokalen Ansatzdystonie als Berufskrankheit, wird die Relevanz für Untersuchungen der gegenseitigen Lage- und Wechselbeziehungen zwischen Musiker und Instrument präsent.

Der Probandenpool setzt sich aus Berufsmusikern der Instrumente Trompete, Horn und Posaune mit einer vergleichbaren Stichprobenanzahl pro Instrumentengruppe, zusammen. Über einen Streifenlichtprojektionsscanner wurden die Daten der Probanden in Ruhe und während des Spielens in drei Oktaven digital aufgenommen. Die Integration der Kiefermodelle und Mundstücke erfolgte über probandenspezifische Koordinatensysteme und ermöglicht die Darstellung und Beurteilung dentaler und fazialer Merkmalsausprägungen zum Instrument. Die statistische Auswertung über ein Mixed-Effekt-Modell untersucht die Korrelationen von Hart- und Weichgewebsparametern mit der Instrumentenausrichtung in longitudinaler, transversaler und sagittaler Richtung.

Die Ergebnisse des Frage- und Befundbogens zeigen die Relevanz des Mund-, Kiefer- und Gesichtssystems für Musiker, die sich intensiv mit ihrem Ansatz zur individuellen Tonbildung auseinandersetzen und einer dauerhaften, intensiven und präzisionsgenauen Belastung dieses Körperareals ausgesetzt sind. Bei der Auswertung der Regressionsanalyse mittels Mixed-Effekt-Modell zeigt sich unter anderem eine

statistisch signifikante Korrelation der inzisalen Kante der Oberkiefer-Schneidezähne, sowie der Steigung des anterioren Gaumenverlaufs mit der longitudinalen Ausrichtung des Mundstücks. Die Lippenphysiognomie beeinflusst die transversale Neigung des Instrumentes und zeigt Wechselbeziehungen mit der Lippenkompression, die auf mathematisch-theoretischer Basis ausgewertet wurde. Zusätzlich zeigt die gespielte Tonhöhe eine deutliche Korrelation mit der Instrumentenpositionierung. Der Vergleich der Ergebnisse zwischen den einzelnen Instrumentengruppen zeigt bei manchen Parametern abweichende statistische Signifikanzen, die auf die unterschiedlichen Größen und der daraus resultierenden Haltung der Instrumente und Kesselmundstücke zurückzuführen sind. Die angewandte Methode hat sich bei der vorliegenden Stichprobenanzahl bewährt, für präzisere Aussagen wird ein größerer Probandenpool benötigt. Für die klinische Relevanz lassen sich mit dieser nicht-invasiven Ansatzuntersuchung bei Blechbläsern versicherungsrechtliche und berufsunfähigkeitsspezifische Aspekte verknüpfen. Für eine Beurteilung der Arbeitsunfähigkeit von Blechbläsern sind die Kenntnisse von Korrelationen anatomischer Gegebenheiten des dentalen und muskulären Zustandes der Musiker mit der Ausübung des Musizierens essentiell. Durch die Herausarbeitung von statistisch signifikanten Korrelationen anatomischer Parameter zur Tonbildung trägt diese Studie einen Beitrag zur grundlegenden Beurteilung der wechselseitigen Lagebeziehung des stomatognathen Systems mit dem Mundstück bei Blechbläsern bei.

6 Literaturverzeichnis

[1] Abduo, J. und Elseyoufi, M., "Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors," *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, S. 101–121, 2018.

[2] Ahrens, C., "Blechblasinstrumente," in *Handbuch der Musikinstrumentenkunde*, Valentin, E., Hrsg., Kassel: Gustav Bosse Verlag, S. 211–242, 2004.

[3] AICON 3D Systems, "OptoCat: Texture Mapping for three-dimensional scan data," AICON 3D Systems GmbH, Braunschweig, [online], verfügbar: https://www.creativeinfocom.com/pdfs/probing-brochure-aicon-scanner-texture-mapping.pdf, Download-Datum: 13.12.2020.

[4] Altenmüller, E. und Jabusch, H.-C., "Neurologische Erkrankungen bei Musikern," *Die Medizinische Welt*, S. 1–7, 2006.

[5] Altenmüller, E. und Jabusch, H.-C., "Focal dystonia in musicians: phenomenology, pathophysiology, triggering factors, and treatment," *Medical problems of performing artists*, S. 3–9, 2010.

[6] Apuzzo, N. d', "Overview of 3D surface digitization technologies in Europe," *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, S. 605, 2006.

[7] Aragón, M. L. C., Pontes, L. F., Bichara, L. M., Flores-Mir, C., und Normando, D., "Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: a systematic review," *European journal of orthodontics*, S. 429–434, 2016.

[8] Attallah, M. M., Visscher, C. M., van Selms, M K A, und Lobbezoo, F., "Is there an association between temporomandibular disorders and playing a musical instrument? A review of literature," *Journal of oral rehabilitation*, S. 532–541, 2014.

[9] Aumüller, G., "Hals, Kopf, ZNS und Sinnesorgane: Kiefergelenk und Kaumuskulatur," in *Duale Reihe, Anatomie: Duale Reihe*, Aumüller, G., Aust, G., Doll, A., Engele, J., Kirsch, J., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wolff, W., Wurzinger, L. J., und Zilch, H.-G., Hrsg., 2 Auflage, Stuttgart: Thieme, S. 933, 2010.

[10] Aumüller, G., "Hals, Kopf, ZNS und Sinnesorgane: Mimische Muskulatur," in *Duale Reihe, Anatomie: Duale Reihe*, Aumüller, G., Aust, G., Doll, A., Engele, J., Kirsch, J.,

Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wolff, W., Wurzinger, L. J., und Zilch, H.-G., Hrsg., 2 Auflage, Stuttgart: Thieme, S. 870–873, 2010.

[11] Aumüller, G. und Doll, A., "Hals, Kopf, ZNS und Sinnesorgane: Mundhöhle und Kauapparat," in *Duale Reihe, Anatomie: Duale Reihe*, Aumüller, G., Aust, G., Doll, A., Engele, J., Kirsch, J., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wolff, W., Wurzinger, L. J., und Zilch, H.-G., Hrsg., 2 Auflage, Stuttgart: Thieme, S. 911, 2010.

[12] Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., und Weiber, R., "Regressionsanalyse," in *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung*, Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., und Weiber, R., Hrsg., 15 Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 57–124, 2018.

[13] Bahnert, H., Herzberg, T., und Schramm, H., "Metallblasinstrumente": Handbuch für Musiker und Instrumentenbauer, 3rd ed. Wilhelmshaven, Noetzel, S. 16, 2003.

[14] Bangerter, A., "Die Angst spielt mit: Berufsmusiker im Teufelskreis zwischen Lampenfieber und Tablettenkonsum," *Aargauer Zeitung*, 2018. https://www.aargauerzeitung.ch/kultur/musik/die-angst-spielt-mit-berufsmusiker-im-teufelskreis-zwischen-lampenfieber-und-tablettenkonsum-132458078, Download-Datum: 08.09.2020.

[15] Barbenel JC, Kenny P, und Davies JB, "Mouthpiece forces produced while playing the Trumpet," *J Biomechanics*, S. 417–424, 1988.

[16] Bartek, H., "Stomatologische Therapieempfehlungen für Blasinstrumentalisten". Berlin, Betriebsambulatorium der Berliner Bühnen/ Arbeitshygienische Beratungsstelle der Theater und Orchester der DDR, S. 3-13, 1985.

[17] Bartek, H., "Stomatologische Tauglichkeitsuntersuchung von Bläserschülern an den Musikschulen der DDR". Berlin, Betriebsambulatorium der Berliner Bühnen/ Arbeitshygienisches Zentrum Kultur der DDR, S. 3-21, 1989.

[18] Barthold, H.-M., "Orchestermusiker - Die Klangkünstler", 2017, [online], verfügbar: https://www.berufsreport.com/orchestermusiker-die-klangkuenstler/, Download-Datum: 15.12.2018.

[19] Benade, A. H., "Blechblasinstrumente," in *Spektrum der Wissenschaft Verständliche Forschung, Die Physik der Musikinstrumente*, Winkler, K., Hrsg., Heidelberg: Spektrum der Wiss, S. 44–55, 1988.

[20] Berendt, J.-E. und Huesmann, G., "Das Jazzbuch": Von New Orleans bis ins 21. Jahrhundert; mit ausführlicher Diskographie, 7th ed. Frankfurt am Main, Fischer-Taschenbuch-Verl., S. 96-106, 2007.

[21] Bittner, W.-T., "Die gipsfreie KFO-Praxis – Vision oder Realität?", 2017, [online], verfügbar: https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/grundlagen/die-gipsfreie-kfo-praxis-vision-oder-realitaet, Download-Datum: 27.10.2020.

[22] Böhme, W., "Vorträge aus dem Gebiet der zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde: Neue Erkenntnisse für die prothetische Versorgung von Blasinstrumentalisten," *Deutsche Stomatologie*, S. 179–183, 1965.

[23] Borchers, L., Gebert, M., und Jung, T., "Measurement of tooth displacements and mouthpiece forces during brass instrument playing," *Medical engineering & physics*, S. 567–570, 1995.

[24] Bork, K., "Mundschleimhaut- und Lippenkrankheiten": Klinik, Diagnostik und Therapie: Atlas und Handbuch, 2008, [online], verfügbar: http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783794580101, Download-Datum: 13.09.2019.

[25] Breuckmann, "d-STATION3D: Data Sheet," 2011, [online], verfügbar: https://3dtoday.ru/upload/iblock/271/scheda%20dSTATION.pdf, Download-Datum: 13.01.2020.

[26] Breuckmann GmBH, "opto TOP-HE: the highend 3D digitization system," 2007, [online], verfügbar: https://www.yumpu.com/de/document/read/7649053/optotop-he-breuckmann-gmbh, Download-Datum: 13.01.2020.

[27] Brüchle, B. und Janetzky, K., "Kulturgeschichte des Horns": Ein Bildsachbuch = A pictorial history of the horn. Tutzing, Schneider, S. 36ff, 1976.

[28] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, "Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit "Fokale Dystonie als Erkrankung des zentralen Nervensystems bei Instrumentalmusikern durch feinmotorische Tätigkeit hoher Intensität"," 2016, [online], verfügbar: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Berufskrankheiten/pdf/Begruendung-Fokale-Dystonie.pdf?__blob=publicationFile&v=4, Download-Datum: 23.09.2020.

[29] Cantelmi, G., Frei, C., und Arx, T. von, "Der Periotest in der periradikulären Chirurgie: vorläufige Resultate einer klinisch-prospektiven Studie," *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, S. 903–908, 2005, [online], verfügbar: https://www.swissdentaljournal.org/fileadmin/upload_sso/2_Zahnaerzte/2_SDJ/SMfZ_2005/SMfZ_10_2005/smfz-10-forschung2.pdf, Download-Datum: 30.08.2020.

[30] Cheney, E. A., "Adaptation To Embouchure As A Function Of Dentofacial Complex," *American Journal of Orthodontics*, S. 440–456, 1947.

[31] Cohen, J., "Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences", [online], verfügbar: http://www.utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower.pdf, Download-Datum: 05.08.2022.

[32] Dalstra, M. und Melsen, B., "From alginate impressions to digital virtual models: accuracy and reproducibility," *Journal of orthodontics*, S. 36-41, 2009.

[33] Deeks, J. J., Dinnes, J., D'Amico, R., Sowden, A. J., Sakarovitch, C., Song, F., Petticrew, M., und Altman, D. G., "Evaluating non-randomised intervention studies," *Health technology assessment*, S. 143ff, 2003.

[34] Deutscher Ärzteverlag GmbH and Ärzteblatt, R. D., "Randomisierte kontrollierte Studien", 2011, [online], verfügbar: https://www.aerzteblatt.de/archiv/106949/Randomisierte-kontrollierte-Studien, Download-Datum: 17.01.2020.

[35] Diedrich, P., Bauer, W., und Haunfelder, D., "Orofaziale Entwicklung und Diagnostik", 4th ed. München, Elsevier Urban & Fischer, S. 73, 2000.

[36] Donnet, A., Dessi, P., und Koeppel, M. C., "Le syndrome de Satchmo," *Presse medicale*, S. 173, 1996.

[37] Dreisow, A., "Dreidimensionale Veränderung der Morphologie des Gesichtes während kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapie," Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, S. 14, 2008.

[38] Dünser, S., "Höhe und Flexibilität: Effizientes Üben auf einem Brass Instrument," *sonic - sax and brass*, S. 112–117, 2012, [online], verfügbar: https://www.sonic.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=7288&token=a59154087d30e89601fde13db311e97ff0e687c3, Download-Datum: 13.12.2019.

[39] Eickholz, P., "Parodontologie von A bis Z": Grundbegriffe für die Praxis, 1st ed. Berlin u.a, Quintessenz Verl., S. 69-75, 2013.

[40] Ender, A., Zimmermann, M., und Mehl, A., "Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro," *International journal of computerized dentistry*, S. 11–19, 2019.

[41] Fahrmeir, L., Kneib, T., und Lang, S., "Regression": Modelle, Methoden und Anwendungen. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, S. 253–290, 2007, [online], verfügbar: http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1620442, Download-Datum: 13.11.2020.

[42] Farkas P, "Medical problems of wind players: a musician's perspective," *Cleveland Clinic Quarterly*, S. 33–37, 1986.

[43] Farkas, P., "Die Kunst der Blechbläser": Ansatzgrundlagen. Kirchheim, Edition Hans Pizka, 1962, [online], verfügbar: https://www.stretta-music.com/farkas-die-kunst-der-blechblaeser-nr-104773.html, Download-Datum: 02.09.2020.

[44] Fink, M., Medelnik, J., Strobel, K., Hirschfelder, U., und Hofmann, E., "Metric precision via soft-tissue landmarks in three-dimensional structured-light scans of human faces," *Journal of orofacial orthopedics*, S. 133–143, 2014.

[45] Fink, M., Hirschfelder, U., Hirschinger, V., Schmid, M., Spitzl, C., Detterbeck, A., und Hofmann, E., "Bewertung des Gesichtsweichteilprofils anhand seitlicher Fotografien vs. 3-D-Scans," *Journal of orofacial orthopedics*, S. 70–76, 2017.

[46] Fishbein M, Middlestadt S, Ottati V, Straus S, und Ellis A, "Medical Problems Among ICSOM Musicians: Overview of a National Survey," *Medical problems of performing artists*, S. 1–8, 1988.

[47] Fleming, P. S., Marinho, V., und Johal, A., "Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review," *Orthodontics & craniofacial research*, S. 1–16, 2011.

[48] Fletcher, N. H. und Rossing, T. D., "The physics of brass instruments," *Scientific American*, S. 90–95, 1998.

[49] Frei, M., "Frauen in Berufsorchestern: Wie weiblich wird das Musikleben in der Zukunft sein?," *das Orchester*, S. 6–8, 2021.

[50] Frucht, S. J., "Embouchure dystonia-Portrait of a task-specific cranial dystonia," *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, S. 1752–1762, 2009.

[51] Fry, J. H., "Occupational Maladies of Musicians," *International Journal of Music Education*, S. 59–63, 1984.

[52] Ganse, B. and Psychrembel Redaktion, "Pschyrembel Online | Dystonie", 2020, [online], verfügbar: https://www.pschyrembel.de/Dystonie/K06FR, Download-Datum: 29.11.2020.

[53] Glöggler, J., Schugg, M., Kilic, F., Schmidt, F., und Lapatki, B.G., "Digitale 3D-Gesichtsanalyse: Intra- und Inter-Rater-Variabilität der Punktsetzung," in *Tagungsprogramm DGKFO 2017 - 90. wissenschaftliche Jahrestagung: Kieferorthopädie auf den Punkt gebracht*, Bonn, S. 51, 2017.

[54] Graichen, S., "Wie wird man Musiker? - Ein Weg in 10 Schritten erklärt.", 2017, [online], verfügbar: https://musifiziert.de/wie-wird-man-musiker/, Download-Datum: 17.01.2020.

[55] Green, H. M. und Green, S. E., "The interrelationship of wind instrument technic, orthodontic treatment, and orofacial myology," *The International journal of orofacial myology : official publication of the International Association of Orofacial Myology*, S. 18–29, 1999.

[56] Gründig, C., "Stomatologische Risikofaktoren für Holz- und Blasinstrumentalisten," *Stomatologie der DDR*, S. 387–394, 1982.

[57] Gualtieri, P. A., "May Johnny or Janie play the clarinet?: The Eastman Study: A report on the orthodontic evaluations of college-level and professional musicians who play brass and woodwind instruments," *American Journal of Orthodontics*, S. 260–276, 1979.

[58] Haas, W. und Landeck, E., "Zur Frage einer stomatologisch-neurologischen Zusammenarbeit während der Diagnostik und Therapie von Funktionsstörungen im oralen und perioralen Bereich bei Blasinstrumentalisten," *Stomatologie der DDR*, S. 256–259, 1976.

[59] Hamilton, D. F., Ghert, M., und Simpson, A. H. R. W., "Interpreting regression models in clinical outcome studies," *Bone & joint research*, S. 152–153, 2015.

[60] Hammer, G. P., Du Prel, J.-B., und Blettner, M., "Avoiding bias in observational studies: part 8 in a series of articles on evaluation of scientific publications," *Deutsches Ärzteblatt international*, S. 664–668, 2009.

[61] Harbour, R. und Miller, J., "A new system for grading recommendations in evidence based guidelines," *British Medical Association.*, S. 334–336, 2001.

[62] Harzer, W., "Lehrbuch der Kieferorthopädie". Wien, München, Carl Hanser Verlag, S. 8-12, 1999, [online], verfügbar: https://books.google.de/books?id=--d5mNFD_98C, Download-Datum: 13.07.2020.

[63] Haubrich, R., Lefarth, F., und Angerstein, W., "Morphologische und funktionelle Untersuchungen der Mundlippen bei Blechbläsern," *Sprache · Stimme · Gehör*, S. 24–28, 2019.

[64] Herman, E., "Orthodontic aspects of musical instrument selection," *American Journal of Orthodontics*, S. 519–530, 1974.

[65] Herman, E., "Influence of musical instruments on tooth positions," *American Journal of Orthodontics*, S. 145–155, 1981.

[66] Hill, A. B., "The Environment and Disease: Association or Causation?," *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, S. 295–300, 1965.

[67] Himmelbauer, R., "The Representation of Women in European and American Orchestras; Der Anteil an Frauen in europäischen und US-amerikanischen Orchestern", 2010, [online], verfügbar: http://www.osborne-conant.org/orchestras.htm, Download-Datum: 16.08.2020.

[68] Hofer, A., Kramer, U., und Sirker, U., "Lexikon der Holzblasinstrumente": Oboe, Klarinette, Saxophon und Fagott: Baugeschichte und Spielpraxis, Komponisten und ihre Werke, Interpreten, Laaber- Verlag GmbH, S. 63-70, 2018.

[69] Hollenbeck, K., Allin, T., und van der Poel, M., "Streifenlicht oder Laser - Dentale 3D-Laborscanner": wie sie funktionieren und was funktioniert am besten, 2012, [online], verfügbar: https://www.dcd-dohrn.de/wp-content/uploads/2013/01/3Shape-Streifenlicht-oder-Laser-Dentale-3D-Laborscanner.pdf, Download-Datum: 12.02.2020.

[70] Huanca Ghislanzoni, L. T., Lineberger, M., Cevidanes, L. H. S., Mapelli, A., Sforza, C., und McNamara, J. A., "Evaluation of tip and torque on virtual study models: a validation study," *Progress in orthodontics*, S. 19, 2013.

[71] Institut der Deutschen Zahnärzte, Ed., "Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V)", 2016, [online], verfügbar: https://www.idz.institute/publikationen/buecher/fuenfte-deutsche-mundgesundheitsstudie-dms-v.html, Download-Datum: 15.04.2020.

[72] Jones, S., Murphy, F., Edwards, M., und James, J., "Doing things differently: advantages and disadvantages of Web questionnaires," *Nurse researcher*, S. 15–26, 2008.

[73] Keim, F., "Das große Buch der Trompete": Instrument, Geschichte, Trompeterlexikon. Mainz, Schott, S. 163-168, 2005.

[74] Kochel, J., Meyer-Marcotty, P., Strnad, F., Kochel, M., und Stellzig-Eisenhauer, A., "3D soft tissue analysis--part 1: sagittal parameters," *Journal of orofacial orthopedics*, S. 40–52, 2010.

[75] Kula, K., Cilingir, H. Z., Eckert, G., Dagg, J., und Ghoneima, A., "The association of malocclusion and trumpet performance," *The Angle orthodontist*, S. 108–114, 2016.

[76] Lammert KH, "Berufsschäden im Zahn- Mund- und Kieferbereich," *VEB Verlag Volk und Gesundheit*, S. 16–25, 1985.

[77] Lamp, C. J. und Epley, W., "Relation Of Tooth Evenness To Performance On The Brass and Woodwind Musical Instruments," *Journal of the American Dental Association (1939)*, S. 1232–1236, 1935, [online], verfügbar: https://marlin-prod.literatumonline.com/cms/attachment/2030224565/2047789115/main.pdf.png, Download-Datum: 18.11.2019.

[78] Landeck, E., "Zur Bläserproblematik aus medizinischer Sicht," *Forum der Musik in der DDR, Musikschule und Persönlichkeitsbildung*, S. 2–4, 1973.

[79] Landeck, E. und Doll, R., "Functional-morphological aspects of orofacial muscles in brass-band musicians," *Anatomischer Anzeiger*, S. 465–469, 1974.

[80] Langer, K., "Blashilfen," *Prothetische Zahnheilkunde*, S. 87–88, 1973.

[81] Lange, S. und Bender, R., "Lineare Regression und Korrelation," *Deutsche medizinische Wochenschrift*, S. e9-e11, 2007.

[82] Lapatki, B., "Quantitative Untersuchung zur Beurteilung funktioneller Parameter beim Trompetenspiel," Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., Freiburg i. Br., 1997.

[83] Lapatki, B., "Zahnheilkunde und Kieferorthopädie," in *Medizin, MusikerMedizin: Diagnostik, Therapie und Prävention von musikerspezifischen Erkrankungen*, Spahn, C., Richter, B., und Altenmüller, E., Hrsg., 1 Auflage: Schattauer GmbH Verlag für Medizin und Naturwissenschaften, S. 228–270, 2010.

[84] Lederman, R. J. und Martin, W., "Trumpet Player's Neuropathy," *Journal of American Health Association*, S. 1526, 1987.

[85] Lee, A., Eich, C., Ioannou, C. I., und Altenmüller, E., "Life satisfaction of musicians with focal dystonia," *Occupational medicine*, S. 380–385, 2015.

[86] Leukert, K.-H., "Neue Berufskrankheiten: Fokale Dystonie – der Musikerkrampf", 2017, [online], verfügbar: https://www.doktus.de/neue-berufskrankheiten-fokale-dystonie-der-musikerkrampf/, Download-Datum: 24.08.2020.

[87] Liu, S. und Hayden, G. F., "Maladies in musicians," *Southern medical journal*, S. 727–734, 2002.

[88] Lovius, B. B.J. und Huggins, D. G., "Orthodontics and the wind instrumentalist," *Journal of Dentistry*, S. 65–68, 1973.

[89] Lukas, D. und Schulte, W., "Periotest - a dynamic procedure for the diagnosis of the human periodontium," *Clinical Physics and Physiological Measurement*, S. 65–75, 1990.

[90] Manosudprasit, A., Haghi, A., Allareddy, V., und Masoud, M. I., "Diagnosis and treatment planning of orthodontic patients with 3-dimensional dentofacial records," *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, S. 1083–1091, 2017.

[91] Masoud, M. I., Bansal, N., C Castillo, J., Manosudprasit, A., Allareddy, V., Haghi, A., Hawkins, H. C., und Otárola-Castillo, E., "3D dentofacial photogrammetry reference values: a novel approach to orthodontic diagnosis," *European journal of orthodontics*, S. 215–225, 2017.

[92] Matuschek, H., Kliegl, R., Vasishth, S., Baayen, H., und Bates, D., "Balancing Type I error and power in linear mixed models," *Journal of Memory and Language*, S. 305–315, 2017.

[93] Mauersberger, R., "Lippenschwingungen und Stimmgebung bei Blechbläsern," Dissertation, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, S. 126ff, 2016.

[94] McNair, P. und Lewis, G., "Levels of Evidence in Medicine," *International Journal of Sports Physical Therapy*, S. 474–481, 2012.

[95] Med-Gulden, "Medizintechnik Gulden - Manufacturer of the Periotest", 2020, [online], verfügbar: http://www.med-gulden.com/periotestverfahren.php, Download-Datum: 29.01.2020.

[96] Mende, H.-J., "Alpha-Forum mit Professor Matthias Höfs, Trompete", 2013, [online], verfügbar: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiXx-T2tr71AhWGSfEDHQ1WAoQQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.br.de%2Ffernsehen%2Fard-alpha%2Fsendungen%2Falpha-forum%2Fmatthias-hoefs-gespraech-100~attachment.pdf%3F&usg=AOvVaw3B32pHlfFKZslIA1wsS22B, Download-Datum: 15.12.2018.

[97] Merz Pharmaceuticals GmbH, "Dystonie –was ist das?", 2017, [online], verfügbar: https://www.dystonieinfo.de/dystonie-was-ist-das/, Download-Datum: 29.11.2020.

[98] Methfessel G, "Eignungs- und Risikofaktoren bei Blasinstrumentenschülern: Erkenntnisse einer klinischen und experimentellen Studie," *rohrblatt*, S. 188–198, 1989.

[99] Methfessel, G., "Längsschnittuntersuchungen zur Objektivierbarkeit muskulärer Kräfte mittels intraoraler Druckmessungen," in *Kieferorthopädischer Gewebeumabu*, Harzer, W., Hrsg., Berlin, Chicago, Sao Paulo, Tokio: Quintessenz Verl., S. 211–218, 1991.

[100] Methfessel, G., "Gebißanomalien und das Spielen von Einfach- und Doppelrohrblattinstrumenten," *rohrblatt*, S. 111–113, 1993.

[101] Methfessel, G., "Zur Problematik von Ansatzstörungen bei Blasinstrumentalisten aus der Sicht der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde," in *Physiologie des Instrumentalspiels: zur Vorbeugung und Vermeidung von Erkrankungen*, Methfessel, G., Hrsg., Mainz: Schott, S. 1–22, 1994.

[102] Methfessel, G., "Die Prävention orofazialer Muskelfehlfunktionen - Standortbestimmung im Vorfeld arbeitsmedizinischer Tauglichkeits- und Überwachsungsuntersuchungen," in *Medizinische Probleme bei Instrumentalisten: Ursachen und Prävention - Band 8 der Publikationen der Hochschule für Musik und Theater Hannover*, Wagner, C. and Jakoby, R., Hrsg.: Laaber- Verlag GmbH, S. 209–221, 1995.

[103] Methfessel, G., "Probleme der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde," in *Medizinische Probleme bei Musikern*, Blum, J., Hrsg., Stuttgart, New York: Thieme, S. 214–228, 1995.

[104] Mittag, H.-J., "Statistik": Eine Einführung mit interaktiven Elementen, 4th ed. Berlin, Heidelberg, Springer Spektrum, S. 245 f., 2016.

[105] Moore, T. R., "The Acousitcs of Brass Musical Instruments," *Acoustics Today*, S. 30–37, [online], verfügbar: https://acousticstoday.org/wp-content/uploads/2016/12/Brass.pdf, Download-Datum: 24.02.2023.

[106] Musil R und Oswald R, "Blashilfen für Holz- und Blechblasinstrumentalisten: Funktion und technischer Herstellung," *Prothetische Zahnheilkunde*, S. 478–490, 1969.

[107] Nötzel, F. und Schultz, C., "Fotostat- und Profilanalyse," in *Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis*, Nötzel, F. and Schultz, C., Hrsg., 1 Auflage, Köln, München: Deutscher Zahnärzte Verlag, S. 149–169, 2001.

[108] Nötzel, F. und Schultz, C., "Kephalometrische Analyse," in *Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis*, Nötzel, F. and Schultz, C., Hrsg., 1 Auflage, Köln, München: Deutscher Zahnärzte Verlag, S. 67–113, 2001.

[109] Nötzel, F. und Schultz, C., "Modellanalyse," in *Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis*, Nötzel, F. and Schultz, C., Hrsg., 1 Auflage, Köln, München: Deutscher Zahnärzte Verlag, S. 35–66, 2001.

[110] Ohr, D., "Lineare Regression: Modellannahmen und Regressionsdiagnostik," in *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse*, Wolf, C., Hrsg., Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwissenschaften, S. 639–675, 2010.

[111] Pampel, M., Jakstat, H. A., und Ahlers, O. M., "Impact of sound production by wind instruments on the temporomandibular system of male instrumentalists," *Work (Reading, Mass.)*, S. 27–35, 2014.

[112] Paul, L., "8. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten im Rahmen der GFaI-Workshop-Familie NordOst," Gesellschaft zur Förderung Angewandter Informatik, Berlin, S. 37-44, 2005.

[113] Planas, J., "Rupture of the orbicularis oris in trumpet players (Satchmo's syndrome)," *Plastic and reconstructive surgery*, S. 690–693, 1982.

[114] Planas, J., "Further Experience with Rupture of the Orbicularis Oris in Trumpet Players," *Plastic and reconstructive surgery*, S. 975–979, 1988.

[115] Plooij, J. M., Swennen, G. R. J., Rangel, F. A., Maal, T. J. J., Schutyser, F. A. C., Bronkhorst, E. M., Kuijpers-Jagtman, A. M., und Bergé, S. J., "Evaluation of reproducibility and reliability of 3D soft tissue analysis using 3D stereophotogrammetry," *International journal of oral and maxillofacial surgery*, S. 267–273, 2009.

[116] Porter, M. M., "Dental Problems In Wind Instrument Playing," *British dental journal*, S. 393–396, 1967.

[117] Porter, M. M., "Dental Problems_VIII-XI_Brass Instruments," *British dental journal*, S. 183–186, 1968.

[118] Pospiech, P., "Grundlagen der Teilprothesenplanung," in *Die prophylaktisch orientierte Versorgung mit Teilprothesen*, Pospiech, P., Hrsg.: Georg Thieme Verlag KG, S. 146–152, 2001.

[119] Primozic, J., Perinetti, G., Richmond, S., und Ovsenik, M., "Three-dimensional longitudinal evaluation of palatal vault changes in growing subjects," *The Angle orthodontist*, S. 632–636, 2012.

[120] Radeke, J., Wense, C. von der, und Lapatki, B. G., "Comparison of orthodontic measurements on dental plaster casts and 3D scans," *Journal of orofacial orthopedics*, S. 264–274, 2014.

[121] Radeke, J., Kilic, F., Jäger, R., und Lapatki, B., "Strahlungsfreie Evaluation von dentalen, fazialen sowie dentofazialen Relationen mittels digitaler 3D-Kiefer- und Gesichtsanalyse," in *92. wissenschaftliche Jahrestagung*, S. 19, 2019, [online], verfügbar: https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/jahrestagungen/2019_Nuernberg/Tagungsprogramm_2019/Abstractband_2019_HP.pdf, Download-Datum: 29.06.2020.

[122] Ramazzini, B., "Untersuchung Von denen Kranckheiten der Künstler und Handwercker": Worinnen die Kranckheiten, womit fast alle Künstler und Handwercker gemeiniglich befallen werden, genau beschrieben, wie durch die Kunst oder Handwerck solche zugezogen werden, und wie man solche hernachmals aufs beste und leichteste curiren kan, 18th ed. Leipzig, Weidmann, 1718, [online], verfügbar: http://digital.slub-dresden.de/id427758963, Download-Datum: 23.07.2020.

[123] Raubach, H. und Kovacs, S., "Die Trompetenschule": Mit Audio-CD, 1st ed. Walldorf, Artist Ahead, S. 10, 2011.

[124] Reichenbach, E., "Die Mundhöhle bei Blasmusikern: Eine gewerbehygienische Untersuchung," *Z Stomatol*, S. 608–623, 1924.

[125] Remmerbach, T. W., "Potenziell maligne Veränderungen der Mundschleimhaut: Potentially malignant disorders of the oral mucosa," *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, S. 649–656, 2012, [online], verfügbar: https://www.online-dzz.de/fileadmin/user_upload/Heftarchiv/DZZ/article/2012/10/A0241649-F80A-411B-B6B3-DEA4F0926329/A0241649F80A411BB6B3DEA4F0926329_uebersicht_maligne_veraenderungen_remmerbach_1_original.pdf, Download-Datum: 24.06.2020.

[126] Rodriguez-Lozano, F. J., Saez-Yuguero, M. R., und Bermejo-Fenoll, A., "Orofacial problems in musicians: a review of the literature," *Medical problems of performing artists*, S. 150–156, 2011.

[127] Roederer, J. G., "Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik": Mit 6 Tabellen, 3rd ed. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Springer, S. 19, 2000.

[128] Rosati, R., Rossetti, A., Menezes, M. de, Ferrario, V. F., und Sforza, C., "The occlusal plane in the facial context: inter-operator repeatability of a new three-dimensional method," *International journal of oral science*, S. 34–37, 2012.

[129] Rozanski, V. E., Rehfuess, E., Bötzel, K., und Nowak, D., "Task-Specific Dystonia in Professional Musicians. A Systematic Review of the Importance of Intensive Playing as a Risk Factor," *Deutsches Arzteblatt international*, S. 871–877, 2015.

[130] Sader, R. und Landes, C., "Dysgnathie-Chirurgie," in *Kieferorthopädie*, Sander, F. M., Schwenzer, N., und Ehrenfeld, M., Hrsg., 2 Auflage: Georg Thieme Verlag KG, S. 401–410, 2011.

[131] Samsel, W., Marstedt, G., Möller, H., und Müller, R., "Musiker-Gesundheit": Ergebnisse einer Befragung junger Musiker über Berufsperspektiven, Belastungen und Gesundheit. St. Augustin, Asgard-Verl., S. 60, 2005.

[132] Sander, F. G., "Kieferorthopädische Diagnostik," in *Kieferorthopädie*, Sander, F. M., Schwenzer, N., und Ehrenfeld, M., Hrsg., 2 Auflage: Georg Thieme Verlag KG, S. 15–38, 2011.

[133] Savic, D., "Intraoralscanner im Einsatz: Der Trend geht nach oben," *ZWP Zahnarzt Wirtschaft Praxis*, S. 98–99, 2018.

[134] Sayegh Ghoussoub, M., Ghoussoub, K., Chaaya, A., Sleilaty, G., Joubrel, I., und Rifai, K., "Orofacial and hearing specific problems among 340 wind instrumentalists in Lebanon," *The Lebanese medical journal*, S. 159–167, 2008.

[135] Schmidt, W., "Grundlagen anatomischer Strukturen und ihrer Darstellung: Allgemeine Grundlagen," in *Duale Reihe, Anatomie: Duale Reihe*, Aumüller, G., Aust, G., Doll, A., Engele, J., Kirsch, J., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wolff, W., Wurzinger, L. J., und Zilch, H.-G., Hrsg., 2 Auflage, Stuttgart: Thieme, S. 7–9, 2010.

[136] Schneider, A., Hommel, G., und Blettner, M., "Linear regression analysis: part 14 of a series on evaluation of scientific publications," *Deutsches Arzteblatt international*, S. 776–782, 2010.

[137] Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Woll, M., und Wiesker, K., "Kopf und Hals: Knochen, Bänder und Gelenke," in *Thieme eRef, Prometheus Lernatlas - Kopf, Hals und Neuroanatomie*, Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., und Wesker, K., Hrsg., 4 Auflage, Stuttgart: Thieme, S. 56–57, 2015.

[138] Seidner, S., "The importance of the dental condition for players of wind instruments," *Dental Abstracts*, S. 68–69, 1956.

[139] Seidner, S., "The pressure of brass instruments on lips, teeth, and jaws," *The Journal of the Wisconsin State Dental Society*, S. 53–55, 1967.

[140] Seidner, S., "The pressure of the mouth piece on lips, teeth and jaws of players of brass instruments," *Zahnärztliche Welt*, S. 644–646, 1970.

[141] Singer, K., "Berufskrankheiten der Musiker. Systematische Darstellung ihrer Ursachen, Symptome und Behandlungsmethode". Band 83 von Hesses Handbücher der Musik, Max Hesses Verlag, S. 130–131, 1926.

[142] Spahn, C. und Möller, H., "Epidemiologie von Musikererkrankungen," in *Medizin, MusikerMedizin: Diagnostik, Therapie und Prävention von musikerspezifischen Erkrankungen*, Spahn, C., Richter, B., und Altenmüller, E., Hrsg., 1 Auflage: Schattauer GmbH Verlag für Medizin und Naturwissenschaften, S. 7–17, 2010.

[143] Spahn, C., Richter, B., und Altenmuller, E., "Musikermedizin- Eine Einführung," in *Medizin, MusikerMedizin: Diagnostik, Therapie und Prävention von*

musikerspezifischen Erkrankungen, Spahn, C., Richter, B., und Altenmüller, E., Hrsg., 1 Auflage: Schattauer GmbH Verlag für Medizin und Naturwissenschaften, S. 1–6, 2010.

[144] Spahn, C., Schuppert, M., und Möller H, "Musikermedizin - Ein Fachgebiet mit einer rasanten Entwicklung: An den meisten Musikhochschulen bestehen inzwischen eigene Lehrbereiche im Fach Musikphysiologie und Musikermedizin," *Deutsches Ärzteblatt*, S. 2659, 2011.

[145] Spallek, M., Günther, S., Noorzi, A., Bauer, J., Klingelhöfer, D., Groneberg, D. A., und Bendels, M. H., "Fokale Dystonie bei Instrumentalmusikern als Berufskrankheit (BK 2115)," *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, S. 97–101, 2019.

[146] Stamatakis, H. C., Eliasson, S., und Bergström, J., "140. Periodontal bone height in professional musicians. Cross-sectional and longitudinal aspects," *Acta odontologica Scandinavica*, S. 116–120, 1999.

[147] Stelzenmüller, W. und Wiesner, J., "Therapie von Kiefergelenkschmerzen: 22 Dysgnathien - chirurgische Behandlungskonzepte," in *ZMK Praxis, Therapie von Kiefergelenkschmerzen: Ein Behandlungskonzept für Zahnärzte, Kieferorthopäden und Physiotherapeuten; 94 Tab*, Stelzenmüller, W., Hrsg., 2 Auflage, Stuttgart: Thieme, S. 457–459, 2010.

[148] Stockmann, A., "Wenn die Muskeln krampfen: Wege aus der Krise bei Musikerdystonie," *das Orchester*, S. 36–38, 2016.

[149] Storms, P. R., Elkins, C. P., und Strohecker, E. M., "Embouchure Dysfunction in Air Force Band Brass Musicians," *Medical problems of performing artists*, S. 110–116, 2016.

[150] Strayer ER, "Musical Instruments as an Aid in the Treatment of Muscle Defects and Perversions," *The Angle orthodontist*, S. 18–27, 1939.

[151] van der Weijden, F N, Kuitert, R. B., Berkhout, F. R. U., und van der Weijden, G A, "Influence of tooth position on wind instrumentalists' performance and embouchure comfort : A systematic review," *Journal of orofacial orthopedics*, S. 205–218, 2018.

[152] van Selms, M K A, Ahlberg, J., Lobbezoo, F., und Visscher, C. M., "Evidence-based review on temporomandibular disorders among musicians," *Occupational medicine*, S. 336–343, 2017.

[153] Vienna Symphonic Library, "Blechblasinstrumente", 2020, [online], verfügbar: https://www.vsl.co.at/de/Instrumentology/Brass#!Acoustics, Download-Datum: 07.09.2020.

[154] Wichelhaus, A., "Ursache und Differenzialdiagnose der Klasse II," in *Thieme E-Book Kollektion Klinik & Praxis*, vol. 9, *Grundlegende Behandlungskonzepte*, Wichelhaus, A., Hrsg., Stuttgart, New York: Thieme, 258 ff., 2013.

[155] Wilkton D., "Brass Embouchures and Air Stream Direction", 2020, [online], verfügbar: https://wilktone.com/?p=12, Download-Datum: 02.09.2020.

[156] Witt, C., O'Brien, R, "Louis Armstrong": Eine Bildchronik von Ralph O'Brien Texte von Armstrong B Johnson Mezzrow u.a. Galerie Sanssouci. Zürich, Sanssouci Verlag, S. 24, 1960.

[157] Wogram, K., "Die Bedeutung des Mundstücks bei Blechblasinstrumenten," *Forschung und Entwicklung*, S. 53-60, 1976.

[158] Woldendorp, K. H., Boschma, H., Boonstra, A. M., Arendzen, H. J., und Reneman, M. F., "Fundamentals of Embouchure in Brass Players: Towards a Definition and Clinical Assessment," *Medical problems of performing artists*, S. 232–243, 2016.

[159] Yeo, D. K. L., Pham, T. P., Baker, J., und Porters, S. A. T., "Specific orofacial problems experienced by musicians," *Australian dental journal*, S. 2–11, 2002.

[160] Zaza, C., "Playing-related health problems at a Canadian music school," *Medical problems of performing artists*, S. 48, 1997.

[161] Zeiß, K., "Berufskrankheiten: Mit welchen Leiden Musiker für ihren Job bezahlen", 2012, [online], verfügbar: https://www.welt.de/gesundheit/article110458350/Mit-welchen-Leiden-Musiker-fuer-ihren-Job-bezahlen.html, Download-Datum: 13.02.2020.

[162] Zielke, A. und Angerstein, W., "Zungensonographie und Gesichts- Hals- Motorik beim Spielen von Blasinstrumenten," Dissertation, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2010.

[163] Zuskin, E., Schachter, E. N., Kolcić, I., Polasek, O., Mustajbegović, J., und Arumugam, U., "Health problems in musicians--a review," *Acta dermatovenerologica Croatica : ADC*, S. 247–251, 2005.

[164] Zuur, A., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., und Smith, G. M., "Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R". New York, NY, Springer New York,

2009, [online], verfügbar: http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1497729, Download-Datum: 16.08.2022.

7 Anhang

Anhang 1: Literaturbewertung

Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Bewertung des Verzerrungsrisikos nach dem Robin-I-Tool der Cochrane Collaboration über die aktuelle Studienlage.

	Cheney [30]	**Kula et al [75]**	**Lamp and Epley [77]**	**Lovius and Huggins [88]**	**Borchers et al [23]**
1 Bias due to confounding					
Were confounding factors prescribed?	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Were confounding factors considered?	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Risk of bias judgement	Low	Critical	Low	Low	Low
2 Bias in selection of participants into the study					
Were the criteria for participation classified?	Yes	Yes	No	Yes	No
Were the study subjects described in detail?	Yes	Yes	No	Yes	No
Is the sample size justified?	No	No	No	No	No
Risk of bias judgement	Moderate	Moderate	Critical	Moderate	Critical
3 Bias in classification of intervention					
Were objective criteria used to measure the tooth position?	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Is this tool validated?	NA[5]	Yes	No	No	Yes
Risk of bias judgement	Critical	Low	Moderate	Moderate	Low
4 Bias due to deviations from intended intervention					
Risk of bias judgement	NA	NA	NA	NA	NA
5 Bias due to missing data					
Risk of bias judgement	NA	NA	NA	NA	NA
6 Bias in measurement of outcomes					
Was the outcome measure valid?	Yes	Yes	NA	NA	Yes
Were the methods of outcome assessment comprehensible?	Yes	Yes	NA	NA	Yes
Is a suitable statistical analysis applied?	No	Yes	Yes	No	NA
Risk of bias judgement	Moderate	Low	Critical	Serious	Moderate
7 Bias in selection of the reported result					
Is the reported effect estimate on the basis of the results?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Risk of bias judgement	Low	Low	Low	Low	Low
Overall risk of bias	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate

[5] NA: not applicable

Anhang 2: Frage- und Befundbogen

Abbildung des Frage- und Befundbogens für Blasinstrumentalisten. Dieser wurde gemeinsam mit Frau Dr. Glöggler in der Abteilung für Kieferorthopädie und Orthodontie des Universitätsklinikums Ulm entwickelt. Abdruck mit freundlicher Genehmigung.



Universitätsklinikum Ulm

Klinik für Kieferorthopädie und Orthodontie

Ärztlicher Direktor:
Prof. Dr. Dr. Bernd Lapatki

Universitätsklinikum Ulm - 89070 Ulm

Probanden-Nummer

Befragungsbogen für Blasinstrumentalisten

Datum: _____

1 Angaben zur Person:

Name, Vorname: _____
Adresse: _____
Geburtsdatum: _____
E-Mail: _____ Telefonnummer: _____

2 Allgemeine musikalische Fragen:

2.1 Seit wann spielen Sie ein Blasinstrument? _____

2.2 Welches Instrument spielen Sie? _____

2.3 Welches Mundstück verwenden Sie? (Fabrikat, Modell-Nr.) _____

2.4 Wie intensiv betreiben Sie das Musizieren?
☐ Hobby ☐ Studium ☐ Beruf ☐ Nebenberuf (z.B. Tanzmusiker)

2.5 Wie lange üben Sie gewöhnlich pro Tag bzw. pro Woche?
_____ Std. /Tag, ____ Std./Woche

2.6 Seit wann üben Sie mit diesem Zeitaufwand? _____

2.7 Wie häufig in der Woche spielen Sie im Ensemble? _____
Wie ist dabei der zeitliche Ablauf hinsichtlich Spielzeiten & Pausen?
_____

2.8 Spielen Sie ein weiteres Blasinstrument (Zweitinstrument)?
☐ nein ☐ ja. Welches? _____ wie intensiv? ____ Std./Woche

3 Spezielle Fragen zum Ansatz

3.1 Haben Sie besondere Gewohnheiten bezüglich des Ansatzes?

☐ nein ☐ ja. Welcher Art? (z.B. seitliches Ansetzen des Mundstücks)

_____

3.2 Haben Sie manchmal Probleme mit Ihrem Ansatz?

☐ nein ☐ ja. Wann treten diese auf und wie äußern sie sich? _____

_____

3.3 Fühlen Sie sich beim Spielen durch eine Zahnfehlstellung oder andere mit den Zähnen bzw. Kiefern in Verbindung stehenden Problemen beeinträchtigt?

☐ nein ☐ ja. Wodurch? _____

3.4 Beobachten bzw. fühlen Sie folgendes während oder nach dem Spielen?

- Gefühl, dass die Zähne locker werden	☐ nein	☐ ja
- Gefühl, dass die Zähne fester werden	☐ nein	☐ ja
- Schmerzen im Bereich der Zähne	☐ nein	☐ ja
- Beschwerden am Kiefergelenk (hinterer Wangenbereich)	☐ nein	☐ ja
- Verspannungen der Kaumuskulatur (Schläfe, Wange)	☐ nein	☐ ja
- Einquetschen der Lippe zwischen Mundstück und Zähnen	☐ nein	☐ ja
- Schmerzen / Verspannungen der Lippenmuskulatur	☐ nein	☐ ja
- Taubheitsgefühl im Bereich der Lippe	☐ nein	☐ ja

3.5 Haben bzw. hatten Sie schon einmal Ansatzstörungen als Folge neuer Füllungen oder Kronen? ☐ nein ☐ ja

3.6 Fühlen Sie sich beim Spielen beeinträchtigt durch

- schlechten Prothesenhalt	☐ nein	☐ ja
- eine Kieferorthopädische Apparatur	☐ nein	☐ ja
- Mundtrockenheit	☐ nein	☐ ja

3.7 Liegt bei Ihnen Folgendes vor

- Tinnitus (Ohrgeräusche)	☐ nein	☐ ja
- Zahnwanderungen	☐ nein	☐ ja

- Sonstige Beschwerden im Kopf-/Gesichtsbereich: _____

3.8 Halten Sie Ihr Instrument beim Musizieren bewusst in einer bestimmten Position?

☐ nein ☐ ja; Grund: _____

3.9 Haben Sie die Haltung des Instruments schon einmal bewusst verändert?

☐ nein ☐ ja, aufgrund

- ☐ muskulärer Verspannungen im Nackenbereich
- ☐ von Schmerzen im Mund-Kiefer-Gesichtsbereich
  Lokalisation: _____
- ☐ von Ansatzproblemen
- ☐ eines einheitlichen Erscheinungsbildes des Ensembles
- ☐ Sonstiges: _____

4 Zahnmedizinische Anamnese:

4.1 Hatten Sie jemals eine Zahnspange? ☐ nein ☐ ja

	Herausnehmbare Spange	Feste Spange	Zeitraum
oben			
unten			

4.2 Ereignete sich bei Ihnen jemals ein Frontzahntrauma (z.B. Sturz, Schlag)?
☐ nein ☐ ja
Wenn ja, in welchem Alter?____ Bestehen Langzeitfolgen? _____

4.3 Wurde bei Ihnen bereits eine Krone, Brücke oder Prothese eingegliedert?
☐ nein ☐ ja, im Alter von _____

Wenn ja, traten danach Ansatzschwierigkeiten auf?
☐ nein ☐ ja, der Anpassungsprozess dauerte ca. _____

4.4 Knirschen Sie mit den Zähnen? ☐ nein ☐ ja

4.5 Schnarchen Sie? ☐ nein ☐ ja

4.6 Waren Sie jemals aufgrund von Zungenfehlfunktionen in Behandlung?
☐ nein ☐ ja, im Alter von _____

5 Allgemeinmedizinische Anamnese:

- Allergien ☐ nein ☐ ja _____
- Blutungsneigung ☐ nein ☐ ja _____
- Herz-Kreislauf-Erkrankung ☐ nein ☐ ja _____
- Nervensystem (z.B. Epilepsie) ☐ nein ☐ ja _____
- Atemprobleme (z.B. Asthma) ☐ nein ☐ ja _____
- Infektionskrankheit (HIV, Hep., Tbc) ☐ nein ☐ ja _____
- Mundschleimhauterkrankungen (Herpes, offene Mundwinkel) ☐ nein ☐ ja _____

Universitätsklinikum Ulm

Klinik für Kieferorthopädie und Orthodontie

Arztlicher Direktor:
Prof. Dr. Dr. Bernd Lapatki

Universitätsklinikum Ulm - 89070 Ulm

Probanden-Nummer

Befundbogen für Blasinstrumentalisten

1. Extraoraler Befund:

1.1 Lippen:

- Haltung	☐ kompetent	☐ inkompetent	☐ pot. kompetent
- Haut	☐ normal	☐ trocken	☐ rissig
- Besonderheiten	☐ Impressionen	☐ Narben	☐ Rötung

2. Intraoraler Befund:

2.1 Weichteile:

2.1.1 Lippenbändchen:

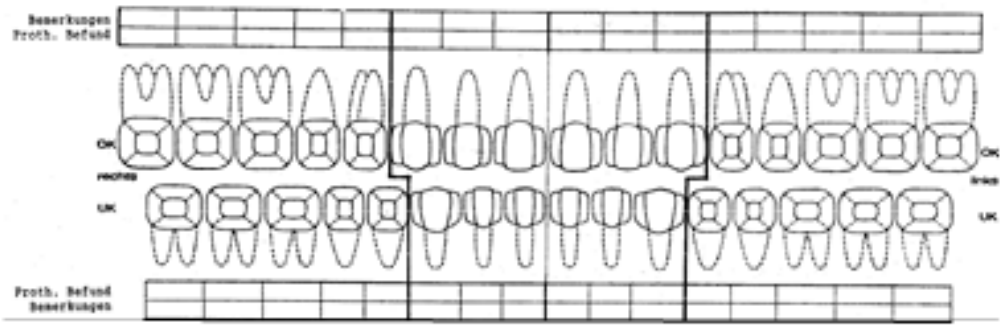
- OK	☐ o.B.	☐ stark	☐ schwach	☐ tief inserierend
- UK	☐ o.B.	☐ stark	☐ schwach	☐ tief inserierend

2.1.2 Zungengröße:	☐ normal	☐ breit	
2.1.3 Zungenbeweglichkeit:	☐ normal	☐ eingeschränkt	
2.1.4 Zungenimpressionen:	☐ stark	☐ leicht	☐ keine
2.1.5 Mundschleimhaut:	☐ normal	☐ pathologisch verändert	

Sonstiges: _____

2.2 Dentaler Befund:

2.2.1 Befundschema



Nähere Beschreibung zur prothetischen Versorgung: _____

_____

2.2.2 Schmelzdefekte im Frontzahnbereich:

☐ Schlifffacetten/Abrasionen
☐ Schmelzfrakturen/ Schneidekantendefekte
☐ Sonstiges: _____

2.2.3 Lockerungsgrade in der Front (Periotest)

	13	12	11	21	22	23
Lockerungsgrad						
Lockerungsgrad						
	43	42	41	31	32	33

Das Musikinstrument wurde zuletzt vor _____ Stunden gespielt.

2.3 Funktionsbefund:

2.3.1 Kiefergelenk: ☐ o.B ☐ Knacken (re/li) ☐ Reiben (re/li) ☐ Druckdolenz (re/li)

2.3.2 Mundöffnung: ☐ o.B. ☐ Deviation ☐ Deflexion ☐ Limitation

2.3.3 Frontale Okklusionskontakte: (Überprüfung mit Okklusions-Folie)

OK	13	12	11	21	22	23
UK						
	43	42	41	31	32	33

2.3.4 Kaumuskulatur ☐ o.B. ☐ Druckdolenz ☐ Verspannung
Lippenmuskulatur ☐ o.B. ☐ Druckdolenz ☐ Verspannung
Sonstiges: _____

Anhang 3: Anatomische Landmarken

Selbst erstellte tabellarische Übersichten für die anatomischen Landmarken. Alle Landmarken sind dabei Weichgewebspunkte. Um die Programmierung zu vereinfachen, wurden die Abkürzungen entgegen der üblichen kephalometrischen Angaben nicht mit einem Apostroph oder durch Kleinbuchstaben zusätzlich gekennzeichnet [108].

Übersicht über die neun Gesichtslandmarken zur Erstellung des probandenindividuellen Gesichtskoordinatensystems.

Landmarke		Definition
OR	Orbitale rechts	Punkt am rechten Orbitaunterrand, eine Lidspalte unter dem ungezwungenen geöffneten, geradeaus blickenden Auge
OL	Orbitale links	Punkt am linken Orbitaunterrand, eine Lidspalte unter dem ungezwungenen geöffneten, geradeaus blickenden Auge
PR	Porion rechts	Oberster Punkt des äußeren Gehörgangs rechts
PL	Porion links	Oberster Punkt des äußeren Gehörgangs links
EXR	Exocanthion rechts	Punkt an der äußeren Kommissur der Lidspalte am rechten Auge
ENR	Endocanthion rechts	Punkt an der inneren Kommissur der Lidspalte am rechten Auge
EXL	Exocanthion links	Punkt an der äußeren Kommissur der Lidspalte am linken Auge
ENL	Endocanthion links	Punkt an der inneren Kommissur der Lidspalte am linken Auge
N	Nasion	Tiefste Einziehung der Kurvatur zwischen Stirn und Nasenrücken

Übersicht über die anatomischen Weichteillandmarken.

Landmarke		Definition
TR	Trichion	Medialer Punkt am Haaransatz
GB	Glabella	Medialer Punkt an größter Konvexität über der Nasenwurzel
PRN	Pronasale	Am weitesten anterior liegender Mittelpunkt der Nasenspitze
COL	Columella	Oberster Punkt am Nasensteg vom Übergang konvex zu konkav
SN	Subnasale	Medialer Punkt am Übergang der Columella in das Philtrum
SSP	Subspinale	Medialer Punkt an größter Konkavität des Philtrums
PHR/ PHL	Philtrum rechts/links	Übergang Oberlippenweiß zu Oberlippenrot an größter Konvexität des Philtrums (rechts/ links)
LS	Labrale superius	Medialer Punkt am Übergang von Oberlippenweiß zu Oberlippenrot
LSKonv	Labrale superius konvex	Medialer Punkt an größter Konvexität des Oberlippenrots
STO	Stomion	Medialer Punkt an der Mundspalte;
LIKonv	Labrale inferius konvex	Medialer Punkt an größter Konvexität des Unterlippenrots
LI	Labrale inferius	Medialer Punkt am Übergang von Unterlippenrot zu Unterlippenweiß
SM	Supramentale	Medialer Punkt an konkavster Stelle zwischen Unterlippe und Kinn
POG	Pogonion	Medialer am weitesten anterior gelegener Punkt am Kinn
GN	Gnathion	Am meisten anterior und kaudal liegender Punkt am Kinn
ME	Menton	Kaudalster Punkt des Kinns
ALAR/ ALAL	Alare curvature	Am weitesten lateral liegenden Ansatzpunkt des Nasenflügels an der Wange (rechts/ links)

CHR/ CHL	Cheilion	Lateraler Punkt am Mundwinkel (rechts/ links)
ZYGR/ ZYGL	Zygion	Punkt an breitester Stelle des Gesichts am Jochbogen, konstruiert durch Kreuzung der Linien Exocanthion zu unterstem Punkt am Ohrläppchen und Orbitale zu Porion (rechts/ links)
GOR/ GOL	Gonion	Punkt am Kieferwinkel (rechts/ links)

Übersicht der dentalen Landmarken mit Definition für das Kieferkoordinatensystem.

Landmarke		Definition
f16	Fissurenmittelpunkt 16	Schnittpunkt der Längsfissur mit nach bukkal auslaufender Fissur von Zahn 16
f26	Fissurenmittelpunkt 26	Schnittpunkt der Längsfissur mit nach bukkal auslaufender Fissur von Zahn 26
f14	Fissurenmittelpunkt 14	Mittelpunkt der Fissur von Zahn 14
f24	Fissurenmittelpunkt 24	Mittelpunkt der Fissur von Zahn 24

Übersicht der dentalen- und Gaumenlandmarken mit Definition.

Landmarke		Definition
inc11mes	Inzisal11 mesial	mesialster Punkt an der Inzisalkante von Zahn 11
inc11dist	Inzisial11 distal	distalster Punkt an der Inzisalkante von Zahn 11
inc12mes	Inzisal12 mesial	mesialster Punkt an der Inzisalkante von Zahn 12
inc12dist	Inzisal12 distal	distalster Punkt an der Inzisalkante von Zahn 12
z13	Zahn 13	Höckerspitze Zahn 13

z14	Zahn 14	bukkale Höckerspitze Zahn 14
z15	Zahn 15	bukkale Höckerspitze Zahn 15
z162	Zahn 16 mesial	mesiobukkale Höckerspitze Zahn 16
z161	Zahn 16 distal	distobukkale Höckerspitze Zahn 16
inc21mes	Inzisal21 mesial	mesialster Punkt an der Inzisalkante von Zahn 21
inc21dist	Inzisal21 distal	distalster Punkt an der Inzisalkante von Zahn 21
inc22mes	Inzisal22 mesial	mesialster Punkt an der Inzisalkante von Zahn 22
inc22dist	Inzisal22 distal	distalster Punkt an der Inzisalkante von Zahn 22
z23	Zahn 23	Höckerspitze Zahn 23
z24	Zahn 24	bukkale Höckerspitze Zahn 24
z25	Zahn 25	bukkale Höckerspitze Zahn 25
z262	Zahn 26 mesial	mesiobukkale Höckerspitze Zahn 26
z261	Zahn 26 distal	distobukkale Höckerspitze Zahn 26
gnEnde	Gaumennahtende	letzte sichtbare Stelle auf der Gaumennaht
gn5er	Gaumennaht 5er	Punkt auf der Höhe von Zahn 15 und Zahn 25 auf der Gaumennaht
gnZwEn_5er	Gaumennaht zwischen Ende und 5er	Punkt in der Mitte zw. Gaumennahtende und Gaumennaht 5er auf der Gaumennaht
Rugae3	dritte Rugae palatinae	Punkt auf Höhe des dritten Gaumenfaltenpaares auf der Gaumennaht
gnZw5er_R3	Gaumennaht zwischen 5er und Rugae3	Punkt in der Mitte von Gaumennaht 5er und dritte Rugae palatinae auf der Gaumennaht
Rugae2	Zweite Rugae palatinae	Punkt auf dem zweiten Gaumenfaltenpaar auf der Gaumennaht

distPapilla	Papilla inzisiva distal	distalster Punkt der Papilla inzisiva
mesPapilla	Papilla inzisiva mesial	Mesialster Punkt der Papilla inzisiva
cerLing11	Cervikal Lingual Zahn 11	Punkt am palatinalen Zervikalrand mittig in Kronenlängsachse auf Zahn 11
cerLing21	Cervikal Lingual Zahn 21	Punkt am palatinalen Zervikalrand mittig in Kronenlängsachse auf Zahn 21
Ling Konvex11	Lingual Konvex Zahn 11	konvexester Punkt auf der Palatinalfläche von Zahn 11
Ling Konvex21	Lingual Konvex Zahn 21	konvexester Punkt auf der Palatinalfläche von Zahn 21
Ling Konkav11	Lingual Konkav Zahn 11	konkavster Punkt auf der Palatinalfläche von Zahn 11
Ling Konkav21	Lingual Konkav Zahn 21	konkavster Punkt auf der Palatinalfläche von Zahn 21
palInc11	Palatinal inzisal Zahn 11	Übergang palatinale Fläche zur Inzisalkante am Zahn 11
palInc21	Palatinal inzisal Zahn 21	Übergang palatinale Fläche zur Inzisalkante am Zahn 21
fa12	Facial Zahn 12	Fazialpunkt des Zahns 12 mittig auf der Zahnachse
fa11	Facial Zahn 11	Fazialpunkt des Zahns 11 mittig auf der Zahnachse
fa21	Facial Zahn 21	Fazialpunkt des Zahns 21 mittig auf der Zahnachse
fa22	Facial Zahn 22	Fazialpunkt des Zahns 22 mittig auf der Zahnachse
cerBuk11	Cervikal Bukkal Zahn 11	Punkt am bukkalen Zervikalrand mittig in Kronenlängsachse auf Zahn 11
cerBuk21	Cervikal Bukkal Zahn 21	Punkt am bukkalen Zervikalrand mittig in Kronenlängsachse auf Zahn 21
mes13	Mesial Zahn 13	Mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 13

dis12	Distal Zahn 12	Distaler Kontaktpunkt des Zahnes 12
mes12	Mesial Zahn 12	Mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 12
dis11	Distal Zahn 11	Distaler Kontaktpunkt des Zahnes 11
mes11	Mesial Zahn 11	Mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 11
mes21	Mesial Zahn 21	Mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 21
dis21	Distal Zahn 21	Distaler Kontaktpunkt des Zahnes 21
mes22	Mesial Zahn 22	Mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 22
dis22	Distal Zahn 22	Distaler Kontaktpunkt des Zahnes 22
mes23	Mesial Zahn 23	Mesialer Kontaktpunkt des Zahnes 23

Anhang 4: Arbeitsanleitung für die Analyse in MATLAB®

Mit speziell in-house programmierten MATLAB®-Algorithmen (The MathWorks Inc, Natick, Massachusetts, USA)

Ablauf 3D-Gesichtsanalyse – MATLAB

- „**FaJaMuGUI.m**“ öffnen mit Matlab2018a
- In MATLAB reinklicken damit auf „**Run**“ geklickt werden kann
- „**Import 3D-Data**“ -> „**Face**“
- „**Ruhescan_xxx.ply**“ öffnen und warten
- Ggf. das Gesicht gerade ausrichten
- „**activate point selection**“ und „**select CS points**“ aktivieren.
    - → Punkte klicken (zuerst Punkt am Gesicht auswählen [kann noch frei verändert werden durch neues Klicken] und dann auf die jeweilige Bezeichnung (z.B. „Orbitale rechts“) klicken. Dann ist der jeweilige Punkt definiert.)

Landmarke	Akronym	Beschreibung	Anmerkungen
Orbitale	OR / OL	Punkt am Orbitaunterrand, eine Lidspaltbreite unter der Pupille des ungezwungenen, geradeausblickenden Auges (rechts und links)	Falls Augen geschlossen, Punkt annähernd versuchen zu setzen
Porion	PR / PL	Oberster Punkt am Gehörgang (rechts und links)	Hier gibt es oft Scanfehler: Versuchen so gut wie möglich den Oberrand zu treffen
Exocanthion	EXR / EXL	Punkt an der lateralen Kommissur der Lidspalte (rechts und links)	
Endocanthion	ENR / ENL	Punkt an der medialen Kommissur der Lidspalte (rechts und links)	
Nasion	N	Hautnasion, medialer Punkt an tiefster Einziehung zwischen Stirn und Nasenrücken	Bei allen median liegenden Punkten kommt zuerst die Seitenansicht (90° von rechts), um die stärkste Konvexität/Konkavität zu treffen (Punkt setzen) Dann umschalten auf „Front view“ und nochmal Punkt setzen: auf derselben Höhe bleiben und in die Mitte plazieren.

- „**Save CS points**“ → [Points saved] → OK klicken
- **„Generate new CS“** klicken [Koordinatensystem wird generiert]
- **„Activate Point set“,** und „**Select face analysis points**“ anklicken

Trichion	TR	Medialer Punkt am Haaransatz	Falls kein eindeutiger Haaransatz (z.B. Pony) vorhanden: Versuchen, die Haare wegzudenken und Trichion auf die Höhe des eigentlichen Haaransatzes zu setzen
Glabella	GB	Medialer Punkt an größter Konvexität über der Nasenwurzel	Zuerst von rechts klicken, dann „front view“ u. neu setzen
Pronasale	PRN	Am weitesten anterior liegender Mittelpunkt der Nasenspitze	Zuerst von rechts klicken, dann „front view“ u. neu setzen
Columella	COL	Oberster Punkt am Nasensteg vom Übergang konvex zu konkav	Zuerst von unten, dann mit Button „right view“ überprüfen.
Subnasale	SN	Medialer Punkt am Übergang der Columella in das Philtrum	Zuerst von rechts klicken, dann „front view“ und zusätzlich in freies Feld „rot stepsize [degree] 45 eingeben und auf „BACK“ klicken. Jetzt Punkt neu (in die Mitte) setzen.
Subspinale	SSP	Medialer Punkt an größter Konkavität des Philtrums	Zuerst von rechts klicken, dann „front view“ u. neu setzen
Labiale superius	LS	Medialer Punkt am Übergang von Oberlippenweiß zu Oberlippenrot	
Stomion	STO	Medialer Punkt an der Mundspalte	
Labiale inferius	LI	Medialer Punkt am Übergang von Unterlippenrot zu Unterlippenweiß	
Supramentale	SM	Medialer Punkt an konkavster Stelle zwischen Unterlippe und Kinn	Zuerst von rechts klicken, dann „front view“ u. neu setzen
Pogonion	POG	Medialer am weitesten anterior gelegener Punkt am Kinn	Zuerst von rechts klicken, dann „front view“ u. neu setzen

Gnathion	GN	Am meisten anterior und kaudal liegender Punkt am Kinn	Zuerst von rechts klicken, dann „front view“ und zusätzlich in freies Feld „rot stepsize [degree] 45 eingeben und auf „BACK“ klicken. Jetzt Punkt neu (in die Mitte) setzen.
Menton	ME	Kaudalster Punkt des Kinns	Zuerst von rechts klicken, dann „front view“ und zusätzlich in freies Feld „rot stepsize [degree] 45 eingeben und auf „BACK“ klicken. Jetzt Punkt neu (in die Mitte) setzen.
Alare curvature	ALAR/ALAL	Am weitesten lateral liegenden Ansatzpunkt des Nasenflügels an der Wange	
Cheilion	CHR / CHL	Lateraler Punkt am Mundwinkel (rechts und links)	
Zygion	ZYGR / ZYGL	Punkt an breitester Stelle des Gesichts am Jochbogen, konstruiert durch Kreuzung der Linien Exocanthion zu unterstem Punkt am Ohrläppchen und Orbitale zu Porion (rechts und links)	Hier setzt man zuerst (1) ZYG links und (2) GO links, dann (3) ZYG rechts und (4) GO rechts
Gonion	GOR / GOL	Punkt am Kieferwinkel (rechts und links)	

- „**Save points**“ und wieder über „**show/hide**“ Lage der Punkte auf Richtigkeit prüfen.
- „**Analyze face**“ klicken und warten (nicht OK klicken)

Ablauf 3D-Modellanalyse – MATLAB

- „**Import 3D-Data**“ → „**Jaw**“ → „**Yes, overwrite**“
- Hier „**Proband_xxx_OK.stl**“ öffnen und warten
- Fenster öffnet automatisch → selbe Ordnerstruktur und „**Ruhescan_xxx_TransMatFace.txt**“ öffnen.

→ Modell wird angezeigt.

- Zuerst in Eingabefeld von Gradzahl „**90**“ eingeben und 1x „**BACK“** klicken
- „**Activate point selection**“, sowie „**Activate KE-points-selection**“ aktivieren

→ Punkte durchklicken. Wieder die voreingestellte Ansicht NICHT verändern!

1.	f16:	Schnittpunkt der Längsfissur mit nach bukkal auslaufender Fissur von Zahn 16	

2.	f26:	Schnittpunkt der Längsfissur mit nach bukkal auslaufender Fissur von Zahn 26	
3.	f14:	Mittelpunkt der Fissur von Zahn 14	
4.	f24:	Mittelpunkt der Fissur von Zahn 24	

- „**Save KE points**“
- Kontrolle über „**show/hide“,** ob die Punkte auf der richtigen Seite liegen.
- „**generate occlusal plane**“

Jetzt sollte das Modell nach der Okklusionsebene ausgerichtet und als Aufsicht angezeigt werden. Wenn der Kiefer jetzt rechts/links gekippt ist, über den Button „**TILT**“ nach rechts oder links kippen, um Modell gerade auszurichten.

- „**Select jaw analysis points**“ und „**activate jaw-analysis points selection**“ anwählen.

<u>Besonderheiten:</u>

- Falls ein Zahn nicht vorhanden (außer 4er u 6er, die vorhanden sein müssen): auf „Punkt nicht anwählbar“ gehen.
- Falls 6er nicht vorhanden und 7er an 6er Stelle: Einfach 7er anstatt 6er klicken
- Falls 4er nicht vorhanden: die betreffenden Punkte auf den 5ern klicken und bei den eigentlichen 5er-Punkten diese als „Punkt nicht anwählbar“ angeben (So sowohl bei Generierung des Koordinatensystems (also Fissur 4er) und bei Klicken der restlichen Punkte (Höckerspitze 4er) verfahren!)

Nummer	Akronym	Beschreibung	Anmerkungen
5.	inc11mes:	mesialster Pkt an der Inzisalkante von Zahn 11	
6.	inc11dist:	distalster Pkt an der Inzisalkante von Zahn 11	
7.	inc12mes:	mesialster Pkt an der Inzisalkante von Zahn 12	
8.	inc12dist:	distalster Pkt an der Inzisalkante von Zahn 12	
9.	z13:	Hoeckerspitze Zahn 13	
10.	z14:	bukkale Hoeckerspitze Zahn 14	
11.	z15:	bukkale Hoeckerspitze Zahn 15	

12.	z162:	mesiobukkale Hoeckerspitze Zahn 16	
13.	z161:	distobukkale Hoeckerspitze Zahn 16	
14.	inc21mes:	mesialster Pkt an der Inzisalkante von Zahn 21	
15.	inc21dist:	distalster Pkt an der Inzisalkante von Zahn 21	
16.	inc22mes:	mesialster Pkt an der Inzisalkante von Zahn 22	
17.	inc22dist:	distalster Pkt an der Inzisalkante von Zahn 22	
18.	z23:	Hoeckerspitze Zahn 23	
19.	z24:	bukkale Hoeckerspitze Zahn 24	
20.	z25:	bukkale Hoeckerspitze Zahn 25	
21.	z262:	mesiobukkale Hoeckerspitze Zahn 26	
22.	z261:	distobukkale Hoeckerspitze Zahn 26	
23.	gnEnde:	letzte sichtbare Stelle auf der Gaumennaht	
24.	gn5er:	Pkt auf der Höhe von Zahn 15 und Zahn 25 auf der Gaumennaht	
25.	gnZwEn_5er:	Pkt in der Mitte zw. gnEnde und gn5er auf der Gaumennaht	
26.	Rugae3:	Pkt auf Höhe des 3. Gaumenfaltenpaares auf der Gaumennaht	
27.	gnZw5er_R3:	Pkt in der Mitte von gn5er und Rugae3 auf der Gaumennaht	
28.	Rugae2:	Pkt auf 2. Gaumenfaltenpaar auf der Gaumennaht	
29.	distPapilla:	distalster Pkt der Papilla inzisiva	
30.	cerLing11:	Pkt am lingualen Zervikalrand mittig in Kronenlängsachse auf Zahn 11	Bei den Punkten palatinal an den Zähnen 11 und 21: in Grad-Eingabe-Feld „20“ eingeben und 1x „BACK“ klicken.
31.	cerLing21:	Pkt am lingualen Zervikalrand mittig in Kronenlängsachse auf Zahn 21	Wie oben belassen
32.	LingKonvex11:	konvexester Pkt auf der Palatinalflaeche von Zahn 11	„
33.	LingKonvex21:	konvexester Pkt auf der Palatinalflaeche von Zahn 21	„
34.	LingKonkav11:	konkavster Pkt auf der Palatinalflaeche von Zahn 11	„

35.	LingKonkav21	konkavster Pkt auf der Palatinalflaeche von Zahn 21	„
36.	fa12	Facialer Mittelpunkt des Zahns 12	Bei den Punkten bukkal an den Zähnen 11 und 21: auf „front view“ klicken.
37.	fa11:	Facialer Mittelpunkt des Zahns 11	
38.	fa21:	Facialer Mittelpunkt des Zahns 21	Wie oben belassen
39.	fa22	Facialer Mittelpunkt des Zahns 22	
40.	cerBuk11:	Pkt am bukkalen Zervikalrand mittig in Kronenlaengsachse auf Zahn 11	„
41.	cerBuk21:	Pkt am bukkalen Zervikalrand mittig in Kronenlaengsachse auf Zahn 21	„
42.	Mes11	Mesialer Kontaktpunkt Zahn 11	
43.	Mes21	Mesialer Kontaktpunkt Zahn 21	
44.	Mes13	Mesialer Kontaktpunkt Zahn 13	
45.	Dis12	Distaler Kontaktpunkt Zahn 12	
46.	Mes12	Mesialer Kontaktpunkt Zahn 12	
47.	Dis11	Distaler Kontaktpunkt Zahn 11	
48.	Dis21	Distaler Kontaktpunkt Zahn 21	
49.	Mes22	Mesialer Kontaktpunkt Zahn 22	
50.	Dis22	Distaler Kontaktpunkt Zahn 22	
51.	Mes23	Mesialer Kontaktpunkt Zahn 23	

- „**save points**“ → „**OK**“ → Überprüfung, ob die Punkte richtig liegen über “**show/hide**” → „**Analyze jaw**“
- “**Analyze face with jaw**”

Ablauf 3D-Mundstückanalyse – MATLAB

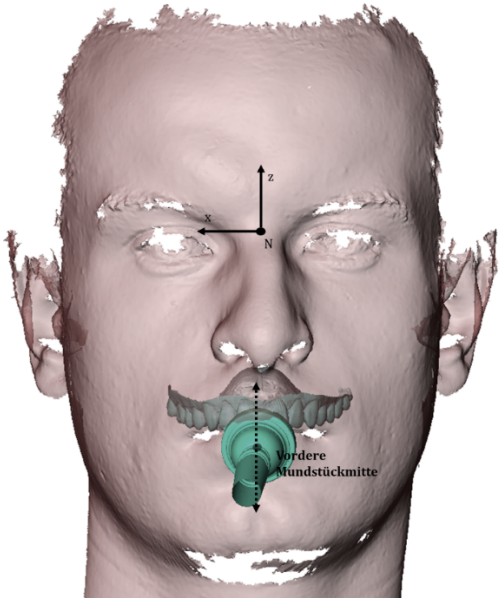
- „**Import 3D-Data**“ → „**MuMop**“ → „**Yes, overwrite**“
- „**Proband_xxx_Mouthpiece_KleinG**“ öffnen und warten.
- Fenster öffnet sich automatisch; Auswahl im selben Ordner von „**Ruhescan_xxx_TransMatFace.txt**“.
- Mundstück ausrichten (Back/Tilt) → direkte Ansicht auf die Randkontur

- **„Select analysis points“** und **„activate analysis points selection”**
- 4 Randkonturpunkte anwählen (Reihenfolge: oben -unten-links-rechts)
- Mundstück in der Sagittalen ausrichten und Kreispunkte anwählen (Vorne/Hinten) dreht automatisch um 120°
- **“Safe Points” → Ok → “Analyze Mumop” → „Analyze MuMop with jaw and face”**

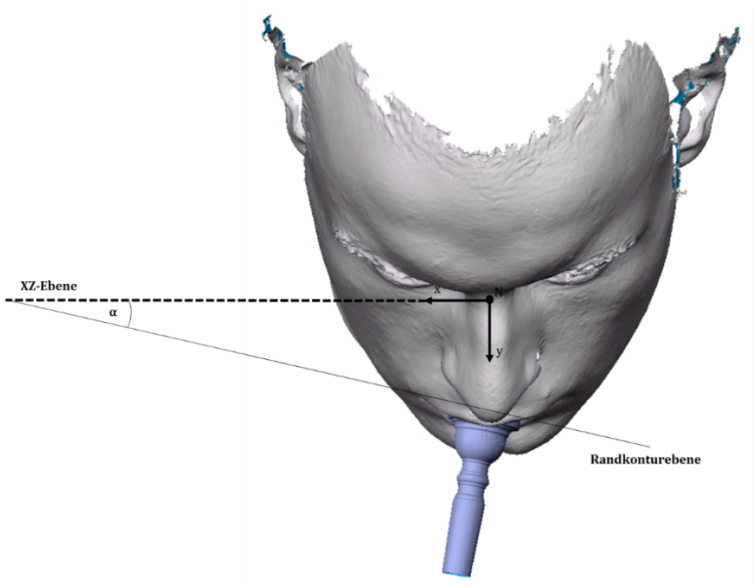
- Neues Mundstück: (insgesamt 9x):
  Import 3D-Data“ → „**MuMop**“ → „**Yes, overwrite**“ → Ordnerstruktur „**07_Daten_Musiker**_Proband_xx“
- Hier „**Proband_xxx_Mouthpiece_GrossG**“ öffnen und warten
- Fenster öffnet sich automatisch; Auswahl im selben Ordner von „**Ruhescan_xxx_TransMatFace.txt**“

Am Ende der Auswertung sind **61 Dateien** im Zielordner gespeichert.

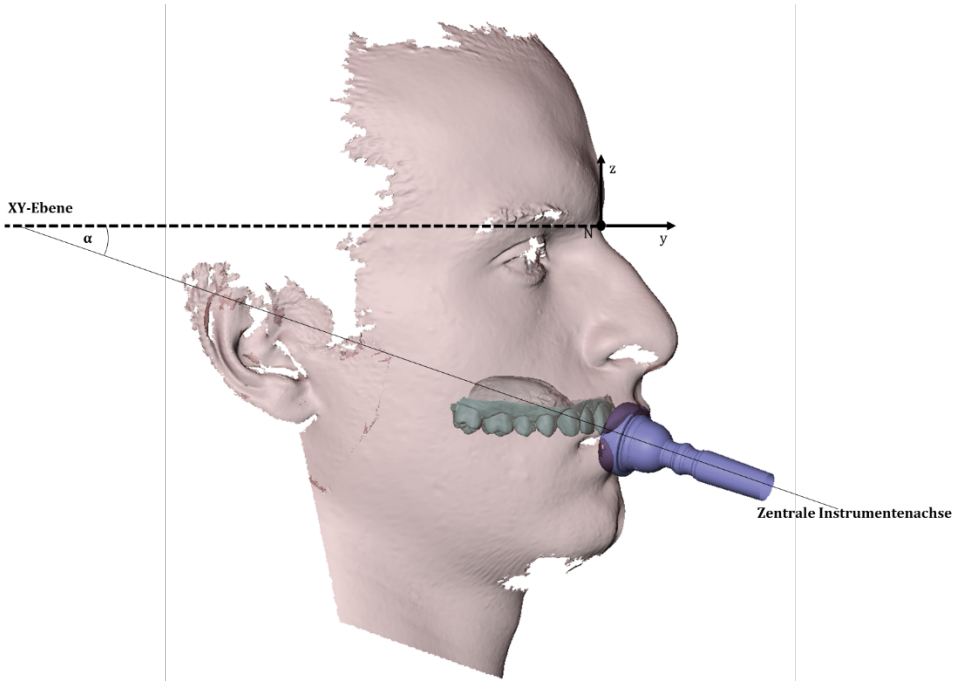
Anhang 5: Schematische Darstellung der Auswertungsparameter



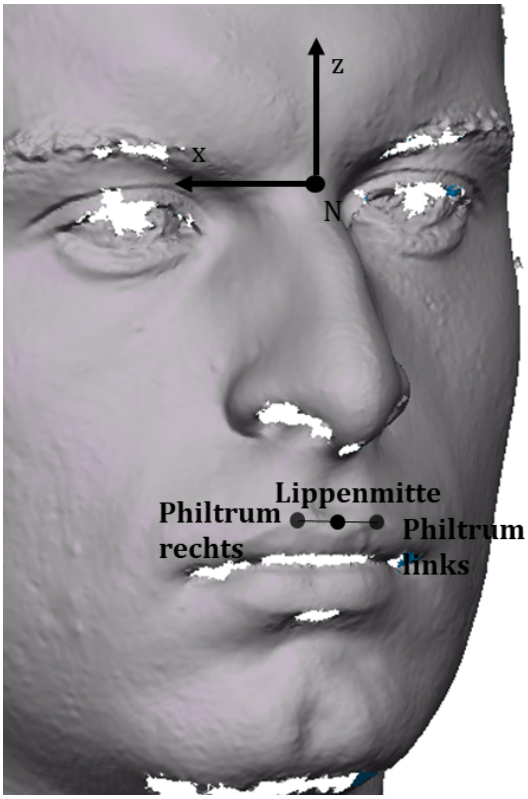
Schematische Darstellung der „vertikalen Mundstückposition“ in frontaler Ansicht (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



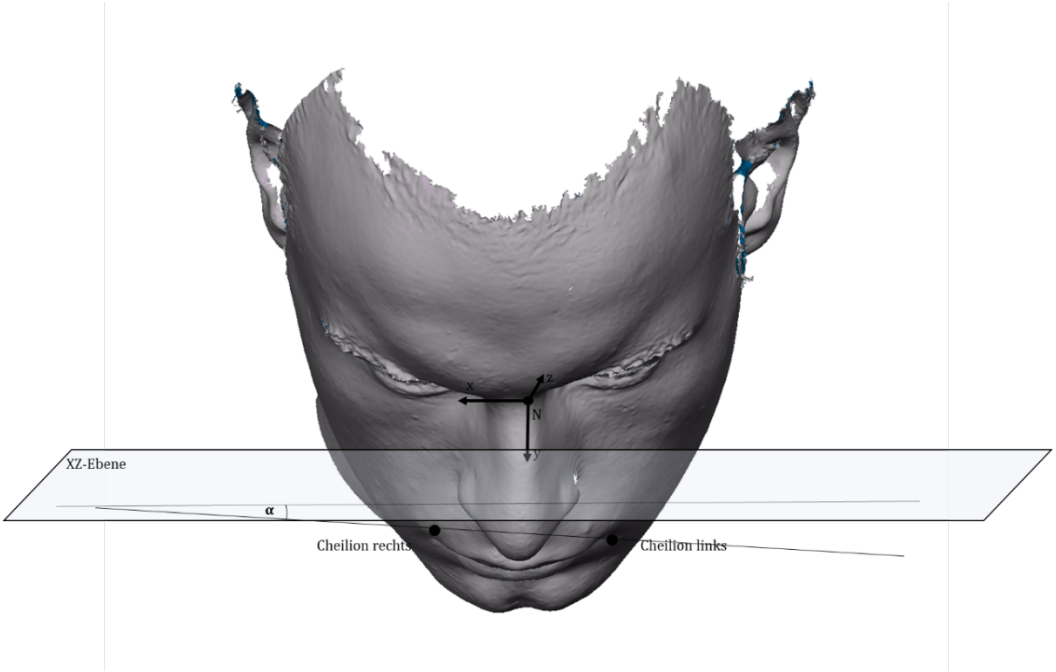
Darstellung der „transversalen Mundstückneigung“ in der Ansicht von kranial (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



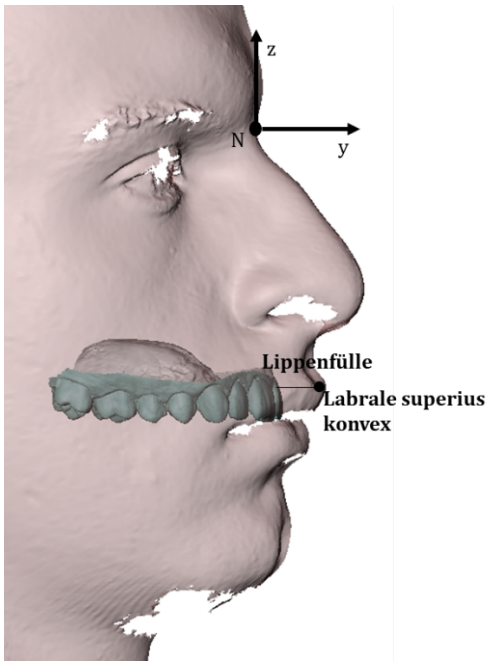
Darstellung der „sagittalen Mundstückneigung“ in der seitlichen Ansicht (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



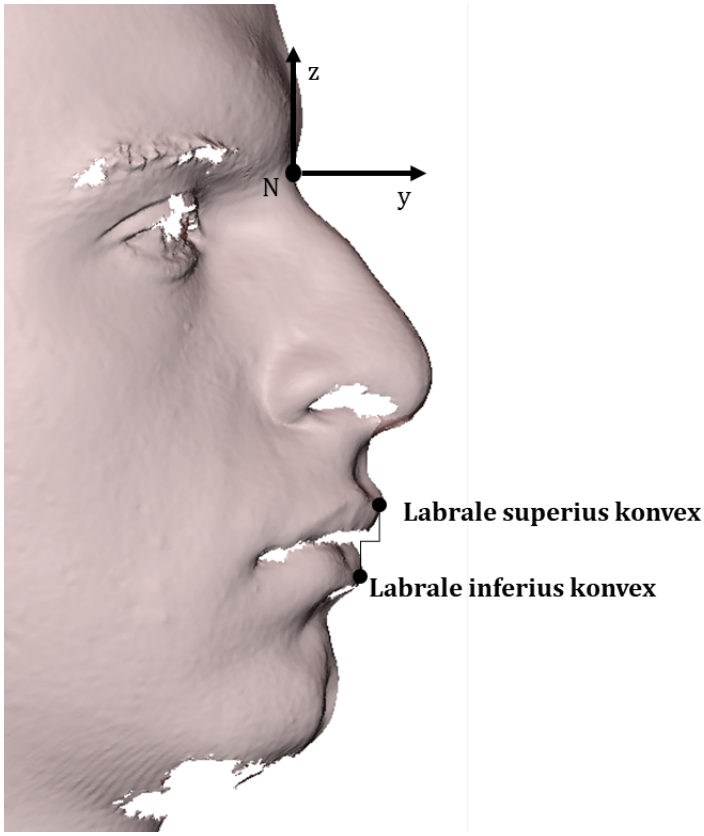
Schematische Darstellung des anatomischen Parameters „Oberlippenmitte“ in einer frontalen nach links geneigten Ansicht (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



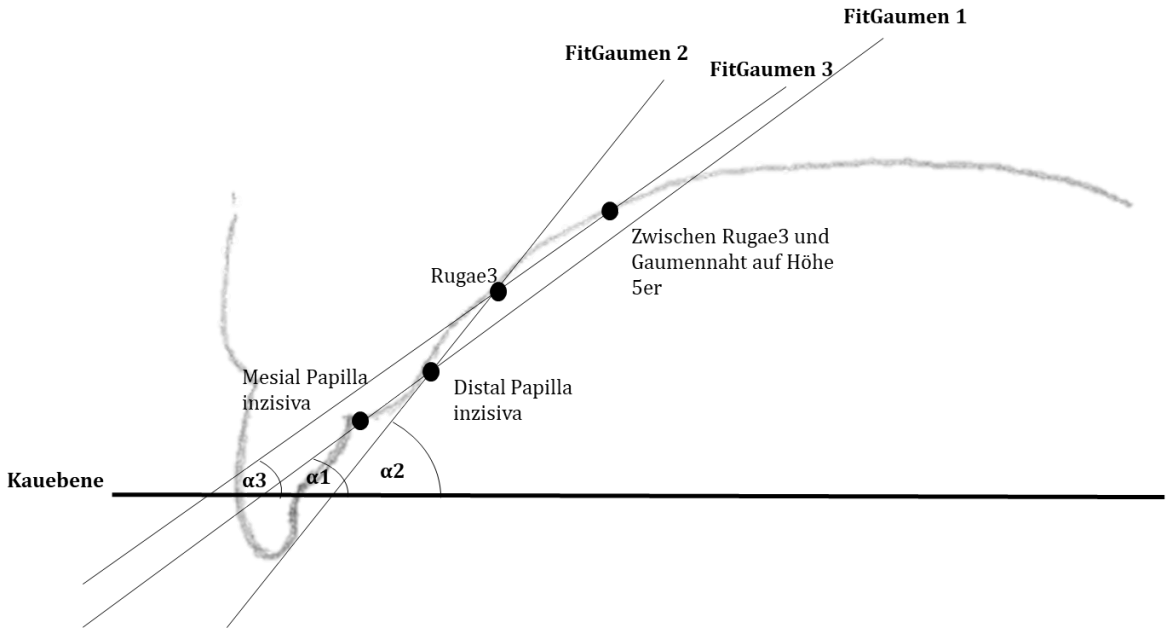
Schematische Darstellung des anatomischen Parameters „Lippensymmetrie“ in der transversalen Ansicht (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



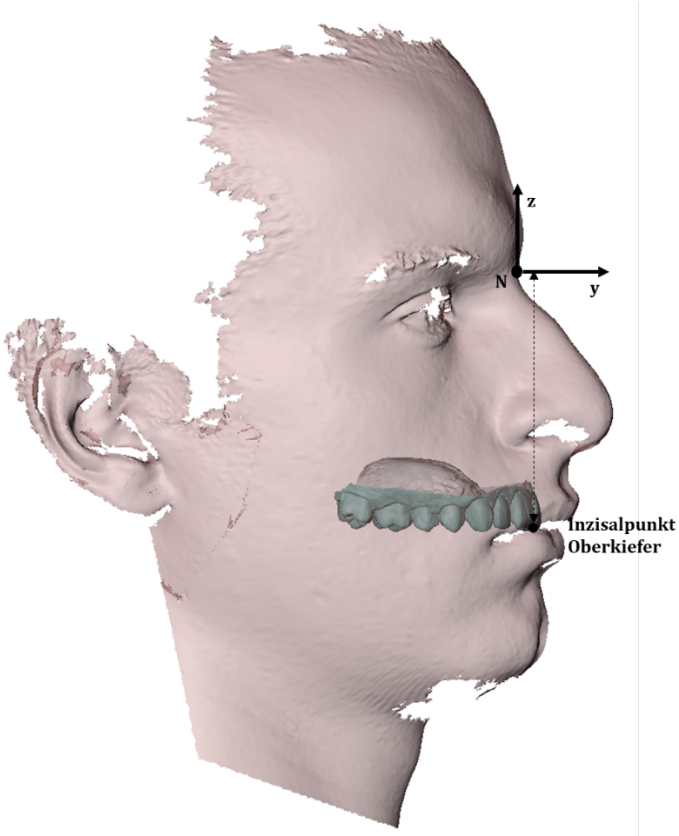
Schematische Darstellung des anatomischen Parameters „Lippenfülle“ in der sagittalen Ansicht (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



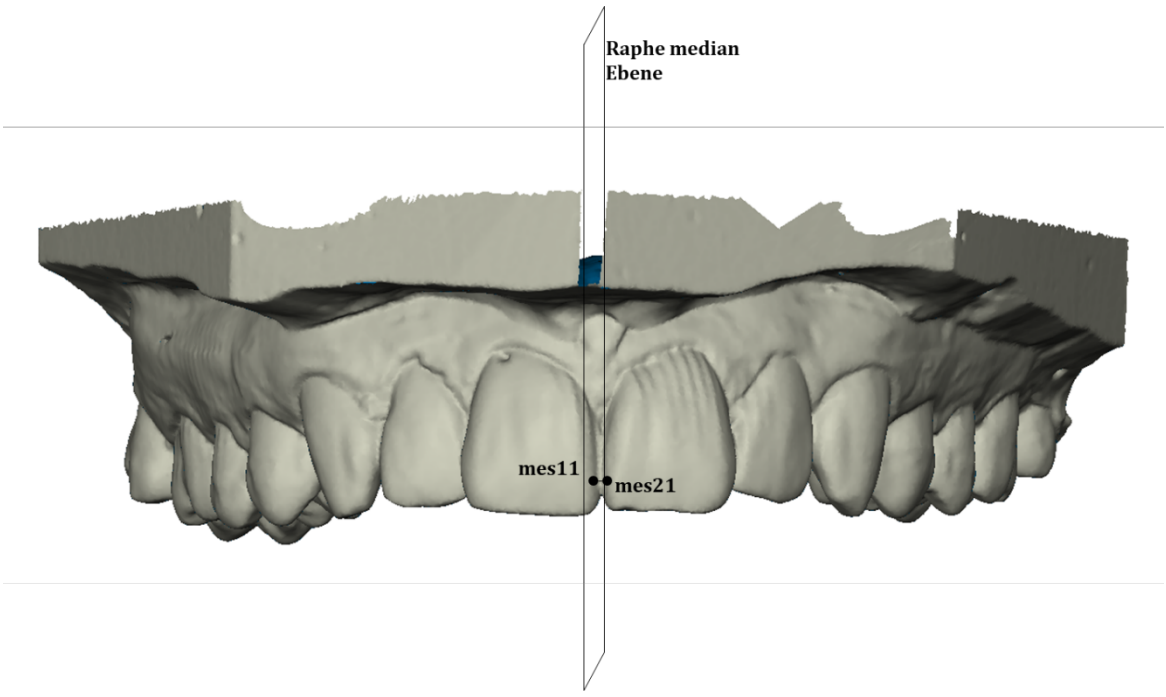
Schematische Darstellung des anatomischen Parameters „Lippentreppe“ in der sagittalen Ansicht (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



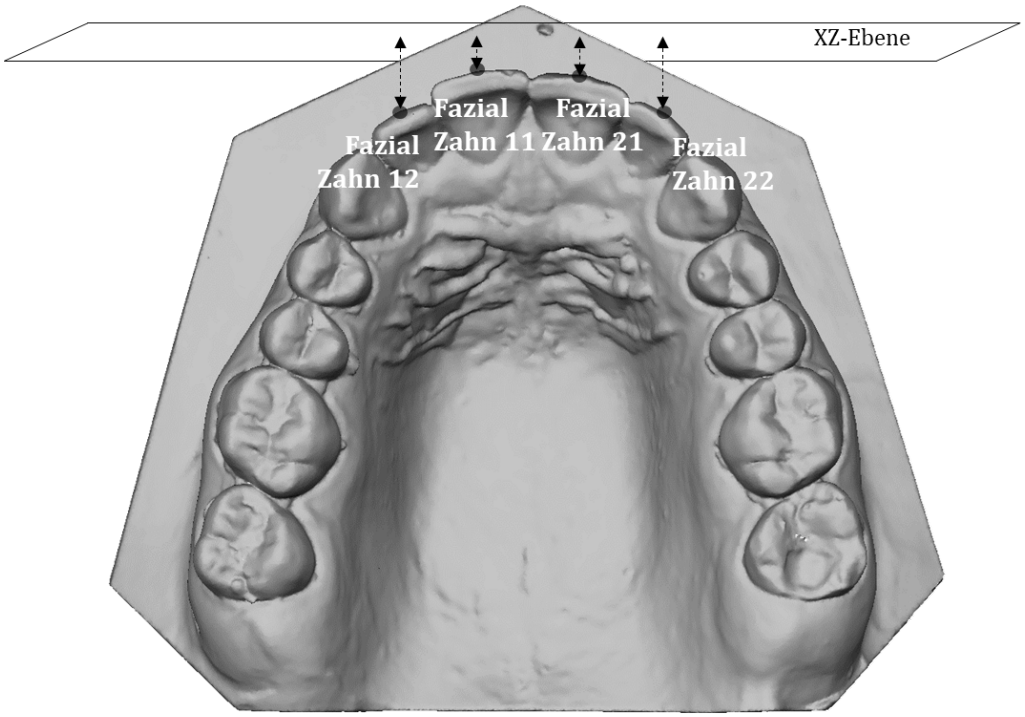
Schematische Zeichnung des Gaumens in der sagittalen Ansicht. Dargestellt sind die drei Verbindungslinien „FitGaumen1-3“ und deren Winkel (α 1-3) mit der Kauebene; eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



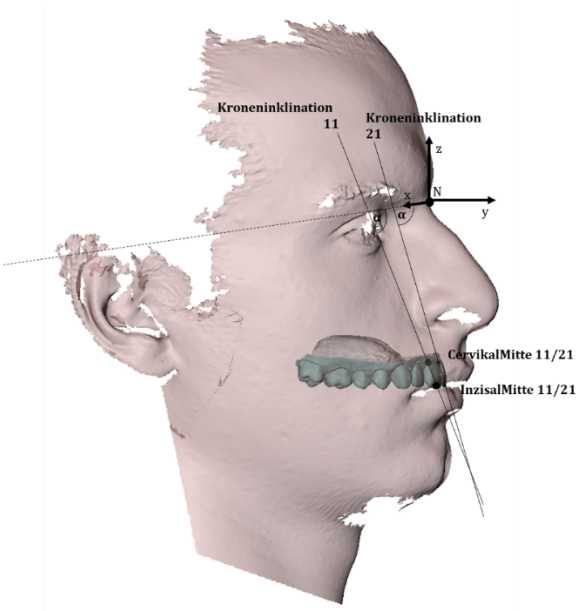
Schematische Darstellung des dentalen Parameters „Inzisalpunkt Oberkiefer“ in der sagittalen Ansicht (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



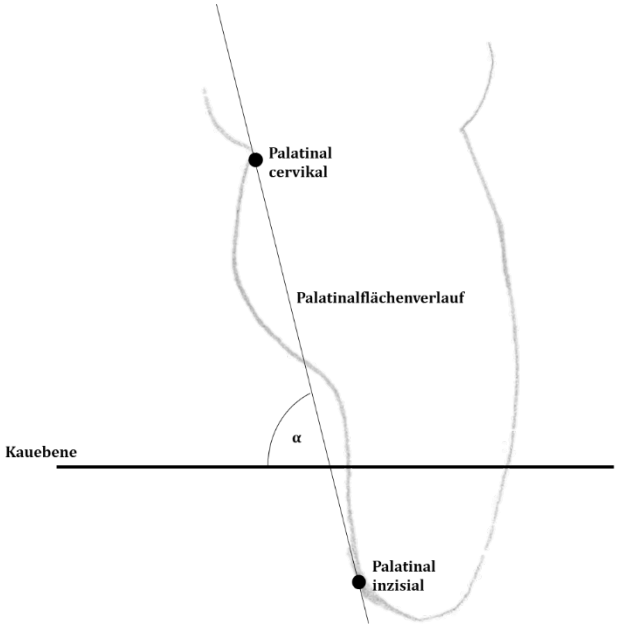
Schematische Darstellung des dentalen Parameters „dentale Mitte“ in der frontalen Ansicht; eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



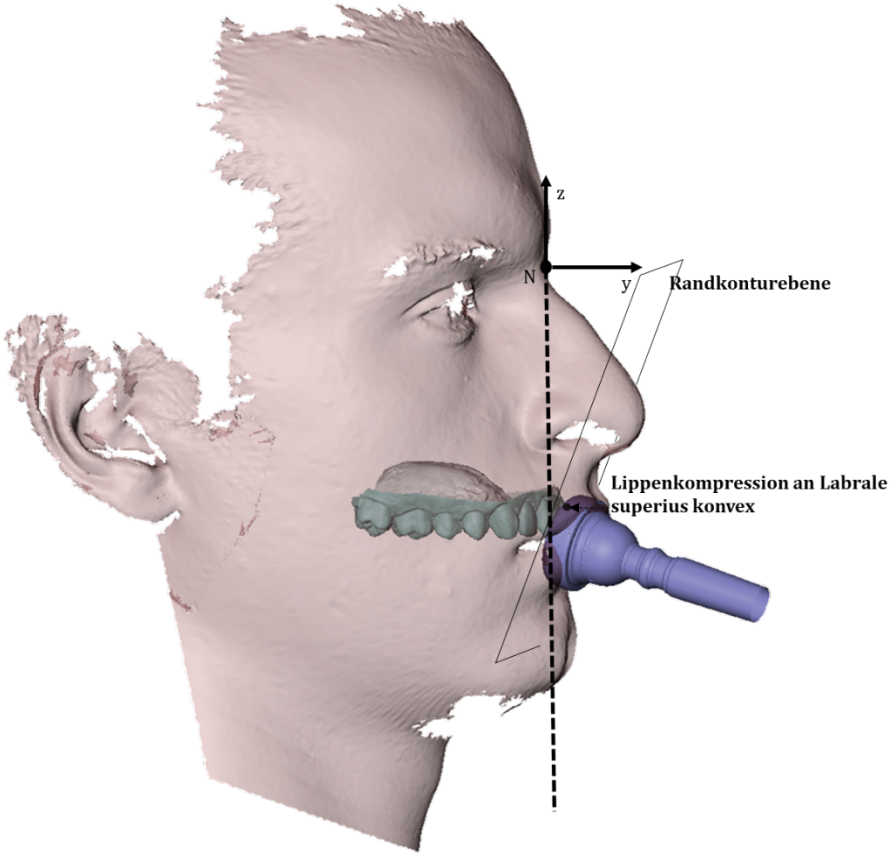
Schematische Darstellung des dentalen Parameters „Zahnbogensymmetrie der Zähne 12-22“ in der okklusalen Ansicht des Oberkiefermodells; die Referenz der XZ-Ebene gehört zu dem Gesichtskoordinatensystem; eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



Schematische Darstellung des dentalen Parameters „Kroneninklination der Zähne 11 und 21“ in der sagittalen Ansicht (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



Schematische Zeichnung eines mittleren Frontzahnes in der sagittalen Ansicht für den „Palatinalflächenverlauf"; die Verbindungslinie zwischen den palatinalen Markierungen am Übergang Gingiva zu Zahn und der inzisalen Kante bildet einen Winkel (α) mit der Kauebene; eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.



Schematische Darstellung der Auswertung der „Lippenkompression". Der Abstand zwischen dem Weichgewebspunkt Labrale superius konvex im Ruhegesicht zum Schnittpunkt des Vektors mit der Randkonturebene wird in y-Richtung bestimmt (N: Nasion); eigene Abbildung, Universitätsklinikum Ulm, 2019.

Anhang 6: Beispielhafte Darstellung der Ergebnistabellen eines Probanden von MATLAB®

1. Ergebnisse Gesichtsanalyse; Koordinaten der Landmarken im Gesichtskoordinatensystem

Vorgesicht: Subnasale liegt vor Nasion 8.3515 mm		
Vorgesicht - Hinten Schief: Weichteilpogonion liegt im 1/3 Bereich hinter Subnasale 17.741 mm		
---	---	---
	|im Raum|	|projiziert|
---	---	---
Kollmann‘sche Gesichtsdrittelung	[%]	
	im Raum	proj. auf Frontalebene
Stirndrittel	37,02	36,20
Nasendrittel	30,16	29,84
Kieferdrittel	35,75	33,96
---	---	---
Schwarz‘sche Gesichtsdrittelung	[%]	
	im Raum	proj. auf Frontalebene
Stirndrittel	28,78	27,67
Nasendrittel	37,82	37,61
Kieferdrittel	36,97	34,72
---	---	---
Unteres Gesichtsdrittel nach Proffit	[%]	
	im Raum	proj. auf Frontalebene
SNST-Drittel	38,70	38,73
STOSM-Drittel	33,77	32,05
SMGN-Drittel	28,16	29,22
---	---	---
Nasenlaenge	51,62	44,84
---	---	---
Lippenverlauf	[mm]	
N zu CHR	-83,78	
N zu CHL	-82,77	
---	---	---
Transversale Lippensymmetrie	[mm]	
N zu CHR	-15,58	
N zu CHL	-17,05	
N zu PHR	9,14	
N zu PHL	8,48	
---	---	---
Sagittale Lippentreppe	[mm]	
N zu LSKONVEX	9,28	

N zu LIKONVEX	2,58	
---	---	---
Esthetic Line	[mm]	
	im Raum	proj. auf Sagittalebene
LS zu Esthetic-Line	0,82	0,36
LI zu Esthetic-Line	1,34	1,04
---	---	---
	[Grad]	
	im Raum	proj. auf Frontalebene
Winkel zw. Mund und den Augen	1,56	0,47
---	---	---
Sag. zu PRN	-0,58	
Sag. zu SN	-0,68	
Sag. zu POG	-2,46	
Sag. zu LS	-2,16	
Sag. zu LI	-2,73	
Sag. zu ALAR	20,26	
Sag. zu ALAL	-20,16	
---	---	---
SNA (Winkel PRL-N-SSP)	68,39	
SNB (Winkel PRL-N-SM)	79,13	
---	---	---
NSLW (Winkel COL-SN-SSP)	65,52	
---	---	---
Gesichtsbreite (Jochbeinbreite)	129,78	129,29
---	---	---
Zeitaufwand Punkteselektion	00:04:03	

Point	X	Y	Z
OR	30,57	-13,47	-29,82
OL	-33,55	-13,97	-26,18
PR	70,55	-98,51	-27,14
PL	-69,56	-102,21	-28,81
EXR	51,56	-26,93	-11,07
ENR	18,52	-14,11	-9,66
EXL	-52,82	-26,83	-9,81
ENL	-19,44	-14,21	-9,53
N	0	0	0
TR	-1,26	-14,79	69,37
GB	-0,51	0,55	15,73
PRN	-0,58	25,57	-44,84
COL	0,02	19,02	-53,15
SN	-0,68	8,35	-57,18
SSP	-1,01	6,81	-64,42
PHR	5,83	9,14	-72,85
PHL	-9,41	8,48	-73,89
LS	-2,16	9,58	-75,67
LSKONVEX	-1,48	9,28	-76,87
STO	-1,66	0,17	-82,38
LI	-2,73	0,23	-92,64
LIKONVEX	-1,90	2,58	-88,92
SM	-2,55	-9,83	-103,24
POG	-2,46	-9,39	-113,99
GN	-2,14	-13,04	-122,25
ME	-2,69	-16,20	-124,49
ALAR	20,26	-6,35	-50,88
CHR	26,25	-15,58	-83,78
ALAL	-20,16	-6,90	-49,82
CHL	-30,37	-17,05	-82,77
ZYGL	-66,96	-44,86	-25,83
GOL	-65,23	-80,89	-67,15
ZYGR	62,33	-33,95	-28,47
GOR	64,83	-66,47	-71,42

2. Ergebnisse Kieferanalyse; Koordinaten der Landmarken im Gesichtskoordinatensystem und Kieferkoordinatensystem

Punkt	X	Y	Steigung in Grad	Steigung in Prozent
GaumenEnde	0,00	18,22		
Gaumen Zw. GEnd und 5er	12,28	17,26	4,45	7,78
Gn zw. 15 u. 25	21,95	16,02	7,35	12,90
Gn zw. 5er u. Rug3	23,81	15,10	26,24	49,29
Zw. 3tes Rugae Paar	25,57	13,97	32,72	64,26
Zw. 2tes Rugae Paar	29,54	11,36	33,30	65,69
dist. Papilla	36,63	6,33	35,34	70,91
Zw den 1ern	45,38	2,64	22,89	42,21
----------	----------	----------	----------	----------
Transv. Sym.vergl.				
f16 zu Raphe	21,98			
f26 zu Raphe	24,95			
Abstand f16 u. f26 auf Raphe	5,10			
----------	----------	----------	----------	----------
dentale Mittellinienverschiebung				
Mes11 zu Raphe	-1,78			
Mes21 zu Raphe	2,73			
Mitte Mes11 und Mes21 zu Raphe	-2,25			
----------	----------	----------	----------	----------
GhIndex 6er	38,60			
----------	----------	----------	----------	----------
Kontaktpunktabweichungen (Prominente Zahnkanten)	im Raum	projiziert auf KE		
Mes13 zu Dist12	3,45	1,04		
Mes12 zu Dist11	0,70	0,58		
Mes11 zu Mes21	1,22	0,97		
Mes22 zu Dist21	0,80	0,72		
Mes23 zu Dist22	1,14	1,04		
----------	----------	----------	----------	----------
Incisalkantenlaengen	im Raum	projiziert auf KE		
Zahn 12	6,41	6,41		
Zahn 11	8,31	8,31		
Zahn 21	7,68	7,67		
Zahn 22	5,36	5,33		
----------	----------	----------	----------	----------
Rotationen der Inzisivi (Inzisalkantenverlauf) [Grad]				
Zahn 12	73,89			
Zahn 11	81,71			

Zahn 21	66,65			
Zahn 22	63,55			
----------	----------	----------	----------	----------
Palatinalflächenverlauf (Winkel zur KE) [Grad]				
LingKonkav11, LingKonvex11	36,23			
LingKonkav11, palinzisal11	59,92			
cerLing11, palinzisal11	45,16			
LingKonkav21, LingKonvex21	33,89			
LingKonkav21, palinzisal21	55,45			
cerLing21, palinzisal21	42,35			
----------	----------	----------	----------	----------
Transversale Zahnbogenbreite				
vordere F14 zu F24	38,23			
hintere F16 zu F26	47,20			
----------	----------	----------	----------	----------
vordere Zahnbogenlaenge	18,53			
hintere Zahnbogenlaenge	33,28			
----------	----------	----------	----------	----------
Zeitaufwand Punkteselektion	00:06:35			

	GKS				KKS		
Point	X	Y	Z		X	Y	Z
F16	22,18	-34,03	-70,80		-21,87	-3,70	-1,75
F26	-24,74	-39,18	-71,15		24,96	-8,27	2,03
F14	16,87	-19,64	-73,55		-16,65	10,99	-2,10
F24	-20,98	-24,80	-75,25		21,05	6,64	2,56
inc11mes	-1,54	-4,98	-80,32		1,46	26,94	2,03
inc11dist	6,68	-6,11	-79,75		-6,72	25,65	1,34
inc12mes	7,67	-6,60	-79,39		-7,71	25,08	1,05
inc12dist	13,81	-8,25	-78,54		-13,80	23,23	0,30
Z13	18,08	-9,27	-77,69		-18,02	22,01	-0,50
Z14	20,41	-18,24	-76,93		-20,35	13,09	0,69
Z15	21,35	-25,06	-76,04		-21,26	6,24	1,34
Z162	24,36	-30,52	-73,37		-24,15	0,30	-0,16
Z161	25,89	-36,75	-72,65		-25,67	-5,95	0,48
inc21mes	-3,05	-4,78	-80,72		2,95	27,24	2,45
inc21dist	-10,11	-7,72	-80,06		10,02	24,28	2,82
inc22mes	-12,06	-8,23	-80,42		11,95	23,88	3,38
inc22dist	-16,87	-10,44	-79,52		16,79	21,56	3,24
Z23	-20,17	-15,96	-80,58		20,02	16,46	5,69
Z24	-23,59	-23,63	-78,55		23,50	8,55	5,63
Z25	-25,51	-30,66	-77,10		25,46	1,39	5,91
Z262	-27,28	-37,10	-73,69		27,38	-5,64	4,15

Z261	-27,77	-41,60	-72,70		27,90	-10,25	4,23
gnEnde	-0,74	-47,98	-49,56		2,02	-21,94	-18,12
gn5er	0,08	-27,10	-56,67		0,92	0,00	-16,00
gnZwEn_5er	-0,34	-36,25	-53,27		1,48	-9,67	-17,21
Rugae3	0,41	-24,05	-59,47		0,47	3,61	-13,99
gnZw5erR3	0,16	-25,50	-57,99		0,78	1,86	-15,09
Rugae2	-0,31	-20,78	-62,96		1,02	7,60	-11,31
distPapilla	-1,08	-15,03	-69,51		1,49	14,69	-6,21
mesPapilla	-1,92	-7,36	-75,15		2,08	23,45	-2,43
cerLing11	2,01	-10,28	-72,51		-1,72	19,98	-4,53
cerLing21	-5,17	-11,27	-72,83		5,42	19,15	-3,64
LingKonvex11	2,34	-8,69	-74,72		-2,15	22,02	-2,76
LingKonvex21	-5,81	-9,68	-74,75		5,98	21,14	-2,11
LingKonkav11	2,26	-6,61	-77,16		-2,19	24,61	-0,85
LingKonkav21	-6,73	-7,56	-77,24		6,78	23,77	-0,13
palinzisal11	2,20	-5,86	-79,67		-2,25	25,91	1,42
palinzisal21	-6,25	-6,46	-80,09		6,17	25,48	2,37
fa12	11,01	-5,46	-76,05		-10,87	25,41	-2,62
fa11	2,90	-3,22	-76,18		-2,77	27,68	-2,61
fa21	-7,06	-4,45	-77,22		7,12	26,79	-0,83
fa22	-15,23	-7,87	-76,83		15,29	23,44	-0,04
cerBuk11	3,22	-3,40	-70,98		-2,83	26,32	-7,64
cerBuk21	-7,03	-4,19	-71,49		7,38	25,75	-6,47
mes11	-1,46	-3,94	-78,59		1,46	27,56	0,11
mes21	-2,37	-3,96	-79,40		2,34	27,73	0,94
mes13	14,75	-7,46	-74,19		-14,52	23,00	-4,15
dis12	14,17	-8,93	-77,26		-14,10	22,28	-0,81
mes12	7,21	-7,60	-77,24		-7,14	23,63	-0,79
dis11	6,82	-7,28	-77,74		-6,78	24,05	-0,36
dis21	-10,85	-7,17	-78,55		10,84	24,48	1,26
mes22	-11,58	-7,17	-78,23		11,58	24,42	0,99
dis22	-16,81	-12,01	-77,87		16,80	19,66	1,99
mes23	-17,86	-12,10	-77,42		17,87	19,48	1,62

3. Ergebnisse Kombinierte Gesichts-Kiefer-Analyse

Drehung um [X Y Z tot] Face-Jaw	-13,18	4,03	1,02	13,17
Verschiebung um [X Y Z tot] Face-Jaw	0,22	-30,76	-72,28	78,55
--------	--------	--------	-------	------
Kauebenenverlauf	[mm]			
F14 zu N	-73,55			
F24 zu N	-75,25			
F16 zu N	-70,80			
F26 zu N	-71,15			

--------	--------	--------	--------	-------
Zahnbogensymmetrie	[mm]			
fa12 zu N	-5,46			
fa11 zu N	-3,22			
fa21 zu N	-4,45			
fa22 zu N	-7,87			
--------	--------	--------	--------	-----
Kroneninklination	zur FH [Grad]	zur KE [Grad]		
KrInk11	48,57	45,00		
KrInk21	62,42	58,32		
--------	--------	--------	--------	-------
Lippenfuelle				
Position fa11 im Gesicht	2,90	-3,22	-76,18	
Position fa21 im Gesicht	-7,06	-4,45	-77,22	
	[mm]			
Abstand (in Y) fa11 zu PHR	12,36			
Abstand (in Y) fa21 zu PHL	12,94			
-------------------------	--------	--------	--------	-------
	Y-Pos. im Gesicht	Distanz zum Kiefer		
PHR	9,14			
Schnittpunkt(e) PHR mit Kiefer	-4,14	13,27		
	-11,12	20,26		
PHL	8,48			
Schnittpunkt(e) PHL mit Kiefer	-5,04	13,52		
	-12,45	20,93		
LS	9,58			
Schnittpunkt(e) LS mit Kiefer	-4,71	14,28		
	-6,75	16,33		
LSKONVEX	9,28			
Schnittpunkt(e) LSKONVEX mit Kiefer	-4,08	13,36		
	-5,90	15,18		
LI	0,23			
Schnittpunkt(e) LI mit Kiefer				
LIKONVEX	2,58			
Schnittpunkt(e) LIKONVEX mit Kiefer				

4. Ergebnisse Mundstückanalyse – Beispielhaft eine Wiederholung einer Tonhöhe; Koordinaten der Mundstückpunkte im Gesichtskoordinatensystem

Lage Mundstueck im Gesicht	[mm]						
Mundstueck liegt	0,17	mm in der rechten Gesichtshaelfte					
Mundstueck liegt	-4,14	mm hinter der Frontalebene (N)					
Mundstueck liegt	-82,98	mm unter Nasion					
--------	-------	-------	------	---- --	-----	-----	-------
Lippenmitte (LS, PHR/2+PHL/2) [X Y Z]	-2,16	9,58	-75,67		-1,79	8,81	-73,37
Dentale Mitte (mes11/2+ mes21/2) [X Y Z]	-1,91	-3,95	-79,00				
Rugae2 Postion im Gesicht [X Y Z]	-0,31	-20,78	-62,96				
--------	--------	--------	--------	----	-------	--------	--------
Lippenkompression	Lage auf der y-Achse				Schnittpunkt mit der RKebene		
PHR	9,14				5,83	2,26	-72,85
PHL	8,48				-9,41	1,90	-73,89
LS	9,58				-2,16	0,61	-75,67
LI	0,23				-2,73	-10,30	-92,64
LSKONVEX	9,28				-1,48	-0,18	-76,87
LIKONVEX	2,58				-1,90	-7,92	-88,92
--------	--------	--------	--------	----	-------	--------	--------
Transversale Mundstueckneigung [Grad]	0,71	Projiziert auf die FH					
Sagittale Mundstueckneigung [Grad]	32,63	Projiziert auf die Sagittalebene					

Point	X	Y	Z
randkontur1	-0,13	-10,25	-92,51
randkontur2	-0,57	2,27	-73,05
randkontur3	10,74	-4,56	-83,27
randkontur4	-11,69	-3,91	-82,97
schaftVorne1	-0,04	17,75	-89,94
schaftHinten1	0,52	31,55	-98,74
schaftVorne2	5,66	12,81	-97,16
schaftHinten2	5,69	26,77	-106,46
schaftVorne3	-4,72	12,99	-97,58
schaftHinten3	-4,18	26,55	-106,95

Anhang 7: Ergebnisse Frage- und Befundbogen

Alters- und geschlechterspezifische Auflistung der Probanden pro Instrumentengruppe und Gesamt(n); der Mittelwert (MW), sowie die Minimal- (Min) und Maximalwerte (Max) des Alters sind in Jahren [a] und zum Zeitpunkt der Auswertung 2018 angegeben; Universität Ulm, 2019.

	Trompete [n=20] (m=17/w=3)	**Horn** [n=14] (m=8/w=6)	**Posaune** [n=16] (m=15/w=1)	**Gesamt** [n=50] (m=40/w=10)
MW [a]	36,3	29,86	31,56	32,98
Min [a]	20	21	20	20
Max [a]	56	49	54	56

Übersicht mit Mittelwert (MW), Minimum (Min) und Maximum (Max) in Stunden pro Woche (h/w) der zur Befragung aktuellen täglichen Spieldauer der Musiker für die einzelnen Instrumentengruppen und Gesamt (n); Universität Ulm, 2019.

	Trompete [n=20]	**Horn** [n=14]	**Posaune** [n=16]	**Gesamt** [n=50]
MW [h/w]	23,44	21,14	17,75	20,98
Min [h/w]	12	15	10	10
Max [h/w]	35,5	35	30	35,5

Übersicht der relativen [%] und absoluten [n] „ja“-Antworten der dichotomen Fragen zur Einschätzung der Instrumentenhaltung der einzelnen Instrumentengruppen und Gesamt [n]; Universität Ulm, 2019.

		Trompete [n=20]	**Horn** [n=14]	**Posaune** [n=16]	**Gesamt** [n=50]
Haben Sie besondere Gewohnheiten bezüglich des Ansatzes?	relativ [%]	10	29	31	22
	absolut [n]	2	4	5	11
Haben Sie manchmal Probleme mit Ihrem Ansatz?	relativ [%]	15	43	25	26
	absolut [n]	3	6	4	13
Fühlen Sie sich beim Spielen durch eine Zahnfehlstellung oder andere mit den Zähnen bzw. Kiefern in Verbindung stehenden Problemen beeinträchtigt?	relativ [%]	15	29	6	16
	absolut [n]	3	4	1	8

Halten Sie Ihr Instrument beim Musizieren bewusst in einer bestimmten Position?	relativ [%]	35	29	38	34
	absolut [n]	7	4	6	17
Haben Sie die Haltung des Instruments schon einmal bewusst verändert?	relativ [%]	45	36	44	42
	absolut [n]	9	5	7	21

Relative [%] und absolute [n] Angaben der Musiker instrumentenspezifisch und Gesamt [n] zu Auffälligkeiten des stomatognathen Systems während oder nach dem Musizieren; Universität Ulm, 2019.

		Trompete [n=20]	**Horn** [n=14]	**Posaune** [n=16]	**Gesamt** [n=50]
Beobachten bzw. fühlen Sie während oder nach dem Spielen,					
dass die Zähne locker werden?	relativ [%]	10	21	19	16
	absolut [n]	2	3	3	8
dass die Zähne fester werden?	relativ [%]	0	7	0	2
	absolut [n]	0	1	0	1
Schmerzen im Bereich der Zähne?	relativ [%]	5	29	13	14
	absolut [n]	1	4	2	7
Beschwerden am Kiefergelenk?	relativ [%]	20	14	6	14
	absolut [n]	4	2	1	7
Verspannungen der Kaumuskulatur?	relativ [%]	20	36	25	26
	absolut [n]	4	5	4	13
Einquetschen der Lippe zwischen Mundstück und Zähnen?	relativ [%]	25	21	31	26
	absolut [n]	5	3	5	13
Schmerzen/ Verspannungen der Lippenmuskulatur?	relativ [%]	30	50	31	36
	absolut [n]	6	7	5	18
Taubheitsgefühl im Bereich der Lippe?	relativ [%]	0	7	13	6
	absolut [n]	0	1	2	3

Übersicht über die relativen [%] und absolute [n] Angaben der Instrumentengruppen und Gesamt [n] zu möglichen Komplikationen durch zahnmedizinische Behandlungen oder auftretenden Krankheitsbilder im Kopf-Hals-Bereich; Universität Ulm, 2019.

		Trompete [n=20]	**Horn** [n=14]	**Posaune** [n=16]	**Gesamt** [n=50]
Haben bzw. hatten Sie schon einmal Ansatzstörungen als Folge neuer Füllungen oder Kronen?	relativ [%]	5	0	0	2
	absolut [n]	1	0	0	1
Fühlen Sie sich beim Spielen beeinträchtigt durch schlechten Prothesenhalt?	relativ [%]	5	0	0	2
	absolut [n]	1	0	0	1
Fühlen Sie sich beim Spielen beeinträchtigt durch eine kieferorthopädische Apparatur?	relativ [%]	5	0	0	2
	absolut [n]	1	0	0	1
Fühlen Sie sich beim Spielen beeinträchtigt durch Mundtrockenheit?	relativ [%]	20	43	6	22
	absolut [n]	4	6	1	11
Liegt bei Ihnen ein Tinnitus vor?	relativ [%]	10	0	0	4
	absolut [n]	2	0	0	2
Liegen bei Ihnen Zahnwanderungen vor?	relativ [%]	5	29	6	12
	absolut [n]	1	4	1	6
Liegen bei Ihnen Beschwerden im Kopf-/Gesichtsbereich vor?	relativ [%]	0	7	0	2
	absolut [n]	0	1	0	1

Spezielle zahnmedizinische Fragen mit relativen [%] und absoluten [n] Angaben der einzelnen Instrumentengruppen und Gesamt [n]; Universität Ulm, 2019.

		Trompete [n=20]	**Horn** [n=14]	**Posaune** [n=16]	**Gesamt** [n=50]
Hatten Sie jemals eine Zahnspange?	relativ [%]	35	79	50	52
	absolut [n]	7	11	8	26
Ereignete sich bei Ihnen jemals ein Frontzahntrauma?	relativ [%]	35	14	0	18
	absolut [n]	7	2	0	9
Wurde bei Ihnen bereits eine Krone, Brücke oder Prothese eingegliedert?	relativ [%]	20	29	19	22
	absolut [n]	4	4	3	11
Knirschen Sie mit den Zähnen?	relativ [%]	35	50	25	36
	absolut [n]	7	7	4	18
Schnarchen Sie?	relativ [%]	50	14	50	40
	absolut [n]	10	2	8	20
Waren Sie jemals aufgrund von Zungenfehlfunktionen in Behandlung?	relativ [%]	0	7	13	6
	absolut [n]	0	1	2	3

Übersicht über den extraoralen Befund mit Funktionsbefund; Angaben in relativen [%] und absoluten [n] Zahlen der Instrumentengruppen und Gesamt [n]; Spalte 2 zeigt die möglichen Antwortskalierungen der Fragen (Spalte 1); Universität Ulm, 2019.

		Trompete [n=20]		**Horn** [n=14]		**Posaune** [n=16]		**Gesamt** [n=50]	
		[%]	[n]	[%]	[n]	[%]	[n]	[%]	[n]
Lippenhaltung	1 - kompetent	100	20	100	14	94	15	98	49
	2 - inkompetent	0	0	0	0	0	0	0	0
	3 - potentiell kompetent	0	0	0	0	6	1	2	1
Lippenhaut	0 - o.B.	55	11	43	6	38	6	46	23
	1 - trocken	40	8	57	8	56	9	50	25
	2 - rissig	10	2	0	0	25	4	12	6
Lippen-besonderheiten	0 - o.B.	30	6	21	3	31	5	28	14
	1 - Impressionen	20	4	43	6	69	11	42	21
	2 - Narben	5	1	7	1	0	0	4	2
	3 - Rötung	50	10	29	4	0	0	28	14

Kiefergelenk	0 - o.B.	65	13	86	12	94	15	80	40
	1- Knacken	10	2	7	1	0	0	6	3
	2 - Reiben	25	5	14	2	6	1	16	8
	3 - Druckdolenz	10	2	0	0	0	0	4	2
Mundöffnung	0 – o.B.	100	20	86	12	100	16	96	48
	1 - Deviation	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 - Deflexion	0	0	7	1	0	0	2	1
	3 - Limitation	0	0	7	1	0	0	2	1
Kaumuskulatur	0 - o.B.	95	19	64	9	100	16	88	44
	1 - Druckdolenz	0	0	14	2	0	0	4	2
	2 - Verspannung	5	1	21	3	0	0	8	4
Lippen-muskulatur	0 - o.B.	85	17	57	8	94	15	80	40
	1 - Druckdolenz	10	2	14	2	6	1	10	5
	2 - Verspannung	5	1	29	4	0	0	10	5

Relative [%] und absolute [n] instrumentenspezifische und Gesamt [n] – Übersicht über die intraorale Befundung mit unterschiedlichen Antwortmöglichkeiten in Spalte 2; Universität Ulm, 2019.

		Trompete [n=20]		**Horn** [n=14]		**Posaune** [n=16]		**Gesamt** [n=50]	
		[%]	[n]	[%]	[n]	[%]	[n]	[%]	[n]
Lippenbändchen Oberkiefer	0 - o.B.	85	17	79	11	75	12	80	40
	1 - stark	0	0	7	1	25	4	10	5
	2 - schwach	15	3	14	2	0	0	10	5
	3 - tief inserierend	50	10	0	0	0	0	0	0
Lippenbändchen Unterkiefer	0 - o.B.	80	16	86	12	88	14	84	42
	1 - stark	5	1	0	0	0	0	2	1
	2 - schwach	15	3	14	2	6	1	12	6
	3 - tief inserierend	0	0	0	0	6	1	2	1
Zungengröße	0 - o.B.	90	18	64	9	81	13	80	40
	1 - breit	10	2	36	5	19	3	20	10
Zungen-beweglichkeit	0 - normal	100	20	100	14	100	16	100	50
	1 - eingeschränkt	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 - keine	25	5	14	2	44	7	28	14

Zungen-impressionen	1 - stark	25	5	14	2	6	1	16	8
	2 - leicht	50	10	71	10	50	8	56	28
Mund-schleimhaut	0 - o.B.	95	19	100	14	100	16	98	49
	1 - pathologisch verändert	5	1	0	0	0	0	2	1
Schmelzdefekte im Frontzahn-bereich	0 - o.B.	5	1	43	6	38	6	26	13
	1 - Schlifffacetten/ Abrasionen	70	14	57	8	44	7	58	29
	2 – Schmelz-frakturen/ Schneide-kantendefekte	45	9	0	0	44	7	32	16

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung unterschiedlicher Mundstücke der Blechblasinstrumente Trompete, Horn und Posaune. Im Vergleich der Kesselform von Trompete und Horn ist der Unterschied eines Becher- zu einem Trichtermundstücks erkennbar. Das ebenfalls becherförmige Posaunenmundstück weist einen deutlich größeren Durchmesser auf als die Mundstücke der Klasse A1 von Trompete und Horn; Universitätsklinikum Ulm, 2019. 4

Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Bechermundstückes; Universitätsklinikum Ulm, 2019. 5

Abbildung 3: Schematische Darstellung im dreidimensionalen Raum der Frankfurter Horizontalebene und dem Koordinatensystem mit dem Punkt Nasion als Nullpunkt; Universitätsklinikum Ulm, 2017 11

Abbildung 4: d-Station^{3D} Weißlichtscanner (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland) mit eingespanntem Unterkiefergipsmodell; Universitätsklinikum Ulm, 2018. 18

Abbildung 5: Digitalisiertes Oberkiefermodell in der Software OPTOCAT 2015R2 (15.2.3.8) (AICON 3D Systems GmbH, Meersburg, Deutschland); Universitätsklinikum Ulm, 2018. 18

Abbildung 6: Scanvorgang eines Probanden in der frontalen Ansicht in Ruhe mit dem Streifenlichtprotektor optoTOP-HE (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland). Auf dem Boden sind 45°-Markierungen für die seitlichen Scanaufnahmen zu sehen; der Positionierungsstuhl weist eine individuell einstellbare Kopfstütze auf, um ein bewegungsfreies Messen zu gewährleisten; mit freundlicher Genehmigung von Herrn Julius Breitling, Universitätsklinikum Ulm, 2018. 20

Abbildung 7: Beispielhafte Aufnahme während des Scanvorgangs eines Probanden der Klasse A1 (Trompete); mit freundlicher Genehmigung von Herrn Julius Breitling, Universitätsklinikum Ulm, 2018 21

Abbildung 8: Halterungen der drei Instrumentengruppen für die Digitalisierung der Mundstücke aus Holz und Gips für den d-Station3D (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland). Beispielhaft abgebildet ist ein Hornmundstück, das für den Scanvorgang vorbereitet ist; Universitätsklinikum Ulm, 2018. 22

Abbildung 9: Fixierung der Mundstückhalterung mit aufgesetztem Trompetenmundstück mithilfe der Feststellschrauben auf dem Scanteller des d-STATION3D (Breuckmann GmbH, Meersburg, Deutschland); Universitätsklinikum Ulm, 2018. 22

Abbildung 10: Darstellung des rechten (a) und linken (b) seitlichen Scans eines Probanden für die Detektion der Punkte Porion rechts und links in OPTOCAT 2015R2 (15.2.3.8); Universitätsklinikum Ulm, 2019. 23

Abbildung 11: „Mundlöffelscan“ eines Probanden: Die vestibulären Flächen der Ober- und Unterkieferzähne sind durch den BlueSpray (Dreve, Unna, Deutschland) für den Scanvorgang detektierbar; Universitätsklinikum Ulm, 2019. 24

Abbildung 12: Ergebnis des Zusammenfügens der seitlichen und frontalen Gesichts- und „Mundlöffelscans“: frontale und seitliche Darstellung des „Ruhegesichts“; Universitätsklinikum Ulm, 2019. 24

Abbildung 13: „Stirnalignment“ der einzelnen Scans; links: Man erkennt eine nicht geordnete Darstellung der Mundstück-, Kiefer- und Gesichtsscans; rechts: geordnete Darstellung nach erfolgreichem „Stirnalignment“: die rote Partie beschreibt die markierten deckungsgleichen Areale auf der Stirn, an der Schläfe und dem Nasenrücken, über die ein Zusammensetzen möglich wird; Universitätsklinikum Ulm, 2019. 25

Abbildung 14: Frontale Ansicht der Gesichtslandmarken und Ebenen eines Probandenscans für die Erstellung des Gesichtskoordinatensystems; Universitätsklinikum Ulm, 2019. 27

Abbildung 15: Darstellung des Kieferkoordinatensystems in okklusaler und frontaler Ansicht; es handelt sich um ein rechtsdrehendes Koordinatensystem, weshalb die x-Achse in Patientensicht nach links verläuft, die y-Achse von oral nach vestibulär und die z-Achse nach kaudal; Universitätsklinikum Ulm, 2019. 27

Abbildung 16: Basierend auf den Ergebnissen der Pilotstudie, Darstellung der Mittelwerte und Standardfehler der Intra-Rater-Abweichung, berechnet aus den Abständen der von einem Rater in drei Messwiederholungen gesetzten Punkte (P1-P3). Grün: Variabilität <1,5 mm; Orange: Variabilität 1,5-2,5 mm; Rot: Variabilität >2,5 mm; Universitätsklinikum Ulm, 2017 [53].....28

Abbildung 17: Basierend auf den Ergebnissen der Pilotstudie, Darstellung der Mittelwerte und Standardfehler der Inter-Rater-Abweichung, berechnet aus den Abständen der Mittelpunkte (R1-R5) der fünf Rater. Grün: Variabilität <1,5 mm; Orange: Variabilität 1,5-2,5 mm; Rot: Variabilität >2,5 mm; Universitätsklinikum Ulm, 2017 [53].....29

Abbildung 18: Darstellung eines Probanden in MATLAB®. Die Auswertung der Gesichtslandmarken ist bereits abgeschlossen, zur Überprüfung werden diese nochmal angezeigt. Die blau und grün hinterlegten Schaltflächen dienen der Auswahl der vordefinierten Ansichten im individuellen Gesichtskoordinatensystem; Universitätsklinikum Ulm, 2019.....30

Abbildung 19: Okklusale Ansicht eines Oberkiefermodells in der Auswertung in MATLAB®. Die blau und grün hinterlegten Schaltflächen dienen der Auswahl der vordefinierten Ansichten im patientenindividuellen Koordinatensystem; Universitätsklinikum Ulm, 2019.....32

Abbildung 20: Darstellung eines Trompetenmundstück-Scans mit schematischer Zeichnung des Mundstückkoordinatensystems. Die Randkonturebene wird über vier Markierungen an der Randkontur gemittelt; die Zentrale Instrumentenachse (ZI) wird durch die Mittelpunkte der beiden Kreise des Schaftes generiert; Universitätsklinikum Ulm, 2019.....33

Abbildung 21: Boxplot Diagramm der „sagittalen Frontzahnstufe“ der Probanden; auf der y-Achse ist der Abstand in Millimetern [mm] angegeben; der blaue Boxplot zeigt die Mittelwerte der „sagittalen Frontzahnstufe“ der Zähne 11 zu 41, der graue Boxplot die Mittelwerte der Zähne 21 zu 31 aller Probanden [n=50]; Universitätsklinikum Ulm, 2020.....51

Abbildung 22 a, b und c: Abhängigkeit der „vertikalen Mundstückposition“ in Millimetern [mm] von der Position des „Inzisalpunktes des Oberkiefers“ („Inzisalpunk OK“) in Millimetern [mm]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für „Trompeter“ (a), „Hornisten“ (b) und „Posaunisten“ (c), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020. 54

Abbildung 23 a, b und c: Abhängigkeit der „transversalen Mundstückposition“ in Millimetern [mm] von der „Lippensymmetrie“ in Grad [°]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für die „Trompeter“ (a), „Hornisten“ (b) und „Posaunisten“ (c), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.....57

Abbildung 24 a, b und c: Abhängigkeit der „transversalen Mundstückneigung“ in Grad [°] von der Position der „Oberlippenmitte“ in Millimetern [mm]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für die „Trompeter“ (a), „Hornisten“ (b) und „Posaunisten“ (c), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.....60

Abbildung 25 a, b und c: Abhängigkeit der „sagittalen Mundstückneigung“ in Grad [°] mit dem Gaumenverlauf in Grad [°]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für die „Hornisten“ mit den Parametern des Gaumenverlaufs („FitGaumen 1“ (a), „FitGaumen 2“ (b), „FitGaumen 3“ (c)), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.....64

Abbildung 26 a, b und c: Abhängigkeit der „Lippenkompression“ in Millimetern [mm] von der „Lippenfülle“ in Millimetern [mm]. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte (MW) für die „Trompeter“ (a), „Hornisten“ (b) und „Posaunisten“ (c), der Pearson-Korrelationskoeffizient r und das zugehörige Signifikanzlevel p. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2020.....67

Abbildung 27 a, b und c: Boxplot Diagramme der vertikalen Mundstückposition in Millimetern [mm] der drei Instrumentengruppen „Trompete“ (a), „Horn“ (b) und „Posaune“ (c). Die mittlere graue Box stellt den Ausgangston dar und der Oktavwechsel wird zu dunkelblau (tiefer Ton) und hellblau (hoher Ton) dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei p<0,05. Statistisch signifikante Ergebnisse sind durch (*), statistisch hochsignifikante Ergebnisse durch (**) angegeben; Universitätsklinikum Ulm, 2020. 71

Abbildung 28 a, b und c: Boxplot Diagramme der transversalen Mundstückneigung in Grad [°] der drei Instrumentengruppen „Trompete“ (a), „Horn“ (b) und „Posaune“ (c). Die mittlere graue Box stellt den Ausgangston dar und der Oktavwechsel wird zu dunkelblau (tiefer Ton) und hellblau (hoher Ton) dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei p<0,05. Statistisch signifikante Ergebnisse sind durch (*) angegeben; Universitätsklinikum Ulm, 2020. 72

Abbildung 29 a, b und c: Boxplot Diagramme der sagittalen Mundstückneigung in Grad [°] der drei Instrumentengruppen „Trompete“ (a), „Horn“ (b) und „Posaune“ (c). Die mittlere graue Box stellt den Ausgangston dar und der Oktavwechsel wird zu dunkelblau (tiefer Ton) und hellblau (hoher Ton) dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei p<0,05. Statistisch signifikante Ergebnisse sind durch (*), statistisch hochsignifikante Ergebnisse durch (**) angegeben; Universitätsklinikum Ulm, 2020. 73

Abbildung 30: Darstellung eines Probanden der Gruppe Trompete in sagittaler Ansicht mit integriertem Oberkiefermodell und drei Mundstückpositionen. Der Ton g wird von der türkisfarbenen Mundstückposition repräsentiert, g1 von dem blau eingefärbten Mundstück und die höchste Tonlage g2 durch das rote Mundstück. Gut erkennbar ist der Unterschied der weiter kranialen Positionierung der türkisenen Position zu der der Roten und die sagittale Neigungsänderung von flach (g- türkis) zu steiler (g2- rot), Universitätsklinikum Ulm, 2020. 74

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifizierung der Blasinstrumente nach Strayer [83, 150]. Die Blasinstrumente werden entsprechend ihrer Kontaktposition der Mundstücke in vier Klassen eingeteilt. Die Blechblasinstrumente werden nach der Größe der Mundstücke weiter subklassifiziert [83]; Universitätsklinikum Ulm, 2019. 2

Tabelle 2: Korrelationsmatrix als Ausgangslage für die statistische Auswertung. Die mit einem Kreuz markierten Felder zeigen die zu untersuchenden Korrelationen zwischen den faziodentalen Parametern und der Mundstückpositionen und -neigungen an. Die anatomischen Parameter sind in Millimetern [mm] bzw. in Grad [°] angegeben. Dem Zahnschema Fédération Dentaire Internationale (FDI) folgend wurden die Schneidezähne im Oberkiefer angegeben (Zähne 12,11,21,22); Universitätsklinikum Ulm, 2019.....44

Tabelle 3: Übersicht über die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) der Werte des Periotests instrumentenspezifisch als Mittelwerte aufgelistet. Spalte 1 zeigt die morphologisch gleichen Zähne mit Oberkiefer Eckzahn (OK3), Oberkiefer seitlicher Schneidezahn (OK2), Oberkiefer mittlerer Schneidezahn (OK1), Unterkiefer Eckzahn (UK3), Unterkiefer seitlicher Schneidezahn (UK2) und Unterkiefer mittlerer Schneidezahn (UK1); das Signifikanzniveau liegt bei $p<0,05$; Universitätsklinikum Ulm, 2020. 50

Tabelle 4: Instrumentenspezifische [n] und Gesamt [n] - Übersicht über die Mittelwerte (MW) der „sagittalen Frontzahnstufe“ in Millimetern [mm] an den Zähnen 11 zu 41 und 21 zu 31; Universitätsklinikum Ulm, 2020.....50

Tabelle 5: Pearson-Korrelationsanalyse der „vertikalen Mundstückposition“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022.....52

Tabelle 6: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „vertikale Mundstückposition“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022. 53

Tabelle 7: Pearson-Korrelationsanalyse der „transversalen Mundstückposition“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022. 55

Tabelle 8: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „transversale Mundstückposition“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Im Fall eines Signifikanzlevels von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022. 56

Tabelle 9: Pearson-Korrelationsanalyse der „transversalen Mundstückneigung“ der drei Instrumentengruppen in Grad [°] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern [mm] bzw. Grad. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022. 58

Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „transversale Mundstückneigung“ der drei Instrumentengruppen in Grad [°] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern [mm] bzw. Grad. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022. 59

Tabelle 11: Pearson-Korrelationsanalyse der „sagittalen Mundstückneigung“ der drei Instrumentengruppen in Grad [°] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern [mm] bzw. Grad. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022. 61

Tabelle 12: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „sagittale Mundstückneigung“ der drei Instrumentengruppen in Grad [°] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern [mm] bzw. Grad. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022. 63

Tabelle 13: Pearson-Korrelationsanalyse der „Lippenkompression“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Für die jeweilige Instrumentengruppe ist die Pearson-Korrelation mit Koeffizient r, Bestimmtheitsmaß R^2 und dazugehörigem p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022. 66

Tabelle 14: Übersicht der Ergebnisse der Analyse mit Mixed-Effekt-Modell mit Bestimmtheitsmaß (R^2), Schätzwerten und Signifikanzlevel (p) für die „Lippenkompression“ der drei Instrumentengruppen in Millimetern [mm] mit den ausgewählten anatomischen Einflussvariablen in Millimetern bzw. Grad [°]. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben; Universitätsklinikum Ulm, 2022. 66

Tabelle 15: Darstellung der Ergebnisse der Tonhöhenunterschiede als Einflussvariablen für alle mundstückspezifischen Zielvariablen. Für die jeweilige Instrumentengruppe sind der Schätzwert und der p-Wert angegeben. Im Fall eines Signifikanzlevels (p) von <0,05 sind die entsprechenden Werte hervorgehoben. Die Instrumente der Klasse A1 (Trompete und Horn) spielen als Ausgangston g1 und wechseln zum tiefen Ton (g) und zum hohen Ton (g2). Die Posaunen als Vertreter der Klasse A2 spielen als Ausgangston f, wechseln zum tiefen Ton (F) und zum hohen Ton (f1); Universitätsklinikum Ulm, 2022. 70

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Bernd Lapatki, dem ärztlichen Direktor der Klinik für Kieferorthopädie und Orthodontie des Universitätsklinikums Ulm, bedanken, der mir ermöglichte diese Dissertation gemeinsam mit ihm in seiner Abteilung durchzuführen.

Ein großer Dank geht an Frau Dr. Julia Glöggler und Frau Dr. Friederike Bogler für die gute Betreuung und ihr Engagement, das maßgeblich zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen hat.

Ein besonderer Dank gilt der hervorragenden Unterstützung von Herrn Fatih Kilic, der nicht nur viel Inspiration und Zeit in die Datenauswertung eingebracht hat, sondern der weit über den technischen Aspekt hinaus ein motivierender und ausdauernder Ansprechpartner war und gemeinsam mit Herrn Stefan Repky alle Fragen für „Fachfremde“ ausführlich beantwortet hat.

Ich danke herzlich meinem Vater Jürgen Nitsche für das mehrfache Lesen und Verbessern der Texte.

Abschließend bedanke ich mich noch bei Herrn Julius Breitling, der auch in den schweren Stunden immer an mich geglaubt hat, die Arbeit konstruktiv und realitätsnah begleitet hat und in richtigen Momenten Durchhaltevermögen auf mich übertragen hat.

9 Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.