Aus dem selbständigen Funktionsbereich für Phoniatrie und Pädaudiologie

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. Wolfgang Angerstein

Lippenschwingungen und Stimmgebung bei Blechbläsern

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Renate Sigrid Mauersberger

2016

Als Inauguraldissertation gedruckt

mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr. med. Wolfgang Angerstein

Zweitgutachterin: Priv. Doz. Dr. med. Inge Ganzer

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Mauersberger R, Massing T, Zumegen C, Angerstein W. Methodenvergleich zur stroboskopischen Untersuchung von Mundlippenschwingungen bei Blechbläsern. In: Gross M, Am Zehnhoff-Dinnesen A, Hrsg. Aktuelle phoniatrisch-pädaudiologische Aspekte 2010 (Band 18). Warendorf: Darpe Industriedruck; 2010: 207-209.

Zusammenfassung

Fragestellungen und Ziele

In der vorliegenden Arbeit wurden Funktion und Morphologie der Mundlippen beim Spielen klassischer Blechblasinstrumente (Trompete, Posaune, Waldhorn, Tuba) mit folgenden Zielen untersucht:

1. Validierung und Anwendung verschiedener Techniken zur Untersuchung der Mundlippenfunktion. Das dafür geeignete Equipment wurde im Rahmen einer Vorstudie entwickelt.
2. Messung der Schwingungsamplituden der Mundlippen zur Etablierung entsprechender Richtwerte bei verschiedenen Blechblasinstrumenten und Spieltechniken.
3. Muskuläre Hypertonien und hohe Anblasedrücke sind bei Blechbläsern nicht nur am oberen Ende des Ansatzrohres (Mundlippen), sondern auch am unteren Ende (Stimmlippen) relevant. Deshalb wurden auch Sprechstimme und Stimmlippenfunktion der Blechbläser evaluiert.

Methodik

In einer Vorstudie wurden die Mundlippenschwingungen von 13 Blechbläsern (Alter: 23 - 68 Jahre) mit drei Techniken vergleichend stroboskopisch untersucht.

In die Hauptstudie wurden 50 Blechbläser (Alter: 17 - 71 Jahre) eingeschlossen. Mittels angebohrter Mundstücke wurden die Mundlippenschwingungen kymographisch und stroboskopisch videodokumentiert und analysiert. Erstmals wurden Richtwerte für Amplituden der Mundlippenschwingungen gemessen. Zusätzlich erfolgte eine klinische und sonographische Untersuchung der Mundlippen mit Fotodokumentation.

Gemäß den Empfehlungen der European Laryngological Society (ELS) wurden die Sprechstimmen der Blechbläser mit standardisierten, semiquantitativen Ratingskalen (Stimmstörungsindex [SSI], Rauigkeits-Behauchtheits-Heiserkeits [RBH]-Index) beurteilt, und die Stimmlippenfunktion wurde mittels einer auf Laryngoskopie und Stroboskopie basierenden semiquantitativen Ratingskala evaluiert.

Ergebnisse

In der Vorstudie erwies sich eine standardisierte Untersuchungsmethodik, bei der Endoskop mit Kamera einerseits und Mundstück mit aufgesetztem Instrument andererseits stets fest verbunden sind, als am besten geeignet zur Schwingungsanalyse der Mundlippen während des Spielens auf Blechblasinstrumenten.

In der Hauptstudie konnten sowohl kymographisch als auch stroboskopisch verschiedene Phasen des Mundlippenschwingungszyklus dargestellt werden. Die Blechbläser konnten dem Downstream-Typ (98%) oder dem Upstream-Typ (2%) zugeordnet werden. Die Amplitudengröße der Mundlippenschwingungen stieg bei abnehmender Frequenz und zunehmender Lautstärke bei allen Blechbläsern. Morphologische Alterationen der Mundlippen, welche u.a. durch die hohe mechanische Belastung entstehen, wurden bei 13 der 50 Blechbläser (26%) gefunden. Stimme und Larynx der Blechbläser zeigten nur geringe Auffälligkeiten ohne therapeutische Konsequenzen.

Diskussion

Erkrankungen der Mundlippen haben bei Blechbläsern sowohl arbeits- und sozialmedizinische als auch gesundheitsökonomische Relevanz: Oftmals sind Arbeitsunfähigkeit und längerfristige Reha-Maßnahmen nötig, um die Spielfähigkeit wiederherzustellen. In schwerwiegenden Fällen kann sogar eine Berufsunfähigkeit (BK-Nr. 2106) resultieren. Daher ist es sinnvoll und notwendig, videogestützte bildgebende Untersuchungsstandards zur funktionellen und morphologischen Beurteilung der Mundlippen dieser Patienten zu etablieren.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung	**Mm.**	Musculi
♭	musikalisches Vorzeichen b	**mm**	Millimeter
BK-Nr.	Berufskrankheit Nummer	**ms**	Millisekunde
bzw.	beziehungsweise	**MW**	Mittelwert
dB	Dezibel	**N**	Anzahl
d.h.	das heißt	**o.g.**	oben genannt(e/er/es)
DM	Durchmesser	**OL**	Oberlippe
engl.	englisch	**PC**	Personal Computer
ff	Fortissimo	**P.-Nr.**	Proband Nummer
h	Stunde	***pp***	Pianissimo
Hz	Hertz	**SD**	Standardabweichung
k. A.	keine Angabe	**SSI**	Stimmstörungsindex
M.	Musculus	**sog.**	sogenannt(e/er/es)
m	Meter	**u.a.**	unter anderem
Max	Maximum	**UL**	Unterlippe
MED	Median	**URL**	Uniform Resource Locator (= Internetadresse)
mf	Mezzoforte	**vgl.**	vergleiche
Min	Minimum	**VHI**	Voice Handicap Index
mind.	mindestens	**z.B.**	zum Beispiel

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

1.1. Zusammenhänge zwischen Mund- und Stimmlippen 1
1.2. Schwingungsverhalten der Mundlippen 2
1.3. Die Mundlippen bei Blechbläsern 4
1.4. Stimme und Larynx bei Blechbläsern 6
1.5. Berufsspezifische Erkrankungen von Blechbläsern 7
1.6. Ziele der Arbeit 9

2. Vorstudie 10

2.1. Probanden und Methodik 10
2.2. Ergebnisse 14
2.2.1. Vergleich der verschiedenen Untersuchungsmethoden 14
2.2.2. Kymographische Untersuchungen 15
2.2.3. Stroboskopische Untersuchungen 20
2.3. Schlussfolgerungen für die Hauptstudie 22

3. Probanden und Methodik 23

3.1. Probanden 23
3.2. Untersuchungssetting 23
3.3. Untersuchungsequipment 25
3.4. Standardisierter Untersuchungsablauf 31
3.5. Schwingungsanalysen der Mundlippen 35
3.5.1. Kymographie 35
3.5.2. Stroboskopie 44
3.6. Untersuchungsverfahren für Stimme und Larynx 59
3.6.1. Selbsteinschätzung der Stimme mittels Stimmstörungsindex (SSI) 59
3.6.2. Fremdeinschätzung der Stimme mittels RBH-Index 59
3.6.3. Larynx-Score 59
3.7. Statistische Datenanalysen 61

4. Ergebnisse 62

4.1. Probanden 62
4.1.1. Alters- und Geschlechtsverteilung 62
4.1.2. Ausbildungsgrad 62
4.1.3. Spielzeit pro Woche 64
4.1.4. Ansatzprobleme 68

4.2. Bildgebende Untersuchungsverfahren der Mundlippen **71**
4.2.1. Ansatztypen 72
4.2.2. Kymographie 73
4.2.3. Stroboskopie 82
4.2.4. Morphologische Befunde der Mundlippen 95
4.3. Untersuchungen von Sprechstimme und Larynx **105**
4.3.1. Selbsteinschätzung der Stimme mittels Stimmstörungsindex (SSI) 106
4.3.2. Fremdeinschätzung der Stimme mittels RBH-Index 107
4.3.3. Larynx-Score 108
4.3.4. Zusammenfassung der Stimmergebnisse 111

5. Diskussion **113**

5.1. Probanden **113**
5.2. Visualisierung von Mundlippenschwingungen bei Blechbläsern **115**
5.2.1. Historischer Überblick 115
5.2.2. Eigene Methodik im Kontext der Literatur 119
5.2.3. Eigene Ergebnisse im Kontext der Literatur 125
5.3. Untersuchungen von Stimme und Larynx **148**
5.3.1. Historischer Überblick 148
5.3.2. Selbsteinschätzung der Stimme mittels Stimmstörungsindex (SSI) 150
5.3.3. Fremdeinschätzung der Stimme mittels RBH-Index 150
5.3.4. Endoskopie 151
5.3.5. Akustische Signalanalysen der Sing- und Sprechstimme 153

6. Schlussfolgerungen **154**

Literatur **156**

Anhang **171**

Danksagungen **231**

Eidesstattliche Versicherung **233**

1. Einleitung

1.1. Zusammenhänge zwischen Mund- und Stimmlippen

Schon Helmholtz stellte 1863 fest [1]: „Als musikalische Instrumente kommen nur zwei Arten […] membranöser Zungen in Bedacht, nämlich die menschlichen Lippen beim Anblasen der Blechblasinstrumente und der menschliche Kehlkopf im Gesange."

Sowohl an den Mundlippen als auch an den Stimmlippen können durch Schwingungen der Schleimhaut und der muskulären Unterlage Töne produziert werden. Anatomische Voraussetzung für die Tonentstehung ist der mehrschichtige Aufbau beider Tongeneratoren:

Im Kehlkopf ist die Schleimhaut über eine dünne, verschiebliche Bindegewebsschicht (Reinke-Raum) mit der Unterlage (Lig. vocale und M. vocalis) verbunden. Dieser mehrschichtige Aufbau der Stimmlippen wird auch als „body-cover model" (body: Unterlage, cover: Schleimhaut) bezeichnet [2],[3]. Ein ähnlicher mehrschichtiger Aufbau (von innen nach außen: Mukosa, Submukosa mit Drüsen, M. orbicularis oris, Subcutis und Epidermis) existiert auch für die Mundlippen [4]-[6].

Außerdem ist der Vokaltrakt für die Regulierung des Luftflusses von Bedeutung:

Während bei Sängern die Stimmlippen als Schallquelle dienen, wird der Luftstrom beim Singen insbesondere durch das Zwerchfell, die Intercostalmuskulatur, die Zungenposition und die Mundlippen reguliert.

Beim Blechbläser[1] verhalten sich Mund- und Stimmlippen konträr zu denen eines Sängers: Während die Mundlippen die Schallquelle bilden, regulieren die Stimmlippen durch Verengung der Glottis die Luftzufuhr [7]. Auch das Zwerchfell und weitere sog. Ansatzmuskeln spielen bei der Luftstromregulierung eine Rolle [7]. Zu den wichtigsten am Ansatz beteiligten mimischen Muskeln gehören: M. orbicularis oris, M. buccinator, M. zygomaticus major und minor, sowie M. levator und depressor anguli oris [8],[9].

---

[1] Die Ausdrücke „Blechbläser", „Proband" und „Untersucher" bezeichnen ab sofort gleichermaßen das weibliche und das männliche Geschlecht.

Nach operativen Eingriffen an Stimm- oder Mundlippen können deshalb gesangs- oder spieltechnische Probleme aus der veränderten Luftzufuhr resultieren.

Hochfrequente Schleimhautschwingungen der Stimmlippen werden von Phoniatern schon seit vielen Jahrzehnten mit bildgebenden Verfahren (Stroboskopie: [10]-[13]; Kymographie: [14]-[16]) untersucht. Deshalb war es naheliegend, zur Schwingungsanalyse der Mundlippen bei Blechbläsern ebenfalls Stroboskopie und Kymographie einzusetzen. Bereits 1942 entwickelte Martin eine Methodik, um Mundlippenschwingungen eines Waldhornisten stroboskopisch zu untersuchen [17]. Damsté verglich 1966 die Stimmlippenschwingungen einer Sängerin mit den Mundlippenschwingungen eines Posaunisten [18].

Kymographische Untersuchungen an den Mundlippen eines Posaunisten wurden im Jahre 2000 von Šram & Švec [19] beschrieben. Für die Kymographie ist eine spezielle Kamera erforderlich. Diese Kymographiekamera zeichnet an einer frei wählbaren Stelle der Mundlippen sämtliche Schwingungen in einer Bildzeile als horizontale Linie auf. Es handelt sich somit um eine Hochfrequenzkinematographie entlang einer einzelnen Bildzeile (engl. „High-speed line scanning").

1.2. Schwingungsverhalten der Mundlippen

Die Öffnungs- und Schließungsbewegungen (engl. motions) der Stimmlippen und Mundlippen entstehen aktiv und willkürlich durch motorische Innervation (Stimmlippen: Vagusäste [20], Mundlippen: Facialisäste [5]), somit auf neuronaler Grundlage. Davon abzugrenzen sind Schwingungen (engl. vibrations) zur Tonerzeugung an Stimmlippen und Mundlippen, die passiv durch exspiratorische Luftbewegungen (insbesondere Bernoulli-Sog) bei geschlossener Glottis bzw. bei geschlossenem Mund entstehen [21]-[23].

Helmholtz [1] beschäftigte sich bereits 1863 mit den physikalischen Parametern der Tonerzeugung bei Blechblasinstrumenten. Er beschrieb, dass durch den Atemstrom die Mundlippen in Schwingungen versetzt werden. Er stellte die Mundlippenschwingungen vereinfacht als eindimensionales Modell dar: Die Mundlippen würden durch den steigenden Luftdruck im Mundraum mit Richtung des Atemstroms ins Mundstück hinein („Outward-striking model“ oder „Outward-swinging model“) in Schwingungen versetzt [1],[24]. Im von Elliott & Bowsher entwickelten „Sideway-striking model“ (oder „Sli-

ding-door model“) als weiterem möglichen Schwingungsmodell wurden Lippenschwingungen senkrecht zum Luftstrom (analog zum Schwingungsmodus der Stimmlippen) beschrieben [25].

Yoshikawa zeigte, dass das Outward-striking model vor allem tiefere Resonanzmodi besser erklärt und das Sideway-striking model auf höhere Resonanzmodi besser anwendbar ist [23].

Adachi entwickelte aus beiden Modellen ein zweidimensionales Hybrid-Modell, welches von einer schwingenden Masse mit zweidimensionalen Schwingungen (nach außen ins Mundstück hinein sowie senkrecht zum Luftstrom nach oben und unten) ausgeht [26]. Mc Laughlin erkannte, nach Auswertung stroboskopischer Aufnahmen von menschlichen Lippen während des Posaunespielens, dass sich ein Modell mit zwei Massen und zweidimensionalen Schwingungen besser zur Beschreibung von Lippenschwingungen eignen würde als ein Modell mit einer Masse [27]. Anatomisch entsprechen diesen beiden Massen die muskuläre Grundlage (M. orbicularis oris) und die Schleimhaut der Mundlippen.

Die Schwingungen der Mundlippenschleimhaut (engl. „mucosal waves“) werden in der anglo-amerikanischen Literatur auch als „Rayleigh waves“ bezeichnet. Lord Rayleigh beschrieb die nach ihm benannte Wellenform 1885 zur Veranschaulichung von Erdbebenwellen [28]. Mittels Stroboskopie können Rayleigh waves bzw. „mucosal waves“ auch an Mundlippen von Blechbläsern beobachtet werden [29]-[32]. Ayers vermutete, dass diese Schleimhautschwingungen an den Mundlippen ein Pendant zu den „mucosal waves“ auf den Stimmlippen seien [30].

Zum kurzzeitigen Verschluss der Mundlippen führt im Lippenschwingungszyklus der Bernoulli-Sog [23],[25],[33]: Wenn ein Blechbläser Spannung der Mundlippen aufbaut und damit die Mundspalte verengt, erhöht sich die Geschwindigkeit des Luftstroms im Bereich der Mundspalte. Aus der erhöhten Flussgeschwindigkeit resultiert an der Enge ein Sog. Dieser Sog führt zu einem passiven Verschluss der Mundlippen. Durch den intraoralen Überdruck werden die Mundlippen im nächsten Schwingungszyklus wieder auseinandergesprengt.

1.3. Die Mundlippen bei Blechbläsern

„Mund-, Lippen-, Kinn- und Wangenmuskeln sind präzise in einer aufeinander abgestimmten Art und Weise geformt und gespannt, daß die Luftsäule, wenn man das Mundstück eines Blechblasinstruments an die Lippen setzt, durch dieses strömen und in Schwingungen geraten kann“ definierte Farkas den „Ansatz eines Blechbläsers“ [34]. Wichtig für den blechbläserischen Ansatz ist auch die individuelle Konfiguration des Mundstücks. Den prinzipiellen Aufbau eines solchen Kesselmundstücks erläutert Abb. 1.

Abb. 1: Skizze eines Kesselmundstücks nach [35]

Waldhornisten benutzen ein ähnliches Metallmundstück, welches jedoch trichterförmig konfiguriert ist (bei Waldhornisten werden analog die Begriffe Trichterdurchmesser und Trichtertiefe verwendet).

Leno [36]-[39] beschrieb anhand von stroboskopischen Untersuchungen verschiedene Ansatz-Typen, welche von Reinhardt [40] 1973 weiter präzisiert wurden: Je nach Plat-

zierung des Mundstücks und Richtung des ausgeatmeten Luftstroms wird in Upstream- oder Downstream-Typ eingeteilt [36]-[39].

Der Downstream-Typ (vgl. Abb. 2) ist gekennzeichnet durch eine vorgewölbte Oberlippe, welche den Luftstrom im Mundstück nach unten (unterhalb der Bohrung) leitet. Das Mundstück wird hoch angesetzt, es ist nach oben in Richtung Nasensteg verschoben. Bei hohen Tönen wird die Luft in einem steilen Winkel nach unten geblasen, bei tiefen Tönen weitet sich der Luftstrom Richtung Schaft aus [36]-[39],[41].

Der Upstream-Typ (vgl. Abb. 3) ist gekennzeichnet durch eine vorgewölbte Unterlippe, welche den Luftstrom im Mundstück nach oben (oberhalb der Bohrung) leitet. Das Mundstück wird tief angesetzt, es ist nach unten in Richtung Kinn verschoben. Bei hohen Tönen wird die Luft in einem steilen Winkel nach oben geblasen, bei tiefen Tönen weitet sich der Luftstrom Richtung Schaft aus. Dieser Ansatztyp ist vergleichsweise selten [36]-[39],[41].

Abb. 2: Downstream-Typ

Abb. 3: Upstream-Typ

Welchem dieser Ansatz-Typen ein Blechbläser zugeordnet werden kann, hängt von seiner individuellen Anatomie ab (dazu zählen z.B. Gebisskonfiguration, Länge des Mund-Nase-Abstands und Morphologie der Lippen), und kann nicht erlernt werden [41]. Sowohl mit einem hohen (Mundstück näher an der Nase), als auch mit einem tiefen Ansatz (Mundstück näher am Kinn) sind Upstream- und Downstream-Typ möglich [41]. Eine gute Übersicht über die Charakteristika der verschiedenen Ansatztypen bietet die Homepage des Niederländers Boschma [42].

Leno definierte als wesentliche Faktoren der Tonerzeugung bei Blechbläsern [38]:

1. die Schwingungsfrequenz der Mundlippen
2. das Verhältnis von Oberlippe zu Unterlippe (Upstream-Typ bzw. Downstream-Typ)
3. das Verhältnis von Tonhöhe und Lautstärke zu geöffneter Fläche der Mundspalte

1.4. Stimme und Larynx bei Blechbläsern

Muskuläre Hypertonien und hohe Drücke sind bei Blechbläsern nicht nur am oberen Ende des Ansatzrohres (Mundlippen), sondern auch am unteren Ende (Stimmlippen) relevant. Phoniatrische und HNO-ärztliche Untersuchungen zu Stimmstörungen bei Blechbläsern zeigten, dass vor allem bei vorbestehenden Stimmproblemen diese durch das Blechblasinstrumentenspiel verschlimmert werden können [43].

Nach den Empfehlungen der European Laryngological Society sollen folgende Methoden zur Stimmuntersuchung angewendet werden [44],[45]: Selbsteinschätzung der Stimme durch den Proband (z.B. Blechbläser), akustische Bewertung der Stimme durch Stimmexperten oder durch softwaregestützte Signalanalysen, visuelle Beurteilung des Larynx.

Zur subjektiven Selbsteinschätzung der Stimme durch den Probanden eignet sich der Stimmstörungsindex, im Folgenden als SSI abgekürzt. Er wurde von Nawka et al. entwickelt als kürzeres Pendant zum 30 Fragen umfassenden Voice Handicap Index (VHI) [46],[47]. Gugatschka et al. zeigten, dass die SSI-Werte gut mit den VHI-Werten korrelieren und mithilfe eines Umrechnungsfaktors direkt verglichen werden können [48].

Die akustische Bewertung von Stimmen ist sowohl auditiv durch Experten als auch objektiv mittels Softwareanalyse verschiedener Stimmparameter möglich. Zur auditiven

Beurteilung von Blechbläserstimmen durch Stimmexperten bietet sich das etablierte RBH-Schema (R = Rauigkeit; B = Behauchtheit; H = Heiserkeit) an. Wendler et al. beschrieben dieses Schema nach Kenntnisstand der Autorin 1986 zum ersten Mal. Sie definierten Rauigkeit als „irreguläre Schwingungen der Stimmlippen“ und Behauchtheit als „inkompletten Glottisschluss“ [49]. Nawka et al. beschrieben die Heiserkeit als „Geräuschanteile im Stimmklang..., die von der Norm abweichen und eine verringerte Leistungsfähigkeit der Stimme signalisieren“ [50]. Beim RBH-System werden null (nicht vorhanden) bis drei (hochgradig) Punkte für jeden der Faktoren R, B und H vergeben [51]. Akustische Signalanalysen scheinen eher für intraindividuelle als für interindividuelle Vergleiche geeignet [52].

Zur visuellen Analyse des Larynx bei Blechbläsern können videogestützte Laryngoskopie und Stroboskopie eingesetzt werden, um morphologische und funktionelle Kehlkopfveränderungen zu beurteilen. In der Literatur wurden mehrfach Algorithmen vorgestellt, um diese Kehlkopfbefunde mit Punktescores semiquantitativ auszuwerten [53]-[57].

1.5. Berufsspezifische Erkrankungen von Blechbläsern

Turner beschrieb 1893 eine schmerzlose Zungendystonie bei einem professionellen Kornett-Spieler [58]. Die Erkrankung manifestierte sich in der Unfähigkeit, im vorgegebenen Takt schnelle Noten (Staccato) zu spielen [58].

Funktionelle Störungen des Ansatzes wurden von Flesch [59] und Singer [60] in den 1920er Jahren publiziert. Der Mediziner Flesch berichtete 1925 von einem Trompeter, bei dem es zu „einer Krampfempfindung im Orbicularis oris kam. Der Patient war dann unfähig einen Ton zu blasen“ [59]. Ähnliche Probleme der Unterlippe wurden vom Nervenarzt Singer 1926 wie folgt dargestellt: „Bei einem Trompeter glitt die Unterlippe vom Ansatzstück ‚wie gelähmt’ ab. Töne bestimmter Höhe 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 (Backe), die Luft entwich beim Anblasen zwischen Unterlippe und Mundstück.“ [60].

Diese Krankheitsbilder werden heute unter dem Begriff „Ansatzdystonie“ zusammengefasst. In der Frühphase manifestieren sich Ansatzdystonien „als subtile Unzulänglichkeiten der Tongebung, vorwiegend in einem bestimmten Register oder einer Spielart

oder einem klar umschriebenen Dynamikbereich“ [61]. „In fortgeschrittenen Stadien weitet sich die Problematik meist auf den gesamten Tonumfang des Instrumentes und auf alle Dynamikbereiche aus. Die Kontrolle über den Ansatz, Artikulation und Atmung ist dann bei keiner Spielart mehr gewährleistet. Es kommt zu Tonabbrüchen, Nebengeräuschen oder bei Blechbläsern zum Entweichen von Luft seitlich am Mundstück und zu sichtbaren Verkrampfungen oder Tremor der mimischen Muskulatur“ [61]. Desweiteren können im Rahmen einer Ansatzdystonie Lippentremor, unwillkürliche Mundlippenverschlüsse („lip-lock“) und Kiefersperren auftreten [62],[63]. Auch das Meige-Syndom bei Blechbläsern ist eine Form der Ansatzdystonie [62],[63].

Morphologische Auffälligkeiten der Lippen, Zähne und Mundhöhle bei Blechbläsern wurden in zahnmedizinischen Arbeiten untersucht [64]-[71]. 1924 konstatierte Reichenbach: „Die Zähne dienen … als Widerlager und Stütze für die Lippenmuskulatur.“ Er beschrieb daraus resultierende Druckstellen an der Oberlippeninnenseite (dentale Impressionen), sowie an der Oberlippenaußenseite (durch das Mundstück) [64]. Ernst beschrieb 1939 an einem Probandenkollektiv von mindestens 243 Blechbläsern in Militärkapellen u.a. „chronische Zahnfleischentzündungen“, „Verhornungen“ und „Dekubitalgeschwüre“ als Folge der mechanischen Reizwirkung [68]. Diese Veränderungen wurden an „Ober- sowie Unterlippe“ festgestellt. Die Ergebnisse von Ernst werden im Kapitel 5.2.3, Unterkapitel „Morphologische Befunde der Mundlippen“ mit der vorliegenden Studie verglichen.

Bei übermäßiger Anspannung der Mundlippen (vor allem bei sehr hohen Tönen) kann es sogar zum Einreißen des M. orbicularis oris kommen [72]-[77]. Ein prominenter Patient, der unter einem solchen Riss des Lippenmuskels litt, war Louis Armstrong. Nach ihm wurde diese Pathologie „Satchmo’s syndrome“ benannt [75]. Klinisch äußert sich das Krankheitsbild durch erhöhte Ermüdbarkeit der Mundlippenmuskulatur und der Unfähigkeit, hohe Töne zu spielen. Es geht häufig mit Schmerzen einher [73],[74],[77],[78]. Eine Verletzung des M. orbicularis oris kann von intermittierenden Spielpausen bis hin zur dauerhaften Berufsunfähigkeit, mit entsprechenden wirtschaftlichen Folgen für den betroffenen Musiker, führen [77]. In der Literatur wurde deshalb mehrfach eine operative Rekonstruktion empfohlen [73],[75],[76],[79].

Sowohl funktionelle Störungen (Ansatzdystonie [80]) als auch organische Lippenläsionen (Weichteilwunden [67], Druckneuropathien [81]-[84], Satchmo-Syndrom

[72],[75],[76],[77]) können zu einer Arbeitsunfähigkeit des Blechbläsers führen. Landeck berichtete 1974, dass „bei der überwiegenden Anzahl der Bläserpatienten“ mit chronischen Mundlippenläsionen „eine vorzeitige Berentung oder berufliche Umschulung unumgänglich“ sei [85]. Aus gesundheitlichen Gründen müssen 13% der deutschen Orchestermusiker ihren Beruf frühzeitig aufgeben [86], etwa 1% der Berufsmusiker erkranken an einer tätigkeitsspezifischen fokalen Dystonie (Musikerdystonie) [87],[88]. Eine „Druckschädigung der Nerven“ kann im Bereich der Mundlippen bei Blechbläsern als Berufskrankheit anerkannt werden (BK-Nr. 2106, [89]). Desweiteren wird empfohlen, dass die Musikerdystonie als „berufsspezifische und -bedingte Erkrankung“ in die Liste der Berufskrankheiten aufgenommen werden soll [88]. Die Begutachtung der Ansatzfunktion von Blechbläsern ist daher relevant in Hinblick auf versicherungsrechtliche und berufsgenossenschaftliche Ansprüche.

1.6. Ziele der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wurden Funktion und Morphologie der Mundlippen bei Blechbläsern mit folgenden Zielen untersucht:

[1] Entwicklung, Validierung und Anwendung verschiedener Techniken zur Untersuchung der Mundlippenfunktion während des Spielens auf Blechblasinstrumenten: Um die Mundlippenschwingungen standardisiert untersuchen zu können, musste im Rahmen einer Vorstudie zunächst ein geeignetes Equipment entwickelt werden.

[2] Mit diesem Equipment wurden erstmals an einem größeren Blechbläserkollektiv stroboskopische und kymographische Aufnahmen der Mundlippenschwingungen erstellt und ausgewertet (inkl. Messung der Schwingungsamplituden bei unterschiedlichen Tonhöhen und Lautstärken). Die gemessenen Amplituden können als Normwerte für zukünftige Schwingungsanalysen der Mundlippen dienen.

[3] Um morphologische Veränderungen der beanspruchten Blechbläserlippen zu detektieren, wurden die Mundlippen sowohl klinisch, als auch sonographisch untersucht.

[4] Muskuläre Hypertonien und hohe Drücke sind bei Blechbläsern nicht nur am oberen Ende des Ansatzrohres (Mundlippen), sondern auch am unteren Ende (Stimmlippen) relevant. Deshalb wurden auch die Sprechstimme und die Stimmlippenfunktion an einem größeren Kollektiv von Blechbläsern evaluiert.

2. Vorstudie

Um Erfahrungen mit der Untersuchung von Mundlippenschwingungen bei Blechbläsern zu sammeln, wurde zur Vorbereitung der Hauptstudie zunächst eine methodenvergleichende Vorstudie durchgeführt.

2.1. Probanden und Methodik

Bei 13 Blechbläsern im Alter von 23 Jahren bis 68 Jahren (mittleres Alter: 43,9 ± 10,3 Jahre). wurde das Schwingungsverhalten der Mundlippen untersucht. Davon waren zwölf Probanden männlich und eine Probandin weiblich. Acht Probanden spielten Trompete, zwei Probanden Posaune, zwei Probanden Waldhorn und ein Proband Alphorn. Elf Probanden waren Berufsmusiker und zwei Probanden Laienmusiker.

Zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens der Mundlippen von Blechbläsern wurden drei verschiedene Untersuchungstechniken (im Folgenden als Methode A, B und C bezeichnet) verglichen.

Methode A

Bei zwölf Probanden wurden die schwingenden Mundlippen mit einem starren 90°-Lupenlaryngoskop[2] (90°-Hopkins-Optik; Modell 8707 DJ/Storz/Tuttlingen) stroboskopisch untersucht. Dabei wurde das Laryngoskop freihändig mitgeführt. Die Probanden (acht Trompeter, zwei Waldhornisten, ein Posaunist, ein Alphornist) verwendeten sog. Ringvisualizer. Dabei handelt es sich um Metallringe mit Griff (vgl. Abb. 4), die je nach Instrument des Probanden in verschiedenen Größen zum Einsatz kamen. Zusätzlich wurden Metallmundstücke mit großen seitlichen Fenstern eingesetzt (vgl. Abb. 5).

---

[2] Die Mund- und Stimmlippen der Blechbläser wurden in der vorliegenden Studie lupenlaryngoskopisch, lupenstroboskopisch und lupenkymographisch untersucht. Der besseren Lesbarkeit wegen wurde im Folgenden weitgehend auf den Zusatz „Lupen-“ verzichtet.

Abb. 4: Ringvisualizer (von links nach rechts: für Posaunisten, Trompeter, Waldhornisten)

Abb. 5: gefenstertes Mundstück (für Trompeter)

Alle Probanden wurden mit einem Ringvisualizer untersucht. Dabei konnten die schwingenden Mundlippen nur beim Buzzen (Schwingungen der Mundlippen ohne angesetztes Instrument) betrachtet werden (vgl. Abb. 4). Auf die Ringvisualizer konnte kein Instrument aufgesetzt werden.

Alle Trompeter wurden zusätzlich mit gefenstertem Mundstück untersucht. Mit gefenstertem Mundstück war eine Betrachtung der Mundlippen sowohl beim Buzzen als auch mit angesetztem Blasinstrument möglich (vgl. Abb. 5). Durch die seitlichen Öffnungen des Mundstückes ging allerdings viel Luft seitlich am Instrument vorbei und somit verloren.

Zum Triggern des Stroboskops kam ein Körperschallmikrofon (Zubehör zum Stroboskop 8020 KM/Storz/Tuttlingen; vgl. Abb. 6 und Abb. 7) zum Einsatz, welches auf die vordere Wangenhaut in der Nähe des Mundwinkels aufgesetzt wurde.

Abb. 6: Ein 50-jähriger Proband (Laie) wird mit Ringvisualizer und Körperschallmikrofon stroboskopisch untersucht (Buzzen ohne Instrument).

Abb. 7: Ein 57-jähriger Trompeter (Berufsmusiker) wird mit gefenstertem Mundstück und Körperschallmikrofon stroboskopisch untersucht (am Mundstück angesetztes Instrument).

Methode B

Bei zwei Probanden (ein Posaunist, ein Alphornist) wurde eine starre 0°-Optik (0°-Hopkins II-Optik; Modell 7230 AA /Storz/Tuttlingen) durch den Schaft eines handelsüblichen Posaunen-Metallmundstückes eingeführt, um die Mundlippenschwingungen zu analysieren (vgl. Abb. 8). Das Stroboskop wurde durch ein Körperschallmikrofon (Zubehör 8020 KM/Storz/Tuttlingen) getriggert, welches auf die vordere Wangenhaut in der Nähe des Mundwinkels aufgesetzt wurde. Auch bei dieser Methode konnten die Mundlippen nur ohne Instrument betrachtet werden.

Abb. 8: Ein 50-jähriger Proband (Laie) wird mit Methode B untersucht.

Der Bildschirm im Hintergrund von Abb. 8 zeigt die Mundlippen des Probanden (Oberlippe oben und Unterlippe unten). Die Stroboskopie-Lichtquelle zeigt die gespielte Frequenz an (vgl. weißer Pfeil in Abb. 8, gespielte Frequenz hier: 250 Hz).

Methode C

Ein Proband wurde mit seitlich angebohrtem Metallmundstück (Modell 3C, Firma Vincent Bach) untersucht, während er Trompete spielte (vgl. Abb. 9).

Abb. 9: Ein 44-jähriger Laienmusiker wird mit Methode C beim Trompetespielen untersucht.

Durch das seitliche Bohrloch wurde ein starres 70°-Winkelendoskop (4 mm Durchmesser/RehderPartner GmbH/Hamburg) in den Hohlraum des Metallmundstücks einge-

führt. An das Winkelendoskop konnten zur Untersuchung der Mundlippenschwingungen sowohl eine Stroboskopiekamera (Video-Kamera rpCam 1156/ RehderPartner GmbH/Hamburg; stroboskopischer Blitzlichtgenerator mit 100 Watt: KS-4200/Timcke/Hamburg) als auch eine Kymographie-Kamera (Videokymographic Camera 2156/Cymo/Groningen; Xenon-Lichtquelle mit 180 Watt: M-X 180/ILO GmbH/Quickborn) mit einem Fiberglas-Lichtleitkabel (495NA/Storz/Tuttlingen) angeschlossen werden. Bei dieser Untersuchungstechnik wurde ein Luftschallmikrofon (Zubehör zum Stroboskop KS-4200/Timcke/Hamburg) benutzt, welches auf einem Stativ montiert war und etwa einen Meter vom Schalltrichter des Instrumentes entfernt stand.

Die Methode C wird ausführlicher im Kapitel 3.3 beschrieben.

2.2. Ergebnisse

2.2.1. Vergleich der verschiedenen Untersuchungsmethoden

Methode A: Durch die freihändige Führung des Laryngoskops entstanden vermehrt Bewegungsartefakte, weshalb die Mundlippen nur selten scharf fokussiert abgebildet wurden. Die Untersuchung mit Ringvisualizer konnte nicht während des Blechblasinstrumentenspiels erfolgen. Bei gefensterten Mundstücken ging seitlich durch die Fenster viel Luft am aufgesetzten Instrument vorbei, sodass der Luftverbrauch deutlich erhöht war.

Methode B: Das Endoskop wurde durch den Mundstückschaft weitgehend fixiert, wodurch die Mundlippen stets in der Bildmitte sichtbar waren und nicht „verwackelten“. An den Mundstückschaft konnte jedoch kein Instrument angesetzt werden. Auch war diese Untersuchung nur mit einem Posaunenmundstück möglich, da dieses einen langen, weiten Schaft hat. Der Schaft eines Trompeten- oder Waldhornmundstücks war zu eng, um ein Endoskop einzuführen.

Methode C: Die Mundlippen waren dank einer fixen Verbindung von Kamera mit angesetztem Endoskop einerseits und Mundstück mit angesetztem Instrument andererseits stets optimal fokussiert, auch bei Bewegungen des Blechbläsers. Diese Technik erlaubt ein Spielen des Instrumentes mit normalem Luftverbrauch und mit im Handel erhältlichen Mundstücken. Die Nachteile von Methode A und B konnten somit vermieden werden.

2.2.2. Kymographische Untersuchungen

Echtzeit-Kymographie

Mit Methode C konnten kymographische Untersuchungen der Mundlippenschwingungen in Echtzeit durchgeführt werden. In einem Kymographiebild (vgl. Abb. 10) sind folgende Strukturen zu erkennen:

a) beide Mundlippen entlang des Mundstückrandes: Die Oberlippe ist stets rechts im Bild, die Unterlippe ist stets links im Bild (vgl. Abb. 10 a).

b) die Mundlippenschwingungen im Zeitverlauf: Wieder ist die Oberlippe rechts und die Unterlippe links zu sehen. Zur besseren Interpretierbarkeit wurde dieser Abbildung ein Zeitstrahl mit Zeitangabe in ms beigefügt (vgl. Abb. 10 b).

c) die Kymographielinie: Entlang dieser Linie wurden alle Lippenschwingungen als Zeilen aufgezeichnet (vgl. weiße Linie „c“ in Abb. 10 a). Die einzelnen Zeilen wurden entlang der Zeitachse untereinander (d.h. von oben nach unten) aufgetragen (vgl. Abb. 10 b). Die Kymographielinie in den nativen Videobildern war frei einstellbar und wurde in der vorliegenden Studie einheitlich auf die Lippenmitte justiert (vgl. weiße Linie „c“ in Abb. 10 a).

Abb. 10: Entwicklung des kymographischen Schwingungsprofils der Mundlippen (b) bei einem 44-jährigen Trompeter (Berufsmusiker), (247 Hz, H3, *mf*) aus den nativen Videoaufnahmen (a). Der Zeitstrahl wurde zur Verdeutlichung im Nachhinein eingefügt. Die zu den Notennamen gehörigen Frequenzangaben in Hertz finden sich auf der Homepage des Instituts für „Music acoustics" der Universität New South Wales/Sydney [90].

In Abb. 10 a sind die Mundlippen erkennbar, die mit Methode C innerhalb des Mundstückkessels videodokumentiert wurden. Die Unterlippe (UL) ist links dargestellt, die Oberlippe (OL) rechts. Mittels einer hochauflösenden Kymographiekamera wurden die Mundlippenschwingungen entlang einer einzigen, frei wählbaren Linie (in Abb. 10 a weiß eingezeichnet) 7200mal pro Sekunde (1000 ms) untereinander aufgetragen. Daraus ergaben sich 72 videodokumentierte Zeilen in 10 ms bzw. 4x72 Zeilen = 288 Zeilen in 4x10 ms = 40 ms (vgl. Abb. 10 b).

Abtastrate und Wiedergabefrequenz/Bildfolgerate der Kymographiekamera sind in Tabelle 1 zusammengefasst:

Abtastrate	Wiedergabefrequenz
7200 Zeilen/1000 ms	25 Bilder/1000 ms
288 Zeilen/40 ms	1 Bild/40 ms

Tabelle 1: Abtastrate und Wiedergabefrequenz/Bildfolgerate der Kymographiekamera

Somit wird durch die Kamera alle 40 ms ein neues kymographisches Bild erstellt, das jeweils aus 288 untereinander aufgetragenen Zeilen besteht.

Die Oberlippe überlagert in Abb. 10 partiell die Unterlippe, hierdurch erscheint die Oberlippe dicker und heller (besser belichtet) und die Unterlippe dünner und dunkler (schlechter belichtet). Der Blechbläser ist somit dem Downstream-Typ (vgl. Kapitel 1.3) zuzuordnen.

Da jede einzelne Mundlippenschwingung in Echtzeit als Zeile erfasst wurde, ließen sich Einschwing-, Vollschwing- und Ausschwingphasen differenzieren (vgl. Abb. 11 - Abb. 14):

Abb. 11: Einschwingphase, 44-jähriger Trompeter (Berufsmusiker)

Abb. 12: Vollschwingphase (494 Hz, H4, *mf*), kleine Amplituden, 44-jähriger Trompeter (Berufsmusiker)

Abb. 13: Vollschwingphase (247 Hz, H3, *mf*), große Amplituden, 44-jähriger Trompeter (Berufsmusiker)

Abb. 14: Ausschwingphase, 44-jähriger Trompeter (Berufsmusiker)

In der Einschwingphase (vgl. Abb. 11) zu Beginn eines geblasenen Tons haben die Mundlippen mit zunehmender Amplitudengröße geschwungen. Eine konstante Amplitudengröße während des gespielten Tons zeichnete die Vollschwingphase (vgl. Abb. 12 und Abb. 13) aus. Je nach Frequenz variierte die Amplitudengröße (vgl. Abb. 12 und Abb. 13). Während der Ausschwingphase (vgl. Abb. 14) endete der geblasene Ton, die Schwingungsamplituden wurden zunehmend kleiner.

Analog zu den Stimmlippen wurde auch bei den Mundlippen zwischen Öffnungs-, Schließungs-, Offen- und Verschlussphase unterschieden (vgl. Abb. 15).

Abb. 15: a) Öffnungs-, Schließungs-, Offen- und Verschlussphase bei einem 44-jährigen Trompeter (Berufsmusiker), (247 Hz, H3, *mf*)

b) Ausschnittsvergrößerung um 90° nach links gedreht: roter Pfeil: Öffnungsphase, blauer Pfeil: Schließungsphase, violetter Pfeil: Offenphase, grüner Pfeil: Verschlussphase

Diese kymographische Einteilung von Schwingungszyklen der Mundlippen basiert auf der Analyse der Stimmlippenschwingungen von Gall und Hanson [91], der Arbeitsgruppe um Švec [92]-[94] sowie der Beschreibung von Öffnungs-, Schließungs-, Offen- und Verschlussphase („phase d'ouverture", „phase de fermeture", „phase fermée", „phase ouverte") an den Mundlippen eines Posaunisten durch Damsté im Jahre 1966 [18]. Während der Öffnungsphase (vgl. roter Pfeil in Abb. 15) vergrößert sich der Abstand zwischen den Mundlippen. Am Schwingungsmaximum erreichen Ober- bzw. Unterlippenamplitude ihre maximale Auslenkung (vgl. Übergang von rotem zum blauen Pfeil in Abb. 15). In der Schließungsphase nähern sich Ober- und Unterlippe an (vgl. blauer Pfeil in Abb. 15). Als Offenphase bezeichnete man die komplette Zeit, während der die Mundlippen geöffnet sind (Summe aus Öffnungs- und Schließungsphase, vgl. violetter Pfeil in Abb. 15). Während der Verschlussphase ist der Mundspalt komplett geschlossen (vgl. grüner Pfeil in Abb. 15).

Farbstrobokymographie

Eine zweite Möglichkeit, die schwingenden Mundlippen kymographisch zu untersuchen, ist die sog. Farbstrobokymographie (vgl. Abb. 16):

Abb. 16: Ausgangsbild: natives Videostroboskopiebild der Mundlippen im Mundstückkessel (um 90° nach rechts gedreht, daher UL links und OL rechts), aufgenommen mit Methode B bei einem 32-jährigen Posaunisten (Laie); rechts paramediane (Linie A), mediane (Linie B) und links paramediane (Linie C) Farbstrobokymographie

Aus den nativen Videostroboskopieaufnahmen[3] wurden entlang frei wählbarer Linien (vgl. Abb. 16) mittels einer Software (d.h. ohne zusätzliche Kymographiekamera) sekundär kymographische Zeilenbilder rekonstruiert. Dabei wurden nur die zuvor stroboskopisch erfassten Schwingungsbilder verwendet. Dies führte zu asymmetrischen Amplitudenkonfigurationen, da jede sekundär farbstrobokymographisch rekonstruierte Amplitude aus vielen einzelnen stroboskopisch erfassten Schwingungszyklen (vgl. Abb. 17) zusammengesetzt war.

In der Echtzeit-Kymographie (mit zusätzlicher Kymographiekamera) wurden sämtliche Schwingungen entlang der frei wählbaren Linie abgebildet, so dass die Amplituden gleichförmiger konfiguriert waren (vgl. Abb. 10, Abb. 12, Abb. 13 und Abb. 15 a).

Die Farbstrobobokymographie konnte mit allen beschriebenen Methoden (A, B und C) durchgeführt werden.

2.2.3. Stroboskopische Untersuchungen

Stroboskopisch konnten Öffnungs-, Schließungs- und Offenphase unterschieden werden (vgl. Abb. 17). Im folgenden Beispiel[3] (vgl. Abb. 17) entspricht die Öffnungphase den

---

[3] Das entsprechende Video wurde freundlicherweise von Herrn Dr. med. C. Zumegen/Zülpich zur Verfügung gestellt (vgl. Danksagungen).

Bildern 0°-135°, die Schließungsphase den Bildern 135°-360°. Bei diesem stroboskopisch dargestellten Schwingungszyklus war eine Verschlussphase nicht eindeutig zu identifizieren.

Abb. 17: stroboskopischer Schwingungszyklus der Mundlippen, aufgenommen mit Methode B bei einem 32-jährigen Posaunisten (Laie)

Eine Unterteilung in Einschwing,- Vollschwing- und Ausschwingphase war nicht möglich, da bei der stroboskopischen Blitzlichttechnik „die weitaus größte Zeit einer Perio-

de […] der zu untersuchende Gegenstand im Dunkeln“ liegt [95] und somit kein vollständiger Mundlippenschwingungszyklus abgebildet werden kann.

2.3. Schlussfolgerungen für die Hauptstudie

Zur Schwingungsuntersuchung der Mundlippen bei Blechbläsern ist eine standardisierte Untersuchungsmethodik am besten geeignet, bei der Kamera mit angesetztem Endoskop einerseits und Mundstück mit angesetztem Instrument andererseits stets fest verbunden sind. Nur so können Bewegungsartefakte vermieden werden. Es sollten handelsübliche Mundstücke und Blasinstrumente zum Einsatz kommen, um möglichst reale Spielbedingungen zu gewährleisten.

Die in Methode C beschriebene Konstruktion erwies sich somit als am besten geeignet zur Untersuchung der Mundlippenschwingungen während des Spielens auf Blechblasinstrumenten. Für die Hauptstudie wurden deshalb weitere Ausführungen dieses Untersuchungsinstrumentariums für Trompeten, Posaunen, Hörner und Tuben angefertigt.

Aufgrund der besseren Auflösung (jede einzelne Schwingung wird abgebildet) wurde in der Hauptstudie die Echtzeit-Kymographie angewendet. Die Farbstrobokymographie ist eine kostengünstigere Alternative, bei der nur eine Kamera für Stroboskopie und Kymographie benötigt wird. Daher kommt sie vermehrt in Praxen zur Anwendung. In der Hauptstudie wurden hingegen zwei separate Kameras für Kymographie und Stroboskopie eingesetzt, um eine bessere Auflösung der kymographischen Zeilenbilder zu erhalten.

3. Probanden und Methodik

3.1. Probanden

Um möglichst viele Blechbläser über die Studie zu informieren, wurde im IPV-Journal (IPV = Internationale Posaunenvereinigung) ein Aufruf zur Teilnahme gestartet. Außerdem wurden auf der Jahreshauptversammlung der IPV 2010 und auf der 3. Deutschen Brass Meisterschaft 2010 Informationsstände betrieben. Durch derartige Werbeaktionen konnten auch Probanden aus weiter entfernten Städten (z.B. Zwickau, Trier, Stuttgart) gewonnen werden. Das entsprechende Einladungs- und Informationsschreiben zur Hauptstudie befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

Für die vorliegende Studie stellten sich insgesamt 51 Blechbläser zur Verfügung. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf genehmigt (Aktenzeichen/Studiennummer 3841).

Ein Tubist wurde von den Untersuchungen ausgeschlossen, weil bei ihm in den letzten zwölf Monaten vor Beginn der Studie wiederholt epileptische Anfälle aufgetreten waren (zum Teil beim Musizieren). Der Proband wurde deshalb nicht untersucht, weil zu befürchten war, dass durch das stroboskopische Flackerlicht und die intrakranielle Drucksteigung epileptische Anfälle provoziert werden könnten.

Insgesamt wurden somit 50 Blechbläser in die Studie eingeschlossen.

3.2. Untersuchungssetting

Die Untersuchungen fanden in einem schallgedämmten Raum mit einer Grundfläche von ca. 6,6 m x 4,1 m, einer Höhe von ca. 3,0 m und einer Fensterfront statt. Eine Übersicht über das Setting während der Mundlippenuntersuchungen liefert Abb. 18:

Abb. 18: Setting während der Mundlippenuntersuchungen

Der Proband (P) stand, mit Blick auf den Notenständer, links neben dem ersten Untersucher (U1), der das fest mit dem Mundstück verbundene 70°-Winkelendoskop (4 mm Durchmesser/RehderPartner GmbH/Hamburg) und die Stroboskopiekamera (Video-Kamera rpCam 1156/RehderPartner GmbH/Hamburg) bzw. Kymographiekamera (Videokymographic Camera 2156/Cymo/Groningen) mit angeschlossenem Fiberglas-Lichtleitkabel (495NA/Storz/Tuttlingen) führte. Die Stroboskopiekamera erzeugte 25 Bilder pro Sekunde. Die Abtastrate der Kymographiekamera betrug wie in der Vorstudie 7200 Zeilen pro Sekunde (vgl. Tabelle 1).

In Abb. 18 wurden zusätzlich zum PC folgende Geräte zum „Untersuchungsturm“ zusammengefasst: der stroboskopische Blitzlichtgenerator (100 Watt; KS-4200/Timcke/Hamburg), die Xenon-Kymographielichtquelle (180 Watt; M-X 180/ILO GmbH/Quickborn) und der Audio-Video-Umschalter (Professional-S-Video Control/SpeaKa Conrad Electronic SE/Hirschau).

Weitere Bestandteile des stroboskopischen Untersuchungsequipments waren ein Luftschallmikrofon (Zubehör zum Stroboskop KS-4200/Timcke/Hamburg), welches etwa einen Meter vom Schalltrichter des jeweiligen Blasinstrumentes aufgebaut war, sowie ein Fußschalter (Zubehör zum Stroboskop KS-4200/Timcke/Hamburg), welcher vom ersten Untersucher betätigt wurde und durch Kippen zwischen Dauerlicht, stehendem und bewegtem Stroboskopie-Licht hin- und herschalten konnte.

Der zweite Untersucher (U2) bediente die Videokamera (Digital Handycam Super-Steady Shot DCR-TRV15E/SONY/Köln), welche Gesicht und Oberkörper der Probanden mit deren Einverständnis während des gesamten Untersuchungsablaufes filmte. Außerdem nahm er die Feineinstellungen (Helligkeit und Kontrast) der stroboskopischen bzw. kymographischen Lichtquellen und den DIN-normierten Weißabgleich für sämtliche endoskopischen Untersuchungen von Mundlippen und Larynx vor.

Der dritte Untersucher (U3) bediente den Personal Computer (rpSzene®-Rechner mit Microsoft Windows XP Professional/RehderPartner GmbH/Hamburg und Anwendersoftware rpSzene® Version 8.0 [2006-2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg). Der PC diente gleichzeitig als Aufnahme- und Bearbeitungsmedium für die Videos.

3.3. Untersuchungsequipment

Präparation der Mundstücke

Die Metallmundstücke wurden dankenswerterweise unentgeltlich von der Firma Josef Klier GmbH & Co. KG/Diespeck (www.josefklier.de) zur Verfügung gestellt.

Um die Mundlippenschwingungen während des Spielens auf dem Blechblasinstrument stroboskopisch und kymographisch untersuchen zu können, mussten die Mundstücke zunächst wie im Folgenden beschrieben speziell präpariert werden. Die Präparation der Mundstücke erfolgte unentgeltlich durch die Firma RehderPartner GmbH/Hamburg (www.rehder.de).

Da die Mundstückkessel bzw. Mundstücktrichter unterschiedlich konfiguriert waren und dennoch die Mundlippenschwingungen stets optimal fokussiert sein sollten, musste die Stelle, an welcher der Kessel bzw. Trichter des jeweiligen Mundstückes angebohrt wurde, für jedes einzelne Mundstück individuell exakt bestimmt werden.

Zur Bestimmung der „Anbohrstelle“ wurden zunächst Mundstück und Endoskop auf Millimeterpapier gelegt. Dann wurde das Endoskop (70°-Winkeloptik, Durchmesser 4 mm) so positioniert, dass bei einem Einfallwinkel von 70° der Innenrand des Mundstückkessels bzw. -trichters in seiner kompletten Zirkumferenz durch das Endoskop formatfüllend sichtbar wurde und somit optimal fokussiert war. Danach wurde der Abstand zwischen Endoskopspitze und Mundstückaußenrand ermittelt (im Beispiel Abb. 19 sind dies 21 mm).

Abb. 19: Bestimmung der Anbohrstelle bei einem Posaunenmundstück

a) Messung des optimalen Fokussierungsabstandes zwischen Endoskopspitze und Mundstückaußenrand

b) Spiegelung an der Horizontalen durch den Mundstückaußenrand

Da das Licht aus den Mundstückkesseln bzw. -trichtern kommen sollte, musste der Kessel bzw. Trichter des jeweiligen Mundstückes mit einem Winkel von 70° seitlich angebohrt werden (vgl. weißer Pfeil in Abb. 19 b). Das Bohrloch musste exakt den gleichen Abstand vom Außenrand des Mundstückkessels bzw. -trichters haben, der zuvor zwischen Endoskopspitze und Außenrand des Mundstückkessels bzw. -trichters ermittelt wurde. Im Beispiel Abb. 19 musste das Bohrloch somit genau 21 mm unterhalb des Außenrandes des Mundstückkessels angelegt werden.

Um diesen Punkt zu bestimmen, musste die Position der Endoskopspitze an einer durch den Mundstück-Außenrand gelegten Horizontalen gespiegelt werden, und es resultierte die Anbohrstelle des Mundstückkessels bzw. –trichters (vgl. Abb. 19 b).

Damit das Endoskop während der Untersuchungen stets fest am Mundstück fixiert war, musste eine Endoskophalterung konstruiert werden: Hierzu wurde eine Endoskophülse aus Messing (vgl. Abb. 20) verwendet, an deren einem Ende eine Kupplung mit einem blau markierten Hebel (vgl. weißer Pfeil Abb. 20) angeschweißt wurde.

Abb. 20: Endoskophülse für ein Trompetenmundstück

Diese Endoskophülse diente als Führungsstab für die 70°-Winkeloptik. In das andere Ende der Endoskophülse wurde ein feines Gewinde hineingefräst. Auf dieses Gewinde wurde eine Rändelschraube aufgesetzt (vgl. roter Pfeil in Abb. 20). In das Bohrloch am Mundstückkessel bzw. -trichter wurde ein korrespondierendes Feingewinde gefräst (vgl. Abb. 21).

Abb. 21: Trompetenmundstück mit eingefrästem Feingewinde (Pfeil)

Fixation des Endoskops am Mundstück

Der Führungsstab wurde mittels der aufgesetzten Rändelschraube in das korrespondierende vorgefräste Feingewinde im Bohrloch des Mundstückkessels bzw. -trichters eingeschraubt (vgl. Abb. 22 unten).

Abb. 22: Trompetenmundstück mit angeschraubtem Führungsstab und separatem Endoskop

Die 70°-Winkeloptik (vgl. Abb. 22 oben) wurde in den Führungsstab (Endoskophülse) eingeführt und mittels der Endoskop-Kupplung fest arretiert (vgl. Abb. 23). Das Arretieren der Winkeloptik geschah durch Umlegen des blau markierten kleinen Kupplungshebels (vgl. weißer Pfeil in Abb. 23)

Abb. 23: Trompetenmundstück mit eingeführtem Endoskop

Dieser „Schnellverschluss“ des Führungsstabes sicherte die feste Fixierung des Endoskops am Mundstückkessel bzw. -trichter, so dass Bewegungsartefakte („Verwackeln“) während des Spielens auf dem Blechblasinstrument und während der Videoaufzeichnung vermieden wurden.

Je nach Typ und Konfiguration des Mundstücks (schmal und trichterförmig oder glocken- bzw. kesselförmig) wurde der Führungsstab mittels Rändelschraube (vgl. roter

Pfeil in Abb. 24) unterschiedlich weit in den Mundstückkessel bzw. -trichter hineingeschraubt, um eine optimale Zentrierung und Fokussierung der 70°-Winkeloptik (vgl. weißer Pfeil in Abb. 24) und damit der schwingenden Mundlippen zu ermöglichen. Die 70°-Winkeloptik war dann exakt justiert, wenn die gesamte Zirkumferenz des Außenrandes des Mundstückkessels bzw. -trichters optimal fokussiert und mittig positioniert durch das Endoskop sichtbar wurde. Der Außenrand des Mundstückkessels bzw. -trichters musste dabei in seiner gesamten Zirkumferenz überall gleich breit sein, während man durch das Endoskop schaute. Das Endoskop wurde so lange vorsichtig um seine Achse gedreht, bis eine Scharfeinstellung der Mundlippen in Bildmitte (d.h. eine optimale Fokussierung und Zentrierung) erreicht war. Nach Beendigung dieser etwa ein bis zwei Minuten dauernden Justierung wurde die Rändelschraube so lange angezogen, bis der Führungsstab (Endoskophülse) wieder fest fixiert war.

Abb. 24: kesselförmiges Trompetenmundstück (a) und trichterförmiges Waldhornmundstück (b) mit Rändelschraube (roter Pfeil), unterschiedlich weit eingeschraubtem Führungsstab (blauer Pfeil) und Lichtaustrittsöffnung der 70°-Winkeloptik (weißer Pfeil)

Dann wurde zwecks Farbvideodokumentation eine digitale Stroboskopie- bzw. Kymographiekamera auf das dem Untersucher zugewandte Ende des Endoskops aufgesetzt. Die Beleuchtung erfolgte über ein am Endoskop angeschraubtes flexibles Glasfaserkabel. Um mit diesen speziell präparierten Mundstücken zu spielen, musste lediglich das angebohrte Mundstück auf das Instrument gesetzt werden (vgl. Abb. 25), und der Proband konnte dann wie gewohnt hineinblasen (vgl. Abb. 26).

Abb. 25: Mundstück mit daran fixierter Kamera-Endoskop-Einheit und angesetzter Trompete

Abb. 26: Nahaufnahme eines 32-jährigen Posaunisten (Musikstudent; P.-Nr. 34); roter Pfeil: Führungsstab, weißer Pfeil: Rändelschraube, schwarzer Pfeil: Mundstück, blauer Pfeil: aufgesetztes Instrument

Damit die Musiker ein für sie angenehmes Mundstück auswählen konnten, wurden für die gängigen Blechblasinstrumente (Trompete, Posaune, Waldhorn) jeweils verschieden konfigurierte Mundstücke angeboten. Folgende angebohrte Mundstücke kamen zum Einsatz:

Instrument	Mundstück-Hersteller	Mundstück-Typ	Innendurch-messer [mm] des Mundstücks	Probanden
Trompete	Josef Klier	EXCLUSIVE 4C	16	11
	Josef Klier	EXCLUSIVE 5D	16	5
	Bach	B-Trompete 3C	16	5
Posaune	Josef Klier	EXCLUSIVE 8C	25	1
	Josef Klier	EXCLUSIVE 6C	25	4
	Josef Klier	EXCLUSIVE 1BK	27	3
	Josef Klier	EXCLUSIVE 3AL	27	1
	Arnold & Sons	6 ½ AL-L	25	7
Waldhorn	Josef Klier	EXCLUSIVE 1CM	18	2
	Josef Klier	EXCLUSIVE 2DM	17	8
	Arnold & Sons	Nr. 12	17	1
Tuba	Arnold & Sons	Nr. 18	32	2

Tabelle 2: angebohrte Mundstücke mit Innendurchmesser in mm

3.4. Standardisierter Untersuchungsablauf

Vorbereitungen

Zur Anamneseerhebung wurde ein spezieller Fragebogen für die Blechbläser konzipiert (vgl. Anhang). Dieser Anamnesebogen beinhaltete neben Fragen zur Gesundheit auch Fragen zum Spiel- und Übeverhalten sowie den SSI-Fragebogen zur Selbsteinschätzung der Stimme durch den Probanden [46]-[48]. Um den Probanden ausreichend Zeit zur Beantwortung der Fragen zu gewähren, wurde der Fragebogen bereits im Vorfeld der Untersuchung zugeschickt und ausgefüllt zum Untersuchungstermin mitgebracht.

Einspielen

Jeden Tag wurden zwei bis vier Probanden untersucht. Dabei spielte sich der Proband zunächst in einem separaten Raum ein. Die Einspielzeit variierte je nach Gewohnheit zwischen 10 und 20 Minuten. Einige Probanden hatten sich schon zu Hause eingespielt, so dass direkt mit den Untersuchungen begonnen werden konnte. Während des Einspie-

lens kontrollierte der dritte Untersucher die Anamnesebögen auf Vollständigkeit, eventuelle Fragen wurden geklärt.

Untersuchung der Mundlippenfunktion

Die Übungen, welche von den Blechbläsern gespielt wurden, beinhalteten Passagen in verschiedenen Lautstärken (Pianissimo bis Fortissimo), Artikulationen (staccato und legato) und Tonhöhen. Sie wurden in Zusammenarbeit mit professionellen Blechbläsern erarbeitet und sollten das gesamte technische Spektrum des Instrumentes abbilden, um möglichst die „natürliche Belastung“ (wie z.B. in einem Konzert oder einer Oper) zu imitieren.

Damit sämtliche untersuchten Blechbläser standardisiert jeweils das gleiche Repertoire spielten, wurde mit Hilfe der o.g. professionellen Blechbläser ein einheitliches Notenblatt für jedes der vier Blechblasinstrumente (Trompete, Posaune, Waldhorn, Tuba) entwickelt (vgl. Anhang), das jedem Studienteilnehmer am Untersuchungstag vorgelegt wurde.

Während die Blechbläser diese Übungen spielten, wurden die Mundlippenschwingungen stroboskopisch und kymographisch aufgenommen (vgl. Kapitel 3.3 und Abb. 27).

Abb. 27: Untersucher und 25-jähriger Posaunist (Musikstudent, P.-Nr. 26) bei der Mundlippenstroboskopie

Vor den Untersuchungen wurden die Musiker gebeten, möglichst „trocken“ (d.h. ohne Benetzen der Lippen mit Sputum) zu spielen, um ein Beschlagen der Optik so gering

wie möglich zu halten. Mit der in Kapitel 3.3 beschriebenen Methode wurden Lippenschwingungen mit angesetztem Instrument stroboskopisch und kymographisch untersucht.

Weil in der musikalischen Aufführungspraxis die Tonhöhe, je nach Stilrichtung (z.B. Barock, Klassik etc.), sehr unterschiedlich interpretiert wird, variieren die Stimmungen der Instrumente erheblich. Deshalb wurden in der vorliegenden Studie den Blechbläsern Noten anstelle von genauen Hertzangaben vorgegeben. Die Notennamen wurden in der „scientific pitch notation“ angegeben, welche 1939 von der Acoustical Society of America eingeführt wurde [96]. Für die statistische Berechnung von Korrelationen wurden die gespielten Frequenzen in Hertz (diskrete Messwerte) berücksichtigt.

Die Lautstärkeangaben wurden ordinalskaliert (*pp*, *mf* und *ff*), denn in der Literatur fehlen Angaben bezüglich der entsprechenden Schalldruckpegel.

Zunächst wurde der Standardton C4 (ca. 262 Hz [90]) von allen Blechbläsern in mittlerer Lautstärke intoniert. Dieser Standardton konnte auf allen Instrumenten gespielt werden. Danach wurden instrumentenspezifische Töne (mittlere Lautstärke, sowie im pp und ff) gespielt:

Trompete:	F4, B ♭ 4, D5, F5	Posaune:	F3, B ♭ 3, D4, F4
Waldhorn:	F3, B ♭ 3, D4, F4	Tuba:	F2, B ♭ 2, D3, F3

Diese Töne wurden gewählt, weil sie der mittleren Tonlage des jeweiligen Instruments entsprechen [97]. Im Pianissimo sollten die Blechbläser so leise wie möglich, bei Fortissimo so laut wie möglich spielen.

Auf genaue Tempovorgaben, Lautstärkevorgaben in dB und Frequenzvorgaben in Hz wurde bewusst verzichtet, um die reale Situation des Instrumentenspiels möglichst genau zu imitieren, denn es handelt sich um künstlerische Parameter, die je nach Fähigkeit und Vorlieben des Blechbläsers variieren.

Die gleiche Notenabfolge (Standardton und danach instrumentenspezifische Töne) wurde sowohl mit der Kymographiekamera als auch mit der Stroboskopiekamera von allen 50 Blechbläsern gespielt.

.Morphologische Beurteilung der Mundlippen

Die morphologische Mundlippenuntersuchung mittels Inspektion und Sonographie war ein Nebenaspekt der vorliegenden Studie.

Zur makroskopischen Beurteilung der Mundlippen wurden die Mundlippen aller 50 Blechbläser im Anschluss an die kymographischen und stroboskopischen Untersuchungen (d.h. nach dem Spielen) klinisch begutachtet: Ober- und Unterlippe wurden evertiert und genau inspiziert. Veränderungen (z.B. Narben oder Schwellungen) wurden fotografisch (Digitalkamera E-420/Olympus/Hamburg) dokumentiert.

Zur sonographischen Beurteilung der Mundlippenmorphologie wurden bei 50 Blechbläsern sowohl Ober- als auch Unterlippe sagittal und transversal mit einem Linearschallkopf (7,5 MHz/EUP-L33ST bzw. 14 MHz/EUP-L65/Hitachi/Wiesbaden) im B-Mode (Sonographiegeräte Ecoscan EUB-405E und HI VISION Avius/Hitachi/Wiesbaden) durchmustert. Pathologische Veränderungen wurden als Einzelbilder digital gespeichert.

Untersuchungen von Stimme und Larynx

Die Stimm- und Larynxuntersuchungen wurden bewusst ans Ende des Untersuchungsablaufs gestellt, um die Stimme nach Beanspruchung des Phonationsapparates durch das Blasen des Instrumentes zu beurteilen. Dazu las jeder Proband den phonetisch ausgewogenen Text „Der Nordwind und die Sonne“ (vgl. Anhang) vor. Dieser Text ist im deutschsprachigen Raum gängig zur semiobjektiven auditiven Einschätzung der Sprechstimmqualität. Der Text war den Probanden vorher nicht gezeigt worden. Die Stimme wurde mit einem Luftschallmikrofon (Zubehör KS-4200/Timcke/Hamburg) aufgenommen. Diese Tonaufnahme wurde digital auf dem Personal Computer (rpSzene®-Rechner mit Microsoft Windows XP Professional/RehderPartner GmbH/Hamburg) gespeichert.

Morphologie und Funktion der Stimmlippen wurden laryngoskopisch und stroboskopisch beurteilt. Da diese transorale Endoskopie vergleichsweise belastend war, wurde sie ans Ende des Untersuchungprogrammes gestellt. Das starre Laryngoskop (90°-Winkeloptik; HD2/Olympus/ Hamburg) war an eine stroboskopische Lichtquelle (KS-4200/Timcke/Hamburg) angeschlossen. Zur Triggerung des Stroboskops bei der Larynxuntersuchung wurde ein Körperschallmikrofon verwendet (Zubehör KS-4200/Timcke/Hamburg).

3.5. Schwingungsanalysen der Mundlippen

Die Auswertung der Mundlippenschwingungen erfolgte mit dem Softwareprogramm rpSzene® (rpSzene® Version 8.0 [2006-2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg). Mit Hilfe der Software konnten Einzelbilder erzeugt und die im Folgenden beschriebenen Messungen durchgeführt werden. Außerdem wurde zu allen gespielten Tönen die Frequenz (in Hz) aufgezeichnet.

3.5.1. Kymographie

Analog zur Vorstudie war die Oberlippe immer links abgebildet und die Unterlippe immer rechts (vgl. Kapitel 2.2.2).

Kalibrierung

Um die Mundlippenschwingungen kymographisch zu analysieren, wurden zunächst die auszuwertenden Bilder ausgewählt. Ein geeignetes Kymographiebild (vgl. Abb. 28) musste folgende Kriterien erfüllen:

1. Die Lippen sollten frei von Sputum sein.
2. Es durften keine Frequenzschwankungen vorliegen: dazu wurden drei aufeinanderfolgende Einzelbilder (somit insgesamt 120 ms) verglichen. Wenn das mittlere Bild die gleiche Frequenz wie die benachbarten Bilder aufwies und somit die Frequenz nicht schwankte, war es geeignet.
3. Indem nur Vollschwingphasen (vgl. Kapitel 2.2.2, Abb. 12 und Abb. 13) ausgewählt wurden, konnten Amplitudenschwankungen vermieden werden.

Die zur Auswertung ausgewählten Kymographiebilder bestanden aus zwei Halbbildern (die geraden Zeilen aus dem ersten Halbbild und die ungeraden Zeilen aus dem zweiten Halbbild). Dies führte zu den in Abb. 28 erkennbaren Streifenartefakten.

Abb. 28: geeignetes Kymographiebild ohne Interlacefilter (unscharfe Amplituden): gleichmäßige Schwingungsamplituden in der Vollschwingphase bei einem 17-jährigen Trompeter (Musikstudent, P.-Nr. 32), (345 Hz, F4, *mf*)

Im nächsten Schritt (vgl. Abb. 29) wurde ein im Softwareprogramm rpSzene® (rpSzene® Version 8.0 [2006-2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg) enthaltener Interlacefilter über das Bild gelegt, so dass nur die geraden Zeilen sichtbar waren. Nun konnten die einzelnen Schwingungsamplituden scharf abgebildet und somit exakt ausgemessen werden. Bei Überlagerung von geraden und ungeraden Zeilen waren die Amplituden hingegen nicht messbar (vgl. Abb. 28).

Abb. 29: Kymographiebild mit Interlacefilter (scharf abgrenzbare Amplituden) bei einem 17-jährigen Trompeter (Musikstudent, P.-Nr. 32), (345 Hz, F4, *mf*)

Für die Ausmessung der Mundlippenschwingungen musste jedes Einzelbild anhand des Mundstückinnendurchmessers kalibriert werden. Hierzu wurde zunächst eine Messlinie durch den Innendurchmesser des Mundstückes gelegt (vgl. Abb. 30 a). In Abb. 30 a ist diese beispielsweise 192,5 Messeinheiten lang. Da der Innendurchmesser des Mundstückes zuvor ausgemessen wurde, konnte man die Länge der Kalibrierungsgeraden in

einem zweiten Schritt mit der Auswertungssoftware festlegen (in Abb. 30 b sind das 25 mm).

Abb. 30: Erstellung einer Kalibrierungsgerade bei einem 43-jährigen Posaunisten (Laie, P.-Nr. 25)

Waren die Mundstückränder unvollständig oder gar nicht im Bild erfasst, wurde der Verlauf der Mundstückränder extrapoliert. Dazu wurde der Verlauf des Mundstückrandes anhand von sichtbaren Anteilen des Mundstückrandes (vgl. Abb. 31) oder anhand von zeitnahen Einzelbildern (vgl. Abb. 32) möglichst genau abgeschätzt.

Nachdem der Mundstückrand bestimmt war, wurden dann die Messpunkte für die rote Kalibrierungsgerade gesetzt. So konnten auch Blechbläser, deren Lippen nicht in vollem Umfang sichtbar waren, ausgewertet werden (vgl. Abb. 31).

Abb. 31: Abschätzung nicht sichtbarer Anteile des Mundstückrandes anhand von sichtbaren Anteilen des Mundstückrandes bei einem 48-jährigen Posaunisten (Laie, P.-Nr. 35)
a) nur teilweise sichtbarer Mundstückrand (gekennzeichnet durch den schwarzen Pfeil)
b) geschätzter Verlauf des Mundstückrandes (Kreis)
c) extrapolierte rote Kalibrierungsgerade

Wenn der Mundstückrand gar nicht sichtbar war (vgl. z.B. Abb. 32 b), wurde ein Bild in der gleichen Filmsequenz (möglichst zeitnahe am auszuwertenden Bild) gesucht, in dem der Mundstückrand sichtbar war (vgl. Abb. 32 a). Der Mundstückrand wurde dann in das auszuwertende Kymographiebild transponiert, so dass nun eine Kalibrierungsgerade definiert werden konnte.

Abb. 32: Abschätzung des Mundstückrandes im Zeitverlauf bei einem 50-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 28) mit nicht sichtbarem Mundstückrand
a) sichtbarer Mundstückrand bei Ansetzen des Mundstücks
b) Mundstückrand nicht sichtbar; mit roter Kalibrierungslinie

Je nach Einsehbarkeit des Mundstückrandes wurde für die Kalibrierung eines der im Folgenden beschriebenen Verfahren angewendet:

Der Rand des Mundstückes war oben und unten einsehbar, so dass die Kalibrierungslinie direkt bestimmt werden konnte. Eine Extrapolation war nicht nötig.

Abb. 33: 53-jähriger Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 8); Rand des Mundstückes oben und unten einsehbar

Der Rand des Mundstückes war nur unten im Bild (= anatomisch links) sichtbar, so dass der obere/rechte Mundstückrand mittels des in Abb. 31 beschriebenen Extrapolationsverfahrens geschätzt werden musste.

Abb. 34: 29-jähriger Waldhornist (Musikstudent, P.-Nr. 48); Rand des Mundstückes nur unten/links sichtbar

Der Rand des Mundstückes war nur oben im Bild (= anatomisch rechts) sichtbar, so dass der untere/linke Mundstückrand mittels des in Abb. 31 beschriebenen Extrapolationsverfahrens geschätzt werden musste.

Abb. 35: 34-jähriger Posaunist (Berufsmusiker, P.-Nr. 33); Rand des Mundstückes nur oben/rechts sichtbar

Der Rand des Mundstückes war weder oben/rechts noch unten/links sichtbar, so dass beide Mundstückränder mittels des in Abb. 32 beschriebenen Transpositionsverfahrens geschätzt werden mussten.

Abb. 36: 53-jähriger Tubist (Laie, P.-Nr. 23); Rand des Mundstückes nirgendwo sichtbar

Messung der Amplituden

Um die Schwingungsamplituden zu messen, wurde zunächst die Randkontur der Mundlippen im Zeitverlauf identifiziert, um Schwingungsminima und -maxima (maximale Auslenkung der Mundlippen am Übergang von Öffnungs- zur Schließungsphase) zu bestimmen. Dann wurde eine Grundlinie durch die Schwingungsmaxima gelegt (vgl. Abb. 37).

Diese Grundlinienbestimmung war nicht immer exakt möglich, da es sich um dreidimensionale Schwingungen handelt, die mit einer zweidimensionalen Methode ausgemessen wurden und daher die Schwingungsmaxima des äußeren freien Lippenrandes

(vgl. Abb. 37) nicht immer eindeutig definiert werden konnten. In diesen Fällen wurde versucht, den Verlauf der Schwingung des äußeren freien Lippenrandes möglichst genau abzuschätzen; war dies nicht möglich, konnte der entsprechende Proband nicht nach der beschriebenen Methode ausgewertet werden (vgl. Kapitel 4.2.2, Unterkapitel „Limitierungen der Methode“)

Abb. 37:

a) natives Kymographiebild eines 52-jährigen Tubisten (Berufsmusiker, P.-Nr. 30), (88 Hz, F2, *mf*)

b) Ausschnittsvergrößerung um 90° nach links gedreht:

rote Linie: Grundlinie durch die Schwingungsmaxima der Oberlippe (für Amplitudenmessungen)

rosa Linie: äußerer freier Rand der Oberlippe im Zeitverlauf

hellgrüne Linie: kaum schwingender Innenrand der Oberlippe

durchgezogene blaue Linie: sichtbarer äußerer freier Rand der Unterlippe

punktierte blaue Linie: Überlagerungsbereich der Unterlippe durch die Oberlippe

schwarzer Pfeil: Schwingung Oberlippenrot; weißer Pfeil: Schwingung Unterlippenrot

***: Schwingungsamplitude (maximale Auslenkung zwischen Grundlinie und äußerem freien Rand der Oberlippe)**

Im Beispielbild Abb. 37 kann man zwischen Innenrand (hellgrün) und äußerem freien Rand der Oberlippenschwingung (rosa) unterscheiden. Die Schwingungen des Innenrandes der Oberlippenschleimhaut (hellgrün) konnten nicht ausgemessen werden, weil

sie durch die Schwingungen des äußeren freien Oberlippenrandes (rosa) subtotal überlagert wurden. Zur Ausmessung der Oberlippenamplituden wurde die Grundlinie (rot) durch die Maxima der Schwingungen am äußeren freien Rand der Oberlippe (rosa) gelegt. Die Schwingungen der Unterlippe (blau) wurden von den Schwingungen der Oberlippe subtotal überlagert (Downstream-Typ, vgl. Abb. 2). Daher waren die Unterlippenschwingungen (blau) nur teilweise sichtbar und nicht ausmessbar.

Durch Lichtreflexe auf Ober- und Unterlippe entstanden schlierenförmige Linien (vgl. schwarzer bzw. weißer Pfeil in Abb. 37 b), welche den Schwingungsamplituden des Lippenrotes (oberhalb des freien Schwingungsrandes der Oberlippe bzw. unterhalb des freien Schwingungsrandes der Unterlippe) entsprachen.

Um die Amplitudengröße zu bestimmen, wurde von der Grundlinie (rot) im 90°-Winkel die Strecke bis zum Wellenberg gemessen. Da die Kalibrierung anhand des Mundstückinnendurchmessers zuvor bereits erfolgt war (vgl. Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Kalibrierung“), konnte diese Strecke mit Hilfe der Software rpSzene® (Version 8.0 [2006-2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg) in mm ausgemessen werden. Es wurden fünf Amplituden pro gespielten Ton ausgemessen, um Messfehler zu vermeiden. Dabei wurde jede zweite Amplitude ausgewertet.

Bei niedrigen Frequenzen (< 250 Hz), wenn auf dem Kymographiebild weniger als neun vollständig sichtbare Amplituden zu sehen waren, wurden drei aufeinander folgende Kymographiebilder berücksichtigt. Ausgehend von der mittleren Amplitude des mittleren Bildes wurden dann fünf Amplituden ausgemessen (vgl. Abb. 38).

Abb. 38: 43-jähriger Posaunist (Laie, P.-Nr. 25); niedrige Frequenz (176 Hz, F3, *ff*) der Oberlippenschwingungen, die fünf Messungen sind auf drei Bilder verteilt (jede zweite Amplitude wurde ausgewertet)

Bei höheren Frequenzen (≥ neun vollständige Amplituden pro Kymographiebild) wurden die fünf Messpunkte äquidistant verteilt, so dass die mittlere Amplitude in der Mitte des Bildes lag (vgl. Abb. 39).

Abb. 39: 62-jähriger Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 7) mit Lippenschwingungen bei minimal überlagernder Oberlippe; hohe Frequenz (350 Hz, F4, *ff*), alle fünf Messungen sind auf einem Bild möglich (jede zweite Amplitude wurde ausgewertet)

Da sich Ober- und Unterlippe in unterschiedlichem Maße (minimal bis vollständig) überlagerten (vgl. Abb. 39 und Abb. 40), wurden nur die Schwingungen der überlagernden vorderen Lippe (entweder Ober- oder Unterlippe) ausgemessen. So wurden beispielsweise in Abb. 39 die Oberlippenamplituden gemessen (minimal überlagernde Oberlippe, Downstream-Typ, vgl. Abb. 2), während in Abb. 40 die Unterlippenamplituden gemessen wurden (partiell überlagernde Unterlippe, Upstream-Typ, vgl. Abb. 3).

Abb. 40: 17-jähriger Posaunist (Laie, P.-Nr. 20), (264 Hz, C4, *mf*); Lippenschwingungen bei partiell überlagernder Unterlippe

Aus den fünf gemessenen Amplituden wurde jeweils der Mittelwert gebildet und für die statistische Auswertung verwendet.

3.5.2. Stroboskopie

Die stroboskopischen Auswertungen erfolgten grundsätzlich beim Standardton C4 im *mf* (vgl. Kapitel 3.4). Für die Messungen wurde eine Passage mit vielen aufeinanderfolgenden, gleichartigen (d.h. ohne wesentliche Frequenz- oder Amplitudenvariation) Schwingungszyklen ausgewählt, von denen einer ausgewertet wurde. In den nativen Bildern verlief die Mundspalte immer vertikal (vgl. Abb. 41 a); aus dieser Position heraus konnte der Mundstückrand oberhalb der Oberlippe und unterhalb der Unterlippe am besten dargestellt werden. Um vergleichbare Bedingungen zu schaffen, waren im Nativbild stets die Oberlippe rechts und die Unterlippe links zu sehen.

Abb. 41: 48-jähriger Posaunist (Berufsmusiker, P.-Nr. 31), (261 Hz, C4, *mf*)

a) Nativbild

b) um ca. 90° nach links rotiertes Bild

Für eine möglichst naturgetreue Abbildung wurden alle stroboskopischen Bilder im Nachhinein zur Auswertung so nach links gedreht, dass die Oberlippe stets oben und die Unterlippe stets unten lag und somit die Mundspalte horizontal verlief (vgl. Abb. 41 b). Der Drehungswinkel betrug etwa 90°. Wieweit genau nach links rotiert werden musste, war abhängig davon, ob die Mundspalte im Nativbild exakt vertikal (vgl. Abb. 41 a) oder um einige Grad gekippt (vgl. Abb. 42 a) aufgenommen wurde.

Abb. 42: 37-jährige Trompeterin (Berufsmusikerin, P.-Nr. 45), (259 Hz, C4, *mf*)

a) Nativbild mit leicht schräg verlaufender Mundspalte

b) um gut 90° nach links rotiertes Bild mit seitlichen Artefakten (*)

Softwarebedingt entstanden beim Rotieren von Bildern, welche mit leicht schräg verlaufender Mundspalte aufgenommen worden waren (vgl. Abb. 42 a), an den seitlichen Rändern schwarze Artefakte (vgl. Abb. 42 b). Diese behinderten die Auswertung jedoch nicht, weshalb sie vernachlässigt werden konnten.

Phaseneinteilung

Analog zur kymographischen Phaseneinteilung konnte auch stroboskopisch in Öffnungs-, Schließungs-, Offen- und Verschlussphase differenziert werden (vgl. Kapitel 2.2.2 und 2.2.3). Während der Öffnungsphase (vgl. Abb. 43; 45°-180°) vergrößerte sich der Abstand zwischen den Mundlippen. In der Schließungsphase (vgl. Abb. 43; 180°-315°) näherten sich Ober- und Unterlippe einander an. Als Offenphase (vgl. Abb. 43; 45°-315°) wurde die komplette Zeit, während der die Mundlippen geöffnet sind, bezeichnet. Die Offenphase war somit die Summe aus Öffnungs- und Schließungsphase. In der Verschlussphase (vgl. Abb. 43; 0° bzw. 360°) war der Mundspalt komplett geschlossen.

Abb. 43: stroboskopischer Schwingungszyklus der Mundlippen bei einem 32-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 24), (266 Hz, C4, *mf*)

Im Unterschied zur Kymographie wurde hierbei jedoch nicht ein einzelner Schwingungszyklus in Phasen (Öffnungs-, Schließungs-, Offen- und Verschlussphase) unterteilt, vielmehr setzten sich diese Phasen aus Einzelbildern verschiedener Schwingungszyklen zusammen.

Ansatztypen

Um die Blechbläser den verschiedenen Ansatztypen (vgl. Kapitel 1.3) zuzuordnen, wurde die Relation von Ober- zu Unterlippenhöhe im Mundstück gemessen, während die Blechbläser den Standardton C4 spielten. Die Lippen mussten dafür komplett geschlossen sein (d.h. sich in der Verschlussphase befinden). Dann wurde der Mundstückinnendurchmesser mittels einer senkrechten Geraden auf 100% kalibriert (vgl. Abb. 44 a). Diese Gerade sollte möglichst exakt durch die Lippenmitte verlaufen.

In einer zweiten Messung wurde die Relation von Ober- zu Unterlippenhöhe entlang des vertikalen Innendurchmessers im Mundstückkessel bzw. -trichter bestimmt. Die Messpunkte wurden jeweils am Mundstückinnenrand (bei 12 Uhr und 6 Uhr), sowie in der Mitte der Mundspalte gesetzt (vgl. Abb. 44 b).

Abb. 44: Relation von Ober- zu Unterlippenhöhe im vertikalen Innendurchmesser des Mundstückkessels bei einem 49-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 12), (259 Hz, C4, *mf*)

Waren Anteile des Mundlippenrandes nicht im Bild erfasst, wurden die Messpunkte mit dem im Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Kalibrierung“ beschriebenen Extrapolationsverfahren definiert.

Stroboskopische Analysen der Mundspalte

Für die stroboskopischen Untersuchungen wurde zwischen realer Fläche der Mundspalte und endoskopischer Aufsichtsfläche der Mundspalte (vgl. Abb. 45) unterschieden. Der Auftreffwinkel des Endoskop-Lichts auf die Ebene der Mundspalte (blauer Strich in Abb. 45) wird im Folgenden als Aufnahmewinkel bezeichnet (vgl. Abb. 45). War der Aufnahmewinkel kleiner als 90°, dann wurde die durch das Endoskop mit starrer Winkeloptik sichtbare Mundspalte in der Ebene verzerrt (zu klein) dargestellt; diese verzerrt (verkleinert) dargestellte Mundspaltenebene wurde als endoskopische Aufsichtsfläche der Mundspalte[4] bezeichnet (vgl. Abb. 45).

Abb. 45: Unterschied zwischen endoskopischer Aufsichtsfläche der Mundspalte und realer Fläche der Mundspalte; blauer Strich: Ebene der Mundspalte

Um die reale Fläche der Mundspalte aufzunehmen, müsste der Winkel, mit welchem das Licht des Endoskops auf die Ebene der Mundspalte trifft, ziemlich genau 90° betragen (vgl. Abb. 46 a). Während des Blechblasinstrumentenspiels kommt es jedoch ständig zu Veränderungen der Mundlippenposition (meist unterschiedlich starke Überlagerung der Unterlippe durch die Oberlippe), so dass der Aufnahmewinkel (bei einer fixierten Verbindung von Endoskop und Mundstück/Mundlippen) nicht an die variierende Ebene der Mundspalte angepasst werden kann und meist kleiner ist als 90° (vgl. Abb. 46 b). In der vorliegenden Studie konnte deshalb die reale Fläche der Mundspalte nicht

---

4 Der besseren Lesbarkeit wegen wird im Folgenden der Terminus „endoskopische Aufsichtsfläche der Mundspalte“ weitgehend durch den Begriff „Fläche der Mundspalte“ ersetzt. Wenn ausnahmsweise die „reale Fläche der Mundspalte“ gemeint ist, ist wird dies ausdrücklich erwähnt.

sicher bestimmt werden und lediglich die endoskopische Aufsichtsfläche der Mundspalte ausgemessen werden.

Nur eine flexible Endoskop-Führung (ohne fixe Verbindung zwischen Endoskop und Mundstück/Mundlippen, z.B. mit transparenten Mundstücken, vgl. Kapitel 5.2.2, Unterkapitel „Durchsichtige Mundstücke vs. angebohrte Metallmundstücke“) würde erlauben, den Aufnahmewinkel konstant bei 90° zu halten, so dass die Ausmessung der realen Fläche der Mundspalte möglich wäre.

Abb. 46: Veränderung der endoskopischen Aufsichtsfläche der Mundspalte bei unterschiedlicher Mundlippenposition; blauer Strich: variierende Ebene der Mundspalte, gelber Strich: Lichtstrahl bei fixiertem Endoskop

a) keine Überlagerung der Mundlippen, Aufnahmewinkel 90° mit optimaler Sicht auf die Ebene der Mundspalte

b) partielle Überlagerung der Unter- durch die Oberlippe, spitzer Aufnahmewinkel < 90° mit suboptimaler Sicht auf die Ebene der Mundspalte

Die Fläche der Mundspalte variierte je nach Tonhöhe und Lautstärke, da die Oberlippe die Unterlippe abhängig von Frequenz und Lautstärke des gespielten Tones mal mehr und mal weniger stark überlagerte.

Abb. 47: 25-jähriger Trompeter (Musikstudent, P.-Nr. 19)
a: beim Spielen des Tones C4 (258 Hz, *mf*), Mundspalte gut einsehbar
b: beim Spielen des Tones F5 (678 Hz, *mf*), Oberlippe überlagert deutlich die Unterlippe

Wenn sich Ober- und Unterlippe stark überlagerten und gleichzeitig der Winkel zwischen Ebene der Mundspalte und auftreffendem Lichtstrahl des Endoskops (sog. Aufnahmewinkel) sehr spitz (erheblich < 90°) war, dann war die Fläche der Mundspalte nicht sichtbar, und die Bilder konnten mit den folgenden Methoden nicht ausgewertet werden (vgl. Abb. 47 b).

Aus diesem Grund konnten die folgenden Auswertungsmethoden (Fläche, Höhe und Länge der Mundspalte, sowie Kubische Interpolationen) nur bei Probanden durchgeführt werden, bei denen sich Ober- und Unterlippe nicht zu stark überlagerten und bei denen die Mundspalte etwa im 90°-Winkel eingesehen werden konnte (vgl. Abb. 47 a).

Fläche der Mundspalte

In einer stroboskopischen Videosequenz mit vielen aufeinanderfolgenden, gleichartigen Schwingungszyklen wurde anhand eines Schwingungszyklus zunächst das Bild mit der maximalen Fläche der Mundspalte identifiziert (vgl. z.B. Abb. 48).

Abb. 48: Messung der Fläche der Mundspalte bei einem 32-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 24), (266 Hz, C4, *mf*); Länge der Kalibrierungsgerade: 16 mm

In dieses Bild wurde eine Kalibrierungsgerade vom linken zum rechten Mundstückrand gezogen, wie in Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Kalibrierung“ beschrieben. Die Bestimmung der Fläche der Mundspalte erfolgte mittels einzelner Messpunkte entlang des freien Lippenrandes (vgl. Abb. 48). Dabei wurden die Messpunkte manuell so platziert, dass die Kontur des freien Lippenrandes möglichst exakt erfasst wurde. Die Kalibrierungsgerade ermöglichte mittels der Software rpSzene® (Version 8.0 [2006-2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg) dann die Berechnung von absoluten Messwerten in mm².

Höhe und Länge der Mundspalte

Es wurde ein stroboskopischer Schwingungszyklus ohne wesentliche Frequenz- oder Amplitudenvariation ausgewählt, welcher in neun statischen Einzelbildern (0°,45°,90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° und 360°, somit jeweils 45°-Schritte) phasenabhängig ausgewertet wurde: In jedes dieser neun Einzelbilder wurde eine Kalibrierungsgerade, wie in Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Kalibrierung“ beschrieben, vom linken zum rechten Mundstückrand gezogen. Sie ermöglichte mittels der Software rpSzene® (Version 8.0

[2006-2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg) die Berechnung von absoluten Messwerten in mm.

Die maximale Höhe bzw. Länge der Mundspalte wurde dann in jedem dieser neun Bilder einzeln ausgemessen.

Abb. 49: Messung von Höhe und Länge der Mundspalte bei einem 32-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 24), (266 Hz, C4, *mf*); Länge der Kalibrierungsgerade: 16 mm

Zur grafischen Darstellung und Auswertung dieser Messergebnisse wurden Diagramme angefertigt. In diesen Schaubildern wurde die Länge bzw. Höhe der Mundspalte (in mm) über der Phase in Grad (45°-Abstände, somit neun einzelne Messpunkte entsprechend den o.g. statischen Einzelbildern) aufgetragen (vgl. Abb. 68 - Abb. 70).

Kubische Interpolationen

Um den zeitlichen Verlauf der Mundlippenschwingungen abbilden zu können, wurde eine grafische Darstellung der Mundspalte in verschiedenen Phasen des Schwingungszyklus gewählt. Mittels kubischer Interpolation durch das Softwareprogramm Excel (Microsoft Excel 2010/Microsoft/Redmond, Washington/USA) war es möglich, aus den Messwerten Kurvenverläufe zu generieren (vgl. Abb. 71 - Abb. 77).

Hierzu wurden Schwingungszyklen ausgewählt, welche in neun Bildern (vgl. Abb. 50; 0°-360°, jeweils 45°-Schritte) analysiert wurden.

Abb. 50: stroboskopischer Schwingungsablauf der Mundlippen in neun Einzelbildern bei einem 49-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 12), (259 Hz, C4, *mf*)

Jedes Bild wurde wie folgt ausgewertet: Eine Kalibrierungsgerade wurde, wie in Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Kalibrierung“ beschrieben, vom linken zum rechten Mundstückrand gezogen. Sie ermöglichte mittels der Software rpSzene® (Version 8.0 [2006-

2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg) die Berechnung von absoluten Messwerten in mm (vgl. Abb. 51).

Abb. 51: Kalibrierungsgerade bei einem 49-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 12), (259 Hz, C4, *mf*)

Sieben Messpunkte auf dem horizontalen Mundstückdurchmesser wurden so gewählt, dass der äußerste laterale Punkt des Lippenspaltes auf beiden Seiten je einen Messpunkt darstellt. Die restlichen fünf Messpunkte wurden äquidistant verteilt, so dass ein Messpunkt mittig, einer rechts paramedian, einer links paramedian, einer rechts lateral und einer links lateral definiert wurden (vgl. Abb. 52).

Abb. 52: Kalibrierungsgerade mit sieben Messpunkten bei einem 49-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 12), (259 Hz, C4, *mf*)

Dann wurde an jedem der sieben Messpunkte ein Lot auf die horizontale Kalibrierungsgerade gefällt (vgl. Abb. 53).

Abb. 53: Kalibrierungsgerade, sieben Messpunkte mit Lot bei einem 49-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 12), (259 Hz, C4, *mf*)

Entlang der Lote (mittig, rechts und links paramedian, rechts und links lateral) wurde mittels der Software rpSzene® (Version 8.0 [2006-2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg) die Höhe der Mundspalte bestimmt (vgl. Abb. 54).

Abb. 54: Messung der Höhe der Mundspalte an fünf äquidistanten Messpunkten bei einem 49-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 12), (259 Hz, C4, *mf*)

Diese Auswertung wurde für jedes Bild eines Schwingungszyklus einzeln durchgeführt. Die Messwerte wurden in eine Excel-Tabelle (Microsoft Excel 2010/Microsoft/Redmond, Washington/USA) übertragen. Das Programm berechnete aus den Messwerten kubische Interpolationen, mit denen grafische Kurvenverläufe generiert wurden (vgl. Abb. 71 - Abb. 77).

Aus neun Bildern ergaben sich somit neun grafische Kurvenverläufe pro Proband. Die Kurven von 0° und 360° stimmten dabei mit der x-Achse überein, da die Mundlippen zu diesem Zeitpunkt geschlossen waren (Verschlussphase).

Ausmessung von funktionellen Schleimhautausziehungen

Eine Kalibrierungsgerade wurde, wie in Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Kalibrierung“ beschrieben, vom linken zum rechten Mundstückrand gezogen. Sie ermöglichte mittels der Software rpSzene® (Version 8.0 [2006-2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg) die Berechnung von absoluten Messwerten in mm (vgl. Abb. 55: 16 mm).

Abb. 55: Schleimhautausziehung bei einem 54-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 15); 1.: Kalibrierungsgerade (16 mm); 2. : Ausmessung der Schleimhautausziehung (an der Basis 3,1 mm breit)

An Beginn und Ende der Basis der Schleimhautausziehungen wurde jeweils ein Messpunkt gelegt, so konnte die maximale Breite der Schleimhautausziehungen (vgl. Abb. 55: 3,1 mm) gemessen werden.

3.6. Untersuchungsverfahren für Stimme und Larynx

Die Stimmen der 50 Blechbläser wurden mittels semiquantitativer Rating-Scores sowohl von den Probanden selbst als auch von Stimmexperten auditiv beurteilt.

3.6.1. Selbsteinschätzung der Stimme mittels Stimmstörungsindex (SSI)

Die Einteilung der Schweregrade des SSI (vgl. Tabelle 3) erfolgte nach den Vorgaben von Gugatschka et al. [48].

0-7 Punkte	kein stimmliches Handicap
8-14 Punkte	geringgradiges stimmliches Handicap
15-22 Punkte	mittelgradiges stimmliches Handicap
23-48 Punkte	hochgradiges stimmliches Handicap

Tabelle 3: Einteilung des SSI in Schweregrade nach Gugatschka et al. 2007

3.6.2. Fremdeinschätzung der Stimme mittels RBH-Index

Der phonetisch ausgewogene Text „Der Nordwind und die Sonne“ (vgl. Anhang) wurde von sechs unabhängigen Stimmexperten (fünf Phoniater und eine Logopädin) unabhängig voneinander beurteilt. Die Rater kamen aus verschiedenen Krankenhäusern und konnten sich daher gegenseitig nicht in ihren Bewertungen beeinflussen. Für jedes Stimmqualitätsmerkmal (Rauigkeit (R), Behauchtheit (B) und Heiserkeit (H)) wurden null bis drei Punkte vergeben, so dass jeder Proband maximal neun Punkte erreichen konnte [50],[51]. Dabei wurden null Punkte für eine normale Stimme, ein Punkt bei geringgradigen Stimmauffälligkeiten, zwei Punkte für mittelgradige Stimmauffälligkeiten und drei Punkte für hochgradige Stimmauffälligkeiten vergeben. Nach der ersten Beurteilung der 50 Stimmen wurden die 50 Stimmen ein zweites Mal in veränderter Reihenfolge vom gleichen Rater beurteilt. Aus den so gewonnenen zwölf RBH-Werten (sechs Rater mit je zwei Wertungen) wurde ein RBH-Mittelwert gebildet, welcher zur statistischen Analyse verwendet wurde.

3.6.3. Larynx-Score

Aus den in der Literatur beschriebenen Rating-Scores [53]-[57] zur Larynxbeurteilung wurde folgendes Messprotokoll (vgl. Anhang) zusammengefasst (Zahlenwerte geben jeweils vergebene Punktwerte an):

- Schwingungsamplitude (jeweils rechts und links getrennt): durchschlagend (3 P.), stark erweitert (2 P.), gering erweitert (1 P.), normal (0 P.), gering verkürzt (1 P.), stark verkürzt (2 P.), stroboskopischer Stillstand (3 P.)
- Randkantenverschiebung (jeweils rechts und links getrennt): durchschlagend (2 P.), erweitert (1 P.), normal (0 P.), vermindert (1 P.), aufgehoben (2 P.)
- Symmetrie: exakt gleichseitig (0 P.), gering phasendifferent (1 P.), deutlich phasendifferent (2 P.), alternierend (3 P.)
- Glottisschluss: komplett (0 P.), vorn/hinten inkomplett (1 P.), durchgehend inkomplett (2 P.)
- Glottisschlussphase: normal (0 P.), verkürzt (1 P.), eben berührt (2 P.), keine (3 P.)

Des Weiteren wurden Punkte vergeben für die folgenden morphologischen und funktionellen Veränderungen (geringgradig vorhanden = 1 Punkt; hochgradig vorhanden = 2 Punkte):

- Taschenfaltenpressen (jeweils rechts/links getrennt) *
- Posterior-Anterior-Phonation*
- Aryasymmetrie*
- Petioluswulst*
- Sulcus glottidis (jeweils rechts/links getrennt)
- Kontaktveränderungen (jeweils rechts/links getrennt)
- Phonationsverdickungen (jeweils rechts/links getrennt)
- Teleangiektasien der Stimmlippen (jeweils rechts/links getrennt)
- Verschleimung der Glottis

Die mit * gekennzeichneten Veränderungen wurden unter dem Oberbegriff „supraglottische Pressmechanismen“ zusammengefasst.

Alle Punkte des Messprotokolls addiert ergaben den sogenannten „Larynx-Score“. Dieser beschrieb semiquantitativ den Larynxbefund der Blechbläser.

3.7. Statistische Datenanalysen

Die statistische Auswertung der originären Messdaten erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS für Windows (SPSS Statistics Version 22/IBM/Chicago, Illinois/USA).

Zur deskriptiven Datenauswertung kamen dabei folgende Parameter zur Anwendung: Mittelwert, Median, Standardabweichung und Range [98]-[100]. Da nur zwei Tubisten an den Untersuchungen teilnahmen, wurden diese zwar bei der deskriptiven Statistik miterfasst, aber bei der analytischen Statistik nicht berücksichtigt.

Diagramme wurden mit den Softwareprogrammen Excel (Microsoft Excel 2010/Microsoft/Redmond, Washington/USA) und SPSS für Windows (SPSS Statistics Version 22/IBM/Chicago, Illinois/USA) erstellt.

Bei allen verwendeten parametrischen Tests wurden die statistischen Voraussetzungen für die Anwendung der betreffenden Tests jeweils zuvor geprüft (z.B. Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test, Varianzhomogenität mit dem Levene-Test). Mittelwertsunterschiede von zwei Gruppen wurden mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben, bzw. bei non-parametrischen Daten mit dem Mann-Whitney U-Test, interferenzstatistisch abgesichert. Bei mehr als zwei Gruppen wurden zum Vergleich von Mittelwerten univariate Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt. Um im Falle einer signifikanten Varianzanalyse zu ermitteln, welche Gruppen sich voneinander unterscheiden, wurde der Tukey HSD-Test als posthoc-Signifikanztest eingesetzt. Häufigkeitsverteilungen wurden mit dem χ^2-Test analysiert. Als signifikant wurden jeweils Ergebnisse mit $p < 0{,}05$ erachtet. Die Signifikanztests wurden bei gerichteten Hypothesen einseitig, bei ungerichteten Hypothesen zweiseitig durchgeführt. Berechnungen von Korrelationen erfolgten bei parametrischen Daten mit dem Pearson-Korrelationskoeffizient und bei non-parametrischen Daten mit dem Spearman-Korrelationskoeffizient. Diese statistischen Auswertverfahren sind detailiert in den Standardwerken von Bortz et al. [101] bzw. Bortz & Schuster [102] beschrieben.

4. Ergebnisse

4.1. Probanden

4.1.1. Alters- und Geschlechtsverteilung

Die Untersuchungen wurden an 50 Probanden (43 männlich, 7 weiblich) im Alter zwischen 17 Jahren und 71 Jahren durchgeführt. Die Instrument-bezogene Alters- und Geschlechtsverteilung wird in Tabelle 4 aufgelistet.

Instrument	Geschlecht	MW	MED	Min	Max	SD	N
Trompete	männlich	45,0	49,5	17,4	62,7	12,4	19
	weiblich	29,4	29,4	21,1	37,6	11,7	2
	insgesamt	43,5	48,2	17,4	62,7	12,9	21
Posaune	ausschließlich männlich	40,5	44,1	17,1	53,7	11,8	16
Waldhorn	männlich	34,6	28,6	17,4	71,7	19,8	6
	weiblich	48,5	57,6	25,7	61,2	16,1	5
	insgesamt	40,9	37,2	17,4	71,7	18,8	11
Tuba	ausschließlich männlich	52,6	52,6	52,2	53,0	0,6	2
insgesamt	männlich	42,2	47,3	17,1	71,7	13,4	43
	weiblich	43,0	37,6	21,1	61,2	16,8	7
	insgesamt	42,3	45,9	17,1	71,7	13,7	50

Tabelle 4: Alter (in Jahren) und Geschlecht der Blechbläser getrennt nach Instrument

4.1.2. Ausbildungsgrad

An der Studie nahmen Probanden mit drei unterschiedlichen Ausbildungsgraden teil:

23 Probanden waren als Berufsmusiker in umliegenden Orchestern (u.a. Düsseldorfer Symphoniker, Bergische Symphoniker, Essener Philharmoniker, Bochumer Symphoniker und Beethovenorchester Bonn) oder als Musikschullehrer tätig.

Neun Musikstudenten der Musikhochschulen Köln, Düsseldorf, Essen und Hamburg nahmen an der Studie teil.

Einige Laienmusiker (n = 18), welche dem Blechblasinstrumentenspiel ausschließlich als Hobby nachgingen (z.B. hauptberuflich Ärzte), stammten aus dem Bekanntenkreis der Untersucher.

Die Verteilung der Ausbildungsgrade auf die Instrumente wird in Abb. 56 dargestellt.

Abb. 56: Verteilung der Ausbildungsgrade auf die einzelnen Instrumente bei n = 50 Blechbläsern

Die Verteilung der Ausbildungsgrade auf die Instrumente ergab keine signifikanten Unterschiede (χ^2-Test).

4.1.3. Spielzeit pro Woche

Die durchschnittliche Spielzeit eines Blechblasinstrumentes pro Woche[5] wurde anamnestisch ermittelt.

Instrument	MW	MED	Min	Max	SD	N
Trompete	14,786	14,000	1,5	30,0	8,665	21
Posaune	11,469	9,500	0,0	32,5	9,470	16
Waldhorn	13,091	12,000	5,0	24,0	5,987	11
Tuba	14,500	14,500	7,0	22,0	10,607	2
insgesamt	13,340	12,750	0,0	32,5	8,356	50

Tabelle 5: Spielzeit (pro Woche, in h) getrennt nach Instrument

Zwischen den einzelnen Instrumenten bestanden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Spielzeit pro Woche (einfaktorielle ANOVA (between subjects)).

	MW	MED	Min	Max	SD	N
Laien	5,944	5,250	1,5	14,0	3,658	18
Musikstudenten	16,000	16,500	5,0	25,0	5,651	9
Berufsmusiker	18,087	20,000	0,0	32,5	7,897	23
insgesamt	13,340	12,750	0,0	32,5	8,356	50

Tabelle 6: Spielzeit (pro Woche, in h) getrennt nach Ausbildungsgrad

Signifikante Unterschiede in der Spielzeit fanden sich zwischen Laien einerseits und Musikstudenten ($p < 0{,}001$) bzw. Berufsmusikern ($p < 0{,}001$) andererseits. Musikstudenten und Berufsmusiker zeigten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihrer Spielzeiten pro Woche (einfaktorielle ANOVA (between subjects), Post-hoc-Test: Tukey HSD). Dabei fällt auf, dass bei den Berufsmusikern ein Posaunist gar nicht mehr üben konnte: Hierbei handelt es sich um einen Proband mit Ansatzdystonie und daraus resultierender Berufsunfähigkeit.

---

[5] Der besseren Lesbarkeit wegen wird die „durchschnittliche Spielzeit eines Blechblasinstrumentes pro Woche“ im Folgenden als „Spielzeit pro Woche“ oder „Spielzeit“ bezeichnet.

Abb. 57 illustriert die Unterschiede der Spielzeit pro Woche in Abhängigkeit vom Ausbildungsgrad der 50 Blechbläser.

Abb. 57: Spielzeit (pro Woche, in h) bei n = 50 Blechbläsern; * = Ausreißer bei den Laien-Posaunisten; die Tubisten sind als „Einzelbalken“ in den Kategorien „Laien“ und „Berufsmusiker“ dargestellt.

Dabei fällt auf, dass bei den Berufsposaunisten einige besonders wenig (bis gar nicht) üben: Hierbei handelt es sich um Probanden mit Ansatzdystonie, die nicht lange spielen können.

In Abb. 58 sind nur die 46 Musiker ohne aktuelle Ansatzdystonie berücksichtigt. Die Gruppe der Berufsmusiker weist eine homogene Spielzeit pro Woche auf. In der Laienmusikergruppe gibt es jeweils (vgl. Abb. 57 und Abb. 58) einen Posaunisten, der 10 Stunden pro Woche spielt und somit als Ausreißer mit einem Sternchen gekennzeichnet ist.

Abb. 58: Spielzeit der Musiker ohne Ansatzdystonie (pro Woche, in h) bei n = 46 Blechbläsern;* = Ausreißer bei den Laien-Posaunisten; die Tubisten sind jeweils als „Einzelbalken“ in den Kategorien „Laien“ und „Berufsmusiker“ dargestellt.

Abb. 59 zeigt die Spielzeiten pro Woche bei Probanden mit und ohne morphologische Auffälligkeiten der Mundlippen (diese sind in Kapitel 4.2.4 beschrieben). Die Spielzeiten von Blechbläsern mit und ohne morphologische Auffälligkeiten der Mundlippen unterscheiden sich nicht signifikant (t-Test für unabhängige Stichproben, zweiseitig getestet).

Abb. 59: Spielzeit (pro Woche, in h) bei n = 50 Blechbläsern; die Tubisten sind jeweils als „Einzelbalken“ dargestellt.

Abb. 60 vergleicht die durchschnittliche Spielzeit pro Woche (in Stunden) von Probanden mit und ohne hyperfunktionelle Stimmstörungen (supraglottische Pressmechanismen).

Abb. 60: Vergleich der Spielzeit (pro Woche, in h) bei n = 49 Blechbläsern mit und ohne supraglottische hyperfunktionelle Pressmechanismen

Die durchschnittliche Spielzeit bei Probanden mit hyperfunktioneller Stimmstörung (16,4 h pro Woche) war signifikant höher, als die durchschnittliche Spielzeit bei Blechbläsern ohne hyperfunktionelle Stimmstörung (10,4 h pro Woche) (t-Test für unabhängige Stichproben, zweiseitig getestet; p = 0,011).

4.1.4. Ansatzprobleme

13 von 50 Blechbläsern (26%) gaben an, noch nie unter Ansatzproblemen gelitten zu haben. 27 von 50 Blechbläsern (54%) berichteten, Ansatzprobleme gehabt zu haben, welche sich aber durch Ansatzumstellung beheben ließen und zum Studienzeitpunkt nicht akut waren. 10 von 50 Blechbläsern (20%) gaben schwerwiegende Ansatzprobleme an, welche medizinisch behandelt werden mussten und/oder sich nicht durch Ansatzumstellung beheben ließen. Diese ausgeprägten Beschwerden waren während der Studie bei 7 Blechbläsern (14%) akut vorhanden. Tabelle 7 gibt einen Überblick über Ansatzprobleme der untersuchten Blechbläser getrennt nach Instrument, Ausbildungs-

grad und Geschlecht. Die hohe Anzahl an männlichen Probanden mit Ansatzproblemen erklärt sich durch die ungleiche Geschlechterverteilung im Probandenkollektiv (vgl. Kapitel 4.1.1).

		Waldhorn m/w	Posaune m/w	Trompete m/w	Tuba m/w	insgesamt m/w
keine Ansatzprobleme	Laien	0/0	3/0	3/0	0/0	6/0
	Musikstudenten	0/0	0/0	2/0	0/0	2/0
	Berufsmusiker	1/0	2/0	1/0	1/0	5/0
geringe Ansatzprobleme	Laien	2/3	2/0	3/0	1/0	8/3
	Musikstudenten	3/1	1/0	0/1	0/0	4/2
	Berufsmusiker	0/0	3/0	6/1	0/0	9/1
schwerwiegende Ansatzprobleme	Laien	0/0	1/0	0/0	0/0	1/0
	Musikstudenten	0/0	1/0	0/0	0/0	1/0
	Berufsmusiker	0/1	3/0	4/0	0/0	7/1

Tabelle 7: Ansatzprobleme bei 50 Blechbläsern getrennt nach Instrument, Ausbildungsgrad und Geschlecht

Ansatzdystonie

Fünf von diesen zehn Blechbläsern mit höhergradigen Ansatzproblemen berichteten, unter Symptomen einer Ansatzdystonie (unwillkürliche, schmerzlose Verkrampfungen und Verlust der feinmotorischen Kontrolle der Ansatzmuskulatur) zu leiden/gelitten zu haben. Diese führte in allen Fällen zu längeren Unterbrechungen der Berufsausübung.

Die anderen fünf dieser zehn Blechbläsern mit höhergradigen Ansatzproblemen werden im Folgenden vorgestellt:

Ein 47-jähriger Trompeter wurde bereits mit Trihexyphenidyl behandelt. Aufgrund ausgeprägter extrapyramidal-motorischer Nebenwirkungen (Zuckungen und Dyskinesien) verbesserte sich die Ansatzsituation nicht, und infolge der Studie resultierte eine anerkannte Berufsunfähigkeit.

Aufgrund der Studie musste auch einem 48-jährigen Posaunisten, welcher bisher noch nicht medizinisch therapiert worden war, Berufsunfähigkeit attestiert werden.

Ein 44-jähriger Trompeter ließ sich zum Lehrer der Alexander-Technik ausbilden. Durch intensive Schulung der Körperwahrnehmung konnte er wieder normale Bewegungsmuster der Ansatzmuskulatur erlernen, und die unwillkürlichen muskulären Bewegungen verschwanden (die Ansatzdystonie war zum Studienzeitpunkt nicht mehr akut).

Ein 53-jähriger Posaunist wurde mit Trihexyphenidyl und Injektionen von Botulinumtoxin (beidseitig in M. masseter, M. temporalis und M. pterygoideus lateralis) behandelt. Da sich seine Beschwerden nicht ausreichend besserten, wurde auch ihm Berufsunfähigkeit zuerkannt. Der Musiker nahm an einer Umschulung teil und arbeitet heute als Ticketverkäufer.

Ein 32-jähriger Posaunist wurde mit Trihexyphenidyl und zusätzlich Alexander-Technik behandelt. Er gab an, mehr von der Alexander-Technik als vom Medikament profitiert zu haben. Er musste seinen Beruf als Orchestermusiker aufgeben und arbeitet nun als Posaunenlehrer.

Morphologische Korrelate im Mund-/Kieferbereich

Bei vier von diesen zehn Blechbläsern mit höhergradigen Ansatzproblemen konnte ein morphologisches Korrelat im Mund-/Kieferbereich gefunden werden:

Eine 37-jährige Waldhornistin litt unter einem störenden Gefühl linksseitig in der Unterlippe, welches durch einen vernarbten und vergrößerten Lymphknoten an der Innenseite der Unterlippe links mit resultierendem Lymphstau verursacht wurde (vgl. Abb. 97 und Abb. 98). Durch Lymphdrainage ließen sich die Symptome mildern, so dass sie ihrem Beruf im Orchester weiterhin nachgehen konnte.

Bei einem 43-jährigen Laienposaunisten verschlechterte sich der Ansatz von 2005 bis zum Studienzeitpunkt (2010). Eine zweijährige Behandlung mittels Zahnspange verbesserte zwar die „Zahnfehlstellungen“, jedoch nicht den Ansatz.

Ein 62-jähriger Berufstrompeter berichtete von Parästhesien der Mundlippen durch drückende Zahnkronen. Nach Korrektur seiner Dysgnathie verbesserten sich die Beschwerden deutlich, so dass er wieder wie gewohnt spielen konnte.

Bei einem 32-jährigen Posaunisten lag eine deutliche Gesichtsasymmetrie mit Kieferdysplasie (vgl. Abb. 93) und überzähligen Zähnen vor, so dass er sein Musikstudium abbrechen musste.

Erkrankung des Atemwegsystems

Ein 32-jähriger Berufstrompeter litt unter Asthma bronchiale und einem damit verbundenen Engegefühl im Hals. Durch Verbesserung der medikamentösen Therapie konnte er seinen Beruf wieder normal ausüben.

Berufsunfähigkeit

Acht von zehn Blechbläsern mit schwerwiegenden Ansatzproblemen sind/waren Berufsmusiker und durch die Ansatzprobleme in ihrer Karriere gefährdet. Eine anerkannte Berufsunfähigkeit (gemäß BK-Nr. 2106 der Berufskrankheitenverordnungsliste [89]) resultierte in den drei zuvor beschriebenen Fällen.

4.2. Bildgebende Untersuchungsverfahren der Mundlippen

Bei 18 Blechbläsern konnte man den Mundstückrand in seiner gesamten Zirkumferenz (d.h. oberhalb der Ober- und unterhalb der Unterlippe) als Referenz verwenden, bei 20 Blechbläsern war entweder Ober- oder Unterlippe inkl. Mundstückrand im Bild. Bei den restlichen zwölf Blechbläsern war der Mundstückrand weder oben noch unten im Bild zu sehen (vgl. Tabelle 8).

Rand sichtbar	Waldhorn	Posaune	Trompete	Tuba	insgesamt
oben & unten	0	12	6	0	18 (36%)
nur oben	3	1	7	1	12 (24%)
nur unten	4	2	2	0	8 (16%)
gar nicht	4	1	6	1	12 (24%)

Tabelle 8: Sichtbarkeit des Mundstückrandes beim Standardton C4, *mf*

Am besten sichtbar war der Mundstückrand somit bei den Posaunisten mit Kesselmundstück, am schlechtesten bei den Waldhornisten mit Trichtermundstück.

4.2.1. Ansatztypen

60% der Blechbläser (n = 30) platzierten das Mundstück so, dass die Oberlippenhöhe 70-85% des vertikalen Durchmessers im Mundstückkessel bzw. -trichter einnahm (vgl. Abb. 44). Abb. 61 illustriert die Verteilung der verschiedenen Ansatzrelationen:

Abb. 61: Oberlippenhöhe in % des vertikalen Durchmessers im Mundstückkessel bzw. -trichter beim Standardton C4, *mf*

Insgesamt 49 Blechbläser (98%) konnten dem Downstream-Typ zugeordnet werden. Bei ihnen wurde die Unterlippe von der Oberlippe in unterschiedlichem Maße (minimal bis vollständig) überlagert. Bei einem 17-jährigen Posaunisten (2%) überlagerte die Unterlippe die Oberlippe partiell; er wurde dem Upstream-Typ zugeordnet (vgl. Abb. 40).

Unterlippenschwingungen konnten bei allen Blechbläsern (100%) kymographisch nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 9).

	UL-Schwingungen sichtbar	UL-Schwingungen nicht sichtbar
Kymographie	n = 50, davon n = 6 messbar	-
Stroboskopie	n = 49	n = 1

Tabelle 9: Unterlippenschwingungen: Vergleich Kymographie/Stroboskopie

Bei zehn Blechbläsern (20%) waren die Unterlippenschwingungen jedoch nicht beim Standardton C4, sondern nur bei einzelnen tieferen Tönen kymographisch sichtbar.

Stroboskopisch konnten beim Standardton C4 bei 45 Bläsern (90%) Unterlippenschwingungen beobachtet werden. Zog man alle zur Verfügung stehenden stroboskopischen Schwingungsaufnahmen (d.h. auch solche, bei denen ein anderer Ton als C4 geblasen wurde) zur Auswertung heran, dann konnten bei 49 Blechbläsern (98%) Unterlippenschwingungen beobachtet werden. Bei einem Tubisten (P.-Nr. 30) waren die Unterlippenschwingungen infolge subtotaler Überlagerung der Unterlippe durch die Oberlippe nicht sichtbar.

Bei tieferen, von den Tubisten (P.-Nr. 23 und 30) gespielten Frequenzen (< 175 Hz; F2, B♭2, D3, F3) gelang die Triggerung des Strobokops nicht, sodass die schwingende Unterlippe nicht scharf abgebildet wurde.

4.2.2. Kymographie

Vergleich der Oberlippen- und Unterlippenamplituden

Mittels Kymographie waren Unterlippenschwingungen (nach der im Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Messung der Amplituden“ beschriebenen Methodik) nur bei sechs Blechbläsern (12%) beim Standardton C4 messbar (vgl. Tabelle 10). Bei den übrigen 44 Probanden traten Überlagerungen der Unterlippe durch die Oberlippe in unterschiedlichem Maße auf, weshalb die Unterlippenschwingungen nicht ausmessbar waren.

Bei einem 17-jährigen Posaunisten (P.-Nr. 20) überlagerte die Unterlippe die Oberlippe partiell, so dass keine Oberlippenschwingungen beim Standardton C4 gemessen werden konnten (vgl. Abb. 40 und Tabelle 10).

	OL-Amplitude	UL-Amplitude
48-jähriger Trompeter (P.-Nr. 41)	0,8 mm	0,4 mm
49-jähriger Trompeter (P.-Nr. 12)	1,0 mm	0,5 mm
17-jähriger Posaunist (P.-Nr. 20)	Nicht messbar	1,0 mm
25-jähriger Posaunist (P.-Nr. 26)	1,4 mm	0,7 mm
60-jährige Waldhornistin (P.-Nr. 49)	0,8 mm	0,4 mm
53-jähriger Tubist (P.-Nr. 23)	0,9 mm	0,9 mm

Tabelle 10: Vergleichende kymographische Messung von Oberlippen- und Unterlippenamplituden beim Standardton C4, *mf*

Die Oberlippenamplituden waren somit bei der Mehrzahl der Probanden mit ausmessbaren Ober- und Unterlippenamplituden (d.h. bei vier von fünf Probanden) doppelt so groß wie die Unterlippenamplituden (vgl. Tabelle 10).

Die Ergebnisse der Amplitudenmessungen der Oberlippe finden sich in Kapitel 4.2.2, Unterkapitel „Amplitudenmessungen“. Eine tabellarische Zusammenstellung dieser gemessenen Oberlippenamplituden findet sich im Anhang. Die vergleichende Messung von Oberlippen- und Unterlippenamplituden erfolgte nach der Messung der Oberlippenamplituden in einem zweiten, separaten Messdurchgang, weshalb die Messwerte in Tabelle 10 nicht identisch mit den Messwerten der Oberlippenamplituden im Anhang sind.

Amplitudenmessungen

Limitierungen der Methode

Die Auswertung der kymographisch gemessenen Oberlippenamplituden nach dem in Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Messung der Amplituden“ beschriebenen Messprotokoll war bei 39 Probanden vollständig möglich.

Bei zehn Probanden konnten nicht alle Töne hinsichtlich der Oberlippenamplitude ausgewertet werden (vgl. Anhang):

- Sechs Probanden wiesen bei bestimmten Tönen zu kleine Oberlippenamplituden (< 0,1 mm) auf. Die Oberlippenamplitude beim Standardton C4 konnte nach der in Kapitel 3.5 beschriebenen Methode ausgemessen werden.
- Bei einem 52-jährigen Tubisten war die Oberlippe derart prominent (> 86% Oberlippenanteil, vgl. Abb. 61), dass die Mundspalte außerhalb des mit der Kamera aufgezeichneten Bereiches lag (vgl. Abb. 62). Die Oberlippenamplitude konnte somit beim Standardton C4 nicht ausgewertet werden, eine Auswertung war aber bei anderen Tönen möglich.

Abb. 62: nicht auswertbares Kymographiebild bei einem 52-jährigen Tubisten (Berufsmusiker, P.-Nr. 30), (261 Hz, C4, *mf*)

- Ein 32-jähriger Laien-Trompeter war nicht in der Lage, den höchsten Ton (F5) zu spielen. Die Oberlippenamplitude konnte beim Standardton C4 nach der in Kapitel 3.5 beschriebenen Methode ausgemessen werden.
- Zwei Probanden konnten die höchsten Töne zwar im Mezzoforte, nicht jedoch im Pianissimo intonieren. Die Oberlippenamplitude konnte beim Standardton C4 nach der in Kapitel 3.5 beschriebenen Methode ausgemessen werden.

Bei dem 17-jährigen Posaunisten, welcher dem „Upstream-Typ“ zugeordnet wurde, konnten keine Oberlippenamplituden (auch nicht beim Standardton C4) gemessen werden (vgl. Abb. 63).

Abb. 63: Die Unterlippe überlagert deutlich die Oberlippe bei einem 17-jährigen Posaunisten (Laie, P.-Nr. 20), (264 Hz, C4, *mf*)

Um die Fehlerbreite bei Messung der Oberlippenamplituden abzuschätzen, wurden in jeder Instrumentengruppe zusätzlich zum Standardton zwei Notenbeispiele (eins in hoher Lage, eins in tiefer Lage) ausgewählt. Bei allen drei Tönen wurde jeweils zweimal nacheinander von fünf aufeinander folgenden Oberlippenamplituden die Größe gemessen und hinsichtlich der Abweichung (erst in mm und dann in %) verglichen (vgl. Anhang). Die Fehlerbreite betrug grob geschätzt knapp 13%.

Amplitudenvergleiche

Die folgenden Tabellen zeigen die Verteilung der Messwerte der Oberlippenamplituden (in mm) beim Spielen des Standardtons C4 auf die einzelnen Instrumentengruppen (vgl. Tabelle 11) bzw. Geschlechter (vgl. Tabelle 12).

Instrument	MW	Median	Min	Max	SD	N
Trompete	0,99	1,10	0,60	1,30	0,255	21
Posaune	1,05	1,10	0,50	1,50	0,264	15
Waldhorn	1,17	1,20	0,60	1,50	0,272	11
Tuba	1,10	1,10	1,10	1,10	-	1
insgesamt	1,05	1,10	0,50	1,50	0,263	48

Tabelle 11: Oberlippenamplituden (in mm) bei verschiedenen Blechblasinstrumenten

Geschlecht	MW	Median	Min	Max	SD	N
männlich	1,07	1,10	0,50	1,50	0,258	41
weiblich	0,99	1,00	0,60	1,40	0,308	7
insgesamt	1,05	1,10	0,50	1,50	0,263	48

Tabelle 12: Oberlippenamplituden (in mm) bei männlichen und weiblichen Blechbläsern

Eine einfaktorielle ANOVA-Varianzanalyse (zweiseitig getestet) ergab keinen signifikanten Einfluss des Instrumentes oder des Geschlechts auf die Oberlippenamplituden.

Tabelle 13 zeigt die Verteilung der Messwerte der Oberlippenamplituden (in mm) beim Spielen des Standardtons C4 bezogen auf die verschiedenen Ausbildungsgrade.

Ausbildungsgrad	MW	Median	Min	Max	SD	N
Laien	1,09	1,10	0,60	1,50	0,246	17
Musikstudenten	1,26	1,2	1,00	1,50	0,159	9
Berufsmusiker	0,94	0,95	0,50	1,30	0,259	22
insgesamt	1,05	1,10	0,50	1,50	0,263	48

Tabelle 13: Oberlippenamplituden (in mm) abhängig vom Ausbildungsgrad der Blechbläser

Hierbei zeigte sich in der einfaktoriellen ANOVA-Varianzanalyse (zweiseitig getestet), dass Berufsmusiker signifikant kleinere Amplituden aufwiesen als Musikstudenten ($p = 0{,}001$). Sowohl zwischen Laien und Berufsmusikern, als auch zwischen Laien und Musikstudenten fand sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Oberlippenamplituden. Zwei Probanden konnten nicht ausgewertet werden: Bei einem Tubisten (P.-Nr. 30) waren die Unterlippenschwingungen wegen subtotaler Überlagerung der Unterlippe durch die Oberlippe beim Standardton C4 nicht sichtbar (vgl. Kapitel 4.2.2, Unterkapitel „Limitierungen der Methode“; Abb. 62). Bei einem 17-jährigen Posaunisten (P.-Nr. 20) überlagerte die Unterlippe die Oberlippe deutlich, so dass keine Oberlippenamplituden beim Standardton C4 gemessen werden konnten (vgl. Kapitel 4.2.2, Unterkapitel „Limitierungen der Methode“; Abb. 63).

Tabelle 14 zeigt die Verteilung der Messwerte der Oberlippenamplituden (in mm) beim Spielen von verschiedenen, instrumentenspezifischen Tönen im Mezzoforte (vgl. Kapitel 3.4).

Instrument		MW	Median	Min	Max	SD	N
Trompete	F4	0,85	0,80	0,60	1,20	0,197	21
	B4	0,62	0,60	0,40	0,90	0,125	21
	D5	0,47	0,50	0,30	0,70	0,118	21
	F5	0,34	0,30	0,20	0,50	0,077	19*
Posaune	F3	1,49	1,40	0,90	2,20	0,368	15
	B3	1,24	1,20	0,70	1,70	0,280	15
	D4	0,96	1,00	0,50	1,30	0,203	15
	F4	0,65	0,70	0,30	1,00	0,220	15
Waldhorn	F3	1,99	1,80	1,10	3,70	0,890	11
	B3	1,55	1,50	1,00	2,80	0,535	11
	D4	1,19	1,10	0,80	1,70	0,295	11
	F4	0,87	0,90	0,40	1,30	0,310	11
Tuba	F2	3,75	3,75	3,30	4,20	0,636	2
	B2	2,85	2,85	2,00	3,70	1,202	2
	D3	1,80	1,80	1,60	2,00	0,283	2
	F3	1,00	1,00	1,00	1,00	0,000	1*

Tabelle 14: Oberlippenamplituden (in mm) bei verschiedenen instrumentenspezifischen Tönen im *mf;* * Die Amplituden waren bei zwei Trompetern und einem Tubisten beim jeweils höchsten Ton zu klein, um ausgemessen werden zu können.

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Tonhöhen und Amplitudengrößen zeigte bei den ausgewerteten 49 Blechbläsern (21 Trompeter, 15 Posaunisten, 11 Waldhornisten, 2 Tubisten; vgl. Tabelle 14) eine signifikante Korrelation (Korrelationskoeffizient nach Pearson, $r = -0{,}728$, $p < 0{,}01$, einseitig getestet). Das Streudiagramm (vgl. Abb. 64) verdeutlicht den negativen Zusammenhang zwischen Tonhöhen und Amplitudengrößen: Je höher die gespielte Frequenz, desto kleiner die Oberlippenamplitude und umgekehrt.

Abb. 64: Oberlippenamplituden in Abhängigkeit von den gespielten Frequenzen

In Abhängigkeit von Lautstärke (*pp* oder *ff*) und verschiedenen instrumentenspezifischen Tonhöhen ergaben sich folgende Werte der Oberlippenamplituden (vgl. Tabelle 15 bis Tabelle 17):

Tonhöhe	Lautstärke	MW	MED	Min	Max	SD	N
F4	pp	0,58	0,60	0,30	1,00	0,157	21
	ff	1,18	1,20	0,80	2,60	0,259	21
B4	pp	0,43	0,40	0,30	0,60	0,086	21
	ff	0,86	0,80	0,50	1,2	0,206	21
D5	pp	0,34	0,30	0,10	0,60	0,107	21
	ff	0,64	0,60	0,40	1,00	0,175	21
F5	pp	0,24	0,20	0,10	0,40	0,092	18*
	ff	0,47	0,45	0,30	0,70	0,146	20*

Tabelle 15: Oberlippenamplituden (in mm) von Trompetern bei verschiedenen Lautstärken und instrumentenspezifischen Tonhöhen; * Die Amplituden waren bei einem Trompeter beim höchsten Ton im Pianissimo zu klein, um ausgemessen werden zu können; ein Laien-Musiker konnte den höchsten Ton nicht im Pianissimo spielen, ein weiterer Laien-Musiker konnte den höchsten Ton weder im Fortissimo noch im Pianissimo spielen.

Tonhöhe	Lautstärke	MW	Median	Min	Max	SD	N
F3	pp	1,08	1,00	0,70	2,50	0,468	15
	ff	2,53	2,5	1,00	3,60	0,677	15
B3	pp	0,86	0,70	0,50	1,70	0,324	15
	ff	2,05	2,00	0,80	2,90	0,549	15
D4	pp	0,63	0,60	0,30	1,20	0,247	15
	ff	1,52	1,60	0,40	2,20	0,455	15
F4	pp	0,60	0,60	0,30	0,90	0,161	11*
	ff	1,27	1,25	0,80	1,90	0,331	14*

Tabelle 16: Oberlippenamplituden (in mm) von Posaunisten bei verschiedenen Lautstärken und instrumentenspezifischen Tonhöhen; * Die Amplituden waren beim höchsten Ton bei vier Posaunisten im Pianissimo und bei einem Posaunisten im Fortissimo zu klein, um ausgemessen werden zu können.

Tonhöhe	Lautstärke	MW	Median	Min	Max	SD	N
F3	pp	1,21	1,10	0,80	1,70	0,308	11
	ff	2,63	2,50	1,50	3,90	0,899	11
B3	pp	1,00	0,90	0,70	1,50	0,293	11
	ff	2,03	1,80	1,10	3,70	0,756	11
D4	pp	0,75	0,70	0,50	1,10	0,186	11
	ff	1,64	1,60	0,70	2,90	0,648	11
F4	pp	0,57	0,60	0,40	0,90	0,166	9*
	ff	1,36	1,30	0,40	2,40	0,595	11

Tabelle 17: Oberlippenamplituden (in mm) von Waldhornisten bei verschiedenen Lautstärken und instrumentenspezifischen Tonhöhen; * Die Amplituden waren bei einem Waldhornisten beim höchsten Ton im Pianissimo zu klein, um ausgemessen werden zu können; ein Laien-Musiker konnte den höchsten Ton nicht im Pianissimo spielen.

Der Mann-Whitney U-Test zeigte, dass die Amplituden bei Trompetern, Posaunisten und Waldhornisten im *ff* (MW = 1,40 mm, SD = 0,810) signifikant größer sind als die Amplituden im *pp* (MW = 0,65 mm, SD = 0,360; $p < 0{,}001$, einseitig getestet).

Das folgende Streudiagramm (vgl. Abb. 65) verdeutlicht die unterschiedlichen Amplitudengrößen der Oberlippe in Abhängigkeit von der gespielten Lautstärke (*pp* und *ff*): Je lauter der gespielte Ton, desto größer die Oberlippenamplitude und umgekehrt.

Abb. 65: Oberlippenamplituden in Abhängigkeit von verschiedenen Frequenzen, getrennt nach Fortissimo und Pianissimo

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen:

Die Oberlippenamplituden der Blechbläser nahmen

1. mit zunehmender Tonhöhe ab.
2. mit zunehmender Lautstärke zu.
3. mit abnehmender Tonhöhe zu.
4. mit abnehmender Lautstärke ab.

Kymographische Phaseneinteilung

Bei allen 50 Probanden ließen sich sowohl die in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Einschwing-, Vollschwing- und Ausschwingphasen (vgl. Abb. 11 - Abb. 14) als auch die im selben Kapitel beschriebenen Öffnungs-, Schließungs-, Offen- und Verschlussphasen (vgl. Abb. 15) differenzieren.

Bei einem Proband konnte mittels Kymographie eine kurzzeitige, intermittierend auftretende, geringgradige Phasendifferenz von Ober- und Unterlippenschwingungen festgestellt werden (vgl. Abb. 66). Dies führte jedoch zu keinerlei Beeinträchtigung der Intonation. Offenbar war die Phasendifferenz so gering, dass sie auditiv nicht wahrnehmbar war.

Abb. 66: geringgradige Phasendifferenz von Ober- und Unterlippenschwingungen bei einem 49-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 21), (261 Hz, C4, *mf*)

Phasendifferenzen ließen sich nur dann sicher ausschließen, wenn die Schwingungsmaxima sowohl der Ober- als auch der Unterlippe sichtbar waren.

4.2.3. Stroboskopie

Stroboskopische Phaseneinteilung

Bei allen 50 Probanden ließen sich die im Kapitel 3.5 beschriebenen Phasen der Mundspaltenöffnung und -schließung beim Standardton C4 differenzieren. Im folgenden Beispiel (vgl. Abb. 67) entspricht die Öffnungphase den Bildern 45°-180°, die Schliessungsphase den Bildern 180°-315°, entsprechend die Offenphase den Bildern 45°-315° und die Verschlussphase den Bildern 0° bzw. 360°.

Abb. 67: stroboskopischer Schwingungszyklus der Mundlippen bei einem 49-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 12), (261 Hz, C4, *mf*)

Öffnungs- und Schließungsphase waren nicht immer gleich lang (vgl. Abb. 17). Ob stroboskopisch eine Verschlussphase dargestellt werden konnte, war abhängig davon, ob diese beblitzt wurde oder „im Dunkeln“ lag.

Schwingungsanalysen der Mundlippen

Die stroboskopischen Schwingungsanalysen der Mundlippen nach dem in Kapitel 3.5 beschriebenen Messprotokoll konnten bei 12 von 50 Probanden (24 %) vollständig durchgeführt werden. Bei einem 53-jährigen Trompeter (P.-Nr. 8) konnte lediglich die Fläche der Mundspalte im Schwingungsmaximum bestimmt werden. Die übrigen Messungen konnten nicht durchgeführt werden, da die Schwingungsamplituden zu klein waren. Bei den übrigen Probanden traten partielle bis vollständige Überlagerungen der Unterlippe durch die Oberlippe (n = 36) oder partielle Überlagerungen der Oberlippe durch die Unterlippe (n = 1) auf. Weil Endoskop und Kamera fest mit Mundstück und Instrument verbunden waren, ließ sich in diesen 37 Fällen die Fläche der Mundspalte nicht darstellen, und eine Auswertung war nicht möglich.

Die in Tabelle 18 gezeigten Werte ergaben sich bei Ausmessung der Fläche der Mundspalte beim Standardton C4, Mezzoforte. Zur Messung wurde aus dem stroboskopischen Schwingungszyklus jeweils dasjenige Bild verwendet, auf dem die Fläche der Mundspalte maximal groß war, d.h. am Übergang von Öffnungs- zu Schließungsphase (Schwingungsmaximum; vgl. Abb. 67, Fläche der Mundspalte bei 180°)

Instrument	MW	MED	Min	Max	SD	N
Waldhorn	11,30	11,30	5,20	17,40	8,627	2
Trompete	8,16	8,10	2,90	13,80	4,055	7
Posaune	19,27	20,60	7,80	29,40	10,862	3
Tuba	15,20	15,20	15,20	15,20	-	1
insgesamt	11,74	8,90	2,90	29,40	7,534	13

Tabelle 18: Fläche der Mundspalte in mm^2 bei verschiedenen Blechblasinstrumenten

Aufgrund der geringen Gruppengrößen war eine statistische Auswertung nicht möglich. Eine geschlechtergetrennte Auswertung erfolgte bei n = 1 weiblichen Probanden (Waldhornistin) nicht.

Abb. 68 zeigt die Länge der Mundspalte zu verschiedenen Phasen (in°) des Mundlippenschwingungszyklus. Diese Plateauform der Kurve (zunächst steiler Anstieg anschließend konstante Länge, dann steiler Abfall) wurde bei neun von zwölf Blechbläsern (75%) gefunden. Bei zwei von zwölf Blechbläsern ergaben sich annähernd plateauförmige Kurven.

Abb. 68: Länge der Mundspalte bei einem 49-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 12)

Eine plateauförmige Kurve tritt dann auf, wenn sich die Mundlippen zu Beginn des Schwingungszyklus breitbasig voneinander lösen und am Ende des Schwingungszyklus durch den Bernoulli-Sog schnell schließen; eine seitliche Schwingungskomponente (d.h. nach medial bzw. lateral) ist bei plateauförmigen Kurven mutmaßlich nur gering ausgeprägt oder gar nicht vorhanden.

Ein Berufstrompeter zeigte eine spitzgipflige Kurve (vgl. Abb. 69).

Abb. 69: Länge der Mundspalte bei einem 49-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 21)

Diese spitzgipflige Kurvenform ist als Hinweis auf ausgeprägtere seitliche Schwingungskomponenten (d.h. nach medial bzw. lateral) zu interpretieren.

In Abb. 70 wird die Höhe der Mundspalte zu verschiedenen Phasen (in°) des Mundlippenschwingungszyklus dargestellt.

Abb. 70: Höhe der Mundspalte bei einem 49-jährigen Trompeter (Laie, P.-Nr. 12)

Die Form dieser Kurve ist bei allen zwölf Blechbläsern eher rund. Die Höhe der Mundspalte entspricht der frontalen Schwingungskomponente (nach oben-/unten; vgl. Kapitel 1.2 „Sideway-striking model“).

Die axiale Schwingungskomponente (nach vorne-/hinten; vgl. Kapitel 1.2 „Outward-striking model“) wurde in der vorliegenden Studie nicht untersucht. Hierzu wären Aufnahmen in einer zweiten Ebene notwendig gewesen.

Kubische Interpolationen

Die kubischen Interpolationen nach dem in Kapitel 3.5 beschriebenen Messprotokoll konnten bei zwölf Probanden (24%) durchgeführt werden, die entsprechenden Diagramme finden sich im Anhang. Bei den übrigen Probanden traten partielle bis vollständige Überlagerungen der Unterlippe durch die Oberlippe (n = 36) oder partielle Überlagerungen der Oberlippe durch die Unterlippe (n = 1) auf. Bei einem Probanden waren die Schwingungsamplituden zu klein zum Auswerten.

Die folgenden Beispiele zeigen eine Öffnungphase (vgl. Abb. 71), eine Schließungsphase (vgl. Abb. 72) und einen kompletten Schwingungszykus, d.h. eine Kombination aus beiden Phasen (vgl. Abb. 73).

Abb. 71: Öffnungsphase bei einem 17-jährigen Trompeter (Musikstudent, P.-Nr. 32)

Abb. 72: Schließungsphase bei einem 17-jährigen Trompeter (Musikstudent, P.-Nr. 32)

Die Kurven entsprechen der Höhe der Mundspalte während verschiedener Phasen des Schwingungszyklus an bestimmten Messpunkten (vgl. Kapitel 3.5.2, Unterkapitel „Kubische Interpolationen“ und Abb. 54).

Abb. 73: ein kompletter Schwingungszyklus bei einem 17-jährigen Trompeter (Musikstudent, P.-Nr. 32); die Kurven von 45° und 270° (jeweils violett) überlagern sich zufällig vollständig

Bei zwei Probanden ergab sich in den Kurven eine muldenförmige Einkerbung (vgl. Abb. 74, Abb. 76 und Abb. 77). Diese muldenförmige Einkerbung war bei einer Waldhornistin ausschließlich während der Öffnungsphase sichtbar (vgl. Abb. 74), nicht jedoch während der Schließungsphase (vgl. Abb. 75).

Abb. 74: Öffnungsphase mit muldenförmiger Einkerbung (45°, 90°, 135°) bei einer 60-jährigen Waldhornistin (Laie, P.-Nr. 49)

Abb. 75: Schließungsphase bei einer 60-jährigen Waldhornistin (Laie, P.-Nr. 49)

Bei einem Tubisten war die muldenförmige Einkerbung von Beginn der Öffnungsphase bis zum Beginn der Schließungsphase (vgl. Abb. 76 und Abb. 77) zu erkennen.

Abb. 76: Öffnungsphase mit muldenförmiger Einkerbung (45°, 90°, 135°, 180°) bei einem 53-jährigen Tubisten (Laie, P.-Nr. 23)

Abb. 77: Schließungsphase mit muldenförmiger Einkerbung (180°) bei einem 53-jährigen Tubisten (Laie, P.-Nr. 23)

Die dazugehörigen stroboskopischen Videosequenzen zeigten bei diesen beiden Bläsern jeweils eine funktionelle Schleimhautausziehung am freien Rand der Oberlippe (vgl. Abb. 82 und Abb. 84), welche bei nicht schwingenden Mundlippen nicht sichtbar war.

Funktionelle Auswertung der stroboskopischen Videobilder

Horizontale Schleimhautwellen (vgl. Abb. 78) konnten bei 49 Blechbläsern auf der Oberlippe (Downstream-Typ) und bei einem Posaunisten (Upstream-Typ) auf der Unterlippe nachgewiesen werden.

Abb. 78: horizontale Schleimhautwellen a) an der Oberlippe bei einem 48-jährigen Posaunisten (Berufsmusiker, P.-Nr. 31) und b) an der Unterlippe bei einem 17-jährigen Posaunisten (Laie, P.-Nr. 20), Schleimhautwellen hier mit weißem Pfeil markiert

Bei sechs Blechbläsern traten während des Spielens funktionelle Schleimhautausziehungen an den Mundlippen auf (vgl. Abb. 79 - Abb. 84).

62-jähriger Trompeter

Berufsmusiker

mittige, an der Basis 0,9 mm lange, umschriebene Ausziehung der Schleimhaut, die in der Frontalebene nach unten in die Mundspalte ragt

Abb. 79: Schleimhautausziehung bei einem 62-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 17)

Abb. 80: Schleimhautausziehung bei einem 54-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 15)

54-jähriger Trompeter

Berufsmusiker

links paramediane, an der Basis 3,1 mm lange, umschriebene Ausziehung der Schleimhaut, die in der Frontalebene nach unten in die Mundspalte ragt

Abb. 81: Schleimhautausziehung bei einem 34-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 44)

34-jähriger Trompeter

Berufsmusiker

linksseitige, an der Basis 1,0 mm lange, umschriebene Ausziehung der Schleimhaut, die in der Frontalebene nach unten in die Mundspalte ragt

Abb. 82: Schleimhautausziehungen bei einer 60-jährigen Waldhornistin (Laie, P.-Nr. 49)

60-jährige Waldhornistin

Laienmusikerin

rechts paramediane Ausziehungen der Schleimhaut beider Mundlippen, an der Basis der Oberlippe 2,1 mm lang, an der Basis der Unterlippe 2,8 mm lang, intermittierend durch eine Sputumbrücke verbunden

Abb. 83: Schleimhautausziehung bei einem 41-jährigen Posaunisten (Laie, P.-Nr. 50)

41-jähriger Posaunist

Laienmusiker

mittige, an der Basis 4,6 mm lange Schleimhautausziehung der Oberlippe, dem Untersucher in der Sagittalebene entgegenkommend

53-jähriger Tubist

Laienmusiker

rechts paramediane, an der Basis 11,4 mm lange Schleimhautausziehung der Oberlippe, die in der Frontalebene nach unten in die Mundspalte ragt

Abb. 84: Schleimhautausziehung bei einem 53-jährigen Tubisten (Laie, P.-Nr. 23)

Die Schleimhautausziehungen waren auf der gesamten Lippenbreite zu finden (zwei rechts, zwei mittig und zwei links). Fünf davon schwangen in der Frontalebene in die Mundspalte hinein (d.h. nach unten; vgl. Abb. 79 - Abb. 82 und Abb. 84), eine schwang in der Sagittalebene dem Untersucher entgegen (vgl. Abb. 83). In fünf Fällen betraf die Schleimhautausziehung nur die Oberlippe (vgl. Abb. 79 - Abb. 81, Abb. 83 und Abb. 84), in einem Fall zeigten beide Mundlippen je eine Ausziehung (vgl. Abb. 82).

Die Höhe der funktionellen Schleimhautausziehungen wurde nicht bestimmt, da sie je nach Phase des Schwingungszyklus variierte.

Die sechs Probanden mit Schleimhautausziehungen (MW 51,1 Jahre) waren etwas älter als das Gesamtkollektiv (MW 42,3 Jahre). Sie wichen aufgrund der geringen Gruppengröße (n = 6) hinsichtlich der Instrumentenverteilung vom Gesamtkollektiv (n = 50) ab: Trompete und Tuba waren überrepräsentiert, die Posaune hingegen war unterrepräsentiert:

	Probanden mit Ausziehung (n = 6), davon		Gesamtkollektiv (n = 50), davon	
Trompete	n = 3	50,0%	n = 21	42,0%
Posaune	n = 1	16,7%	n = 16	32,0%
Waldhorn	n = 1	16,7%	n = 11	22,0%
Tuba	n = 1	16,7%	n = 2	4,0%

Tabelle 19: Blechbläser mit funktionellen Schleimhautausziehungen der Mundlippen

Sämtliche Blechbläser hatten stroboskopisch einen suffizienten Schluss der Mundlippen. Außerdem konnten bei allen Blechbläsern Schleimhautwellen an den Mundlippen beobachtet werden, analog zu den Randkantenverschiebungen der Stimmlippen. Seidner & Eysholdt bezeichneten diese Randkantenverschiebungen an den Stimmlippen als „Bewegung der oberflächlichen Schleimhaut, die sich auf der Gleitschicht […] über dem Muskel bewegt“ [103]. Derartige „Bewegung[en] der oberflächlichen Schleimhaut […] über dem Muskel“ existieren somit auch an den Mundlippen.

4.2.4. Morphologische Befunde der Mundlippen

Nachdem die Probanden kymographisch und stroboskopisch untersucht worden waren (d.h. nach etwa einstündigem Spielen auf dem Blechblasinstrument), wurden die Mundlippen evertiert und inspiziert. Bei 6 von 50 Blechbläsern (12%) zeigten sich vernarbte Druckstellen am Übergang vom Oberlippenrot zur Oberlippenschleimhaut, dort wo der Mundstückrand die Oberlippe gegen die Zähne presst (vgl. Abb. 85 - Abb. 90). Diese Druckstellen waren irreversibel und wurden deshalb als narbige Veränderungen eingestuft. Alle betroffenen Probanden waren männlich, bei vier von sechs Probanden handelte es sich um professionelle Blechbläser.

Abb. 85: 53-jähriger Posaunist (Berufsmusiker, P.-Nr. 10): a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme

Abb. 86: 34-jähriger Posaunist (Berufsmusiker, P.-Nr. 33): a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme

Abb. 87: 49-jähriger Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 40): a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme

Abb. 88: 27-jähriger Waldhornist (Musikstudent, P.-Nr. 46): a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme

Abb. 89: 48-jähriger Posaunist (Berufsmusiker, P.-Nr. 31): a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme

Abb. 90: 54-jähriger Trompeter (Laie, P.-Nr. 36): a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme

Bei einem 17-jährigen Trompeter (Musikstudent) zeigten sich nach dem Spielen Druckstellen an der Innenseite der Oberlippe am Übergang zum Oberlippenrot. Es handelte sich um reversible, weiche dentale Impressionen, die Vorläufer der oben beschriebenen Vernarbungen sein könnten.

Abb. 91: sichtbare Impressionen der Schneidezähne bei einem 17-jährigen Trompeter (Musikstudent, P.-Nr. 32): a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme

Bei einem 62-jährigen Berufstrompeter war eine vernarbte Druckstelle am rechten „Amorbogen“ [104] (Übergang von Oberlippenschleimhaut zum Lippenrot) zu erkennen (vgl. Abb. 92).

Abb. 92: vernarbte Druckstelle am rechten „Amorbogen“ bei einem 62-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 17): a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme

Bei einem 32-jährigen Posaunisten wurde eine Mittelgesichtsasymmetrie mit Oberlippenfurche links (vgl. Abb. 93) entdeckt.

Abb. 93: 32-jähriger Posaunist (Musikstudent, P.-Nr. 34): Oberlippenfurche links mit Oberlippenasymmetrie; a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme

Bei diesem Musikstudenten konnten folgende weitere Befunde erhoben werden:

- multiple geringgradige Asymmetrien des unteren Mittelgesichtes (Amorbogen, Philtrum, Nasolabialfalten, Nasenbasis und Naseneingang)
- Dysgnathien an Ober- und Unterkiefer mit Fehlanlagen mehrer Oberkieferzähne
- hoher gotischer Gaumen mit medianer Raphe (als Hinweis auf eine Verwachsungsstörung des Oberkiefers)
- ein Normalbefund der Uvula ohne Spalte oder näselnde Sprache
- radiologisch massiv dilatiertes Foramen infraorbitale beidseits.

Die Kombination der oben genannten Befunde des Posaunisten wurde als „Forme fruste“ einer Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte interpretiert.

Drei weitere Blechbläser wiesen nach dem Spielen Schwellungen an Ober- oder Unterlippe auf:

Eine 21-jährige Trompeterin (Musikstudentin) zeigte nach dem Spielen links paramedian eine kleine polsterartige Schwellung (vgl. Abb. 94) der Oberlippe am Übergang vom Lippenrot zur Lippenschleimhaut. Ob diese Schwellung reversibel war, konnte weder anamnestisch noch klinisch (bei einmaliger Untersuchung) eruiert werden.

Abb. 94: 21-jährige Trompeterin (Musikstudentin, P.-Nr. 6) mit kleiner links paramedianer polsterartiger Oberlippenschwellung: a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme, Schwellung gekennzeichnet durch Ellipse

Bei einem 52-jährigen Tubist (Berufsmusiker) trat nach dem Spielen sowohl bei geöffnetem (vgl. Abb. 95 a) als auch bei geschlossenem (vgl. Abb. 95 b) Mund rechtsseitig eine reversible Unterlippenschwellung im Lippenrot auf.

Abb. 95: 52-jähriger Tubist (Berufsmusiker, P.-Nr. 30) mit rechtsseitig geschwollener Unterlippe bei a) geöffnetem und b) geschlossenem Mund

Bei einem 33-jährigen Berufstrompeter kam es nach dem Spielen zu polsterartigen Schwellungen der Oberlippenschleimhaut rechts paramedian (vgl. Abb. 96). Ob diese Schwellungen reversibel waren, konnte weder anamnestisch noch klinisch (bei einmaliger Untersuchung) eruiert werden.

Abb. 96: polsterartige Schwellungen der Oberlippenschleimhaut bei einem 33-jährigen Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 3): a) Übersichtsaufnahme, b) Detailaufnahme, Schwellungen mit Pfeilen markiert

Bei der Sonographie der Mundlippen war der M. orbicularis oris von Ober- und Unterlippe stets (bei allen 50 Blechbläsern) unauffällig darstellbar. In einem Fall wurde an der vestibulären Seite der linken Unterlippe ein geringgradig vernarbter, etwa 4,2 mm x 2,7 mm x 2,1 mm großer Lymphknoten gefunden. Dieser dem Musculus orbicularis oris direkt aufliegende Lymphknoten verursachte beim Spielen ein störendes Druckgefühl.

Abb. 97: dem Musculus orbicularis oris direkt aufliegender, vergrößerter Lymphknoten an der vestibulären Seite der linken Unterlippe bei einer 37-jährigen Waldhornistin (Berufsmusikerin, P.-Nr. 47); Die roten Pfeile markieren jeweils den M. orbicularis oris, die blauen Pfeile markieren die Zahnkronen.

Außerdem war bei derselben Waldhornistin eine persistierende linksseitige Lymphabflussstauung (verdicktes, gestautes Lymphgefäß) am Übergang vom Unterlippenrot zur Mundschleimhaut sichtbar (vgl. Abb. 98).

Abb. 98: gestautes Lymphgefäß (mit schwarzen Pfeilen markiert) der linken Unterlippe bei einer 37-jährigen Waldhornistin (Berufsmusikerin, P.-Nr. 47)

Eine Zusammenfassung der in der Studie gefundenen makroskopisch sichtbaren morphologischen Auffälligkeiten an den Mundlippen liefert Tabelle 20.

P.-Nr.	morphologische Auffälligkeit	Lokalisation	Alter in Jahren	Geschlecht	Ausbildungsgrad	Instrument
10	Lippennarbe	horizontal mittig, am Übergang von Oberlippenrot zur Lippenschleimhaut (wo der Mundstückrand die Lippe gegen die Zähne presst)	53	männlich	Berufsmusiker	Posaune
33	Lippennarbe		34	männlich	Berufsmusiker	Posaune
40	Lippennarbe		49	männlich	Berufsmusiker	Trompete
46	Lippennarbe		27	männlich	Musikstudent	Waldhorn
31	Lippennarbe		48	männlich	Berufsmusiker	Posaune
36	Lippennarbe		54	männlich	Laie	Trompete
32	Zahnabdruck		17	männlich	Musikstudent	Trompete
17	Lippennarbe	Oberlippe rechts, Übergang von Lippenschleimhaut zum Lippenrot (Amorbogen)	62	männlich	Berufsmusiker	Trompete
34	„Forme fruste“ einer Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte	Oberlippe links	32	männlich	Berufsmusiker	Posaune
6	Schwellung	Oberlippe links, Übergang von Lippenrot zur Lippenschleimhaut	21	weiblich	Musikstudentin	Trompete
30	Schwellung (reversibel)	Unterlippenrot rechts	52	männlich	Berufsmusiker	Tuba
3	Schwellung	Oberlippenschleimhaut rechts	33	männlich	Berufsmusiker	Trompete
47	vergrößerter Lymphknoten mit gestautem Lymphgefäß	Unterlippe links, Übergang von Lippenrot zur Lippenschleimhaut	37	weiblich	Berufsmusikerin	Waldhorn

Tabelle 20: makroskopisch sichtbare morphologische Auffälligkeiten der Mundlippen von 13 Blechbläsern

Insgesamt traten somit bei 13 Blechbläsern (26%) makroskopisch sichtbare morphologische Veränderungen der Mundlippen auf (vgl. Tabelle 20). Die übrigen 37 Blechbläser (74%) hatten makroskopisch unauffällige Mundlippen.

Die 13 Probanden mit makroskopisch sichtbaren morphologischen Veränderungen der Mundlippen (Alter: 17 - 62 Jahre; MW 40,3 Jahre) waren etwas jünger als das Gesamtkollektiv (MW 42,3 Jahre). 11 der 13 betroffenen Blechbläser waren männlich (84,6%; Gesamtkollektiv 86%), zwei weiblich (15,4%; Gesamtkollektiv 14%).

9 der 13 Blechbläser waren Berufsmusiker (69,2%; Gesamtkollektiv 46%), drei waren Musikstudenten (23,1%; Gesamtkollektiv 18%), nur einer war Laie (7,7%; Gesamtkollektiv 36%). Makroskopisch sichtbaren morphologischen Veränderungen der Mundlippen traten somit besonders häufig bei Berufsmusikern auf.

Die Instrumentenverteilung war vergleichbar mit der des Gesamtkollektivs (n = 50); Trompeter und Posaunisten waren am häufigsten vertreten:

	Probanden mit makroskopisch sichtbaren morphologischen Veränderungen der Mundlippen (n = 13), davon		Gesamtkollektiv (n = 50), davon	
Trompete	n = 6	46,2%	n = 21	42,0%
Posaune	n = 4	30,7%	n = 16	32,0%
Waldhorn	n = 2	15,4%	n = 11	22,0%
Tuba	n = 1	7,7%	n = 2	4,0%

Tabelle 21: Blechbläser mit makroskopisch sichtbaren morphologischen Veränderungen der Mundlippen

Elfmal war die Oberlippe betroffen, zweimal die Unterlippe. Die morphologischen Lippenveränderungen waren siebenmal mittig, dreimal rechts und dreimal links lokalisiert. Eine bevorzugte Seitenlokalisation war demzufolge nicht vorhanden.

4.3. Untersuchungen von Sprechstimme und Larynx

4.3.1. Selbsteinschätzung der Stimme mittels Stimmstörungsindex (SSI)

42 Blechbläser (84%) gaben an, kein stimmliches Handicap zu haben. Acht (16%) fühlten sich stimmlich eingeschränkt (davon fünf geringgradig, zwei mittelgradig und ein Blechbläser hochgradig). Tabelle 22 zeigt die Verteilung der SSI-Werte auf die einzelnen Instrumentengruppen.

Instrument	MW	MED	Min	Max	SD	N
Trompete	4,71	4,00	0	18	5,524	21
Posaune	6,38	4,00	0	34	8,074	16
Waldhorn	3,27	3,00	1	7	1,794	11
Tuba	1,50	1,50	0	3	2,121	2
insgesamt	4,80	3,50	0	34	5,911	50

Tabelle 22: Verteilung der SSI-Werte auf die einzelnen Instrumentengruppen

Fünf Probanden wiesen einen pathologischen SSI-Wert auf, welcher auf eine funktionelle Stimmüberlastung zurückgeführt wurde:

- Proband-Nr. 45 (8 P.) fühlte sich eingeschränkt aufgrund einer leisen, wenig tragenden Stimme.
- Proband-Nr. 26 (12 P.) hatte das Gefühl, dass die Stimme nach dem Blechblasinstrumentenspiel und Unterrichten von Posaune „schlechter“ sei.
- Proband-Nr. 28 (16 P.) zeigte aufgrund einer beruflichen Stimmbelastung (Allgemeinmediziner) eine Tendenz zur Stimmschwäche.
- Proband-Nr. 40 (12 P.) hatte vor allem in lauter Umgebung Stimmprobleme, die sich in einem „Flattern“ bzw. „Wegkippen“ der Stimme manifestierten.
- Proband-Nr. 38 (11 P.) zeigte eine berufliche Stimmbelastung (Musikschullehrer).

Zwei Probanden litten an einer organischen Grunderkrankung:

- Proband-Nr. 24 (18 P.) war Asthmatiker und Allergiker. Er hatte gelegentlich das Gefühl, „der Hals gehe zu“.

- Proband-Nr. 18 (11 P.) zeigte „selten“ alle im SSI-Fragebogen aufgeführten Probleme und litt außerdem an einer Dystonie im Mund- und Kieferbereich.

Ein Proband wies einen hochgradig pathologischen SSI auf, welcher sich nicht eindeutig zuordnen ließ:

- Proband-Nr. 25 (34 P.) berichtete von Konsultationen mehrerer Phoniater und HNO-Ärzte, aufgrund von „Muskelverkrampfungen und Druckgefühl“ im Kehlkopfbereich. Zusätzlich bestünden eine Hashimoto-Thyreoiditis und Zahnfehlstellungen. Auffallend waren die vielen Arztwechsel des Probanden.
  Im RBH-Index lag eine geringgradige Rauigkeit und Heiserkeit (R1 B0 H1) vor. Die endoskopische Evaluation der Stimmlippen konnte kein Korrelat für das „Druckgefühl“ zeigen; das stroboskopische Schwingungsmuster der Stimmlippen war völlig unauffällig. Außer einer geringen Verschleimung der Stimmlippen fand sich endoskopisch ein morphologisch unauffälliger Larynx.

Geschlecht (t-Test), Ausbildungsgrad (ANOVA) und Instrument (ANOVA) hatten keinen signifikanten Einfluss auf den SSI-Wert (vgl. „Statistische Auswertung“ im Anhang).

4.3.2. Fremdeinschätzung der Stimme mittels RBH-Index

Bei 39 von 50 Blechbläsern (78%) lag ein im Mittel unauffälliger RBH-Befund vor (R0 B0 H0).

Auffällige RBH-Befunde zeigten sich somit bei elf Blechbläsern (22%): Bei sieben Probanden fand sich eine geringgradige Rauigkeit (einmal R1 B0 H0 und sechsmal R1 B0 H1) und bei zwei Probanden eine geringgradige Behauchtheit (R0 B1 H1) der Sprechstimme. Bei zwei weiteren Probanden lag eine geringgradige Heiserkeit ohne weitere Auffälligkeiten (R0 B0 H1) vor. Drei scheinbare Widersprüche in den RBH-Ergebnissen (R1 B0 H0 und zweimal R0 B0 H1) erklären sich durch Mittelwertbildung bei Auswertung durch sechs verschiedene Rater:

R1 B0 H0:	R 0,500	B 0,000	H 0,417
R0 B0 H1:	R 0,250	B 0,417	H 0,580
R0 B0 H1:	R 0,417	B 0,170	H 0,500

Tabelle 23 zeigt die Verteilung der RBH-Werte auf die einzelnen Instrumentengruppen.

Instrument		MW	Med	Min	Max	SD
Trompete	Rauigkeit	0,1746	0,1667	0,00	0,50	0,16009
	Behauchtheit	0,0516	0,0000	0,00	0,33	0,10367
	Heiserkeit	0,1825	0,0833	0,00	0,50	0,16795
Posaune	Rauigkeit	0,2969	0,2500	0,00	0,92	0,24146
	Behauchtheit	0,1458	0,0833	0,00	0,67	0,19365
	Heiserkeit	0,3750	0,3333	0,00	1,00	0,30277
Waldhorn	Rauigkeit	0,2197	0,0833	0,00	1,00	0,33597
	Behauchtheit	0,0455	0,0000	0,00	0,17	0,06835
	Heiserkeit	0,2348	0,1667	0,00	0,92	0,29772
Tuba	Rauigkeit	0,2500	0,2500	0,17	0,33	0,11785
	Behauchtheit	0,2500	0,2500	0,00	0,50	0,35355
	Heiserkeit	0,3750	0,3750	0,08	0,67	0,41248
insgesamt	Rauigkeit	0,2267	0,1667	0,00	1,00	0,23331
	Behauchtheit	0,0883	0,0000	0,00	0,67	0,15003
	Heiserkeit	0,2633	0,1667	0,00	1,00	0,26210

Tabelle 23: Verteilung der RBH-Werte auf die einzelnen Instrumentengruppen

Geschlecht (t-Test), Ausbildungsgrad (ANOVA) und Instrument (ANOVA) hatten keinen signifikanten Einfluss auf den RBH-Wert (vgl. „Statistische Auswertung“ im Anhang).

Artikulations- oder Redeflussstörungen traten beim Vorlesen des Textes „Der Nordwind und die Sonne“ bei keinem der Probanden auf, auch nicht bei den fünf Probanden mit Symptomen einer Ansatzdystonie (vgl. Kapitel 4.1.4., Unterkapitel „Ansatzdystonie“).

4.3.3. Larynx-Score

Von 50 Blechbläsern tolerierten 49 die endoskopische Laryngoskopie. Ein Proband lehnte Lokalanästhesie ab. Sein Würgreiz war so stark, dass keine endoskopische Untersuchung möglich war.

16 Blechbläser (32,7%) wiesen einen Larynx-Score von 0 Punkten auf. Bei 33 Blechbläsern (67,3%) ergab sich ein auffälliger Larynx-Score von ≥ 1 Punkt (vgl. Anhang). Tabelle 24 zeigt einen Überblick über die Larynx-Scores getrennt nach Instrumenten.

Instrument	MW	Median	Min	Max	SD
Trompete	1,40	1,00	0	6	1,594
Posaune	1,63	2,00	0	4	1,408
Waldhorn	2,20	2,50	0	4	1,619
Tuba	0,75	0,75	0	2	1,061
insgesamt	1,61	1,50	0	6	1,522

Tabelle 24: Verteilung der Larynx-Scores auf die einzelnen Instrumentengruppen bei n = 49 laryngoskopierten Blechbläsern

Geschlecht (t-Test), Ausbildungsgrad (ANOVA) und Instrument (ANOVA) hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Larynx-Score (vgl. „Statistische Auswertung“ im Anhang).

Laryngoskopie

Die folgenden morphologischen Auffälligkeiten konnten an den Kehlköpfen von 18 der 49 Blechbläser (36,7%) beobachtet werden:

- Ein Sulcus glottidis fand sich bei einem Probanden einseitig links, bei drei Probanden beidseitig, insgesamt somit bei vier Probanden (8,2%).
- Teleangiektasien im dorsalen Anteil der Stimmlippen fanden sich bei zwei Probanden (4,1%).
- Geringgradige Verschleimung der Stimmlippen trat bei 14 Probanden (28,6%) auf.

Hinweise auf Kontaktveränderungen oder Phonationsverdickungen fanden sich nicht. Folgende supraglottische, hyperfunktionelle Pressmechanismen wurden bei 22 der 49 Blechbläser (44,9%) registriert:

- Taschenfalteneinsatz wurde bei acht Probanden (16,3%) beobachtet. Davon waren drei einseitig und fünf beidseitig betroffen.
- Posterior-Anterior-Phonation trat bei zehn Probanden (20,4%) auf. Davon waren fünf gering- und fünf hochgradig betroffen.
- Eine geringgradige Aryasymmetrie lag bei sechs Probanden (12,2%) vor.

- Ein Petioluswulst fand sich bei acht Probanden (16,3%). Er war bei sechs Probanden gering und bei zwei Probanden sehr deutlich ausgeprägt.

Es traten 13-mal einzelne Pressmechanismen isoliert, achtmal Kombinationen von zwei dieser Pressmechanismen und einmal die Kombination von Taschenfalteneinsatz, Aryasymmetrie und Petioluswulst auf.

Stroboskopie

Ein stroboskopisch unauffälliges Schwingungsverhalten wiesen die Stimmlippen bei 35 von 49 Blechbläsern (71,4%) auf. Bei 14 von 49 Probanden (28,6%) zeigten die Stimmlippen stroboskopisch geringgradige Schwingungsauffälligkeiten:

Eine geringe Phasendifferenz bestand bei 13 von 49 Probanden (26,5%). Der Glottisschluss war bei drei Probanden (6,1%) hinten inkomplett, sonst immer komplett. Die Glottisschlussphase war bei zwei Blechbläsern (4,1%) gering verkürzt, sonst immer normal. Die Amplituden der Stimmlippenschwingungen waren bei allen 49 Blechbläsern beidseits normal. Es wurden ausschließlich normale Randkantenverschiebungen beider Stimmlippen beobachtet.

Hinweise auf funktionelle Stimmstörungen fanden sich auf Glottisebene somit nicht.

Exemplarische transnasale Darstellung des Kehlkopfes

In der vorliegenden Studie konnte an den beiden transnasal untersuchten Blechbläsern (33-jähriger Berufstrompeter [P.-Nr. 3], 43-jähriger Laienposaunist [P.-Nr. 25]) der Larynx als Regulator des Luftflusses (Paramedian- bis Intermediärstellung beider Stimmlippen beim Instrumentenspiel) sowie jeweils ein Kehlkopf-Tiefstand dokumentiert werden. Außerdem wurde beobachtet, dass bei lauten Tönen eine weitere Glottisöffnung resultierte als bei leisen Tönen.

4.3.4. Zusammenfassung der Stimmergebnisse

Bei 12 Blechbläsern (24%) fand sich ein stimmlicher und laryngealer Normalbefund. Ein Waldhornist (2%) wies unauffällige Stimmparameter auf, der Larynxbefund konnte bei ausgeprägtem Würgereiz nicht erhoben werden.

37 Blechbläser (74%) zeigten nach dem Instrumentenspiel auffällige Stimm- und/oder Larynxparameter (vgl. Tabelle 25):

auffällige Parameter	n	Σ n
SSI	3	12
RBH	1	
Pressmechanismen	6	
morphologische Auffälligkeiten	2	
SSI + Pressmechanismen	1	15
SSI + morphologische Auffälligkeiten	1	
RBH + Pressmechanismen	1	
RBH + morphologische Auffälligkeiten	1	
Pressmechanismen + morphologische Auffälligkeiten	5	
Pressmechanismen + stroboskopische Auffälligkeiten	3	
morphologische + stroboskopische Auffälligkeiten	3	
SSI + RBH + morphologische Auffälligkeiten	2	9
SSI + RBH + stroboskopische Auffälligkeiten	1	
RBH + Pressmechanismen + stroboskopische Auffälligkeiten	3	
RBH + morphologische + stroboskopische Auffälligkeiten	1	
Pressmechanismen + morphologische + stroboskopische Auffälligkeiten	2	
RBH + Pressmechanismen + morphologische + stroboskopische Auffälligkeiten	1	1
Blechbläser mit auffälligen Stimm- und/oder Larynxparametern insgesamt		37

Tabelle 25: Zusammenschau der auffälligen Stimm- und Larynxparameter

Insgesamt fand sich also bei zwölf Blechbläsern (24%) ein auffälliger Parameter, bei 15 Blechbläsern (30%) fanden sich zwei auffällige Parameter, bei neun Blechbläsern (18%) drei auffällige Parameter, und einmal (2%) fand sich eine Kombination aus vier auffälligen Parametern.

Die Überprüfung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Stimmparametern (Rauigkeit, Behauchtheit, Heiserkeit und SSI-Werte bei n = 50 Blechbläsern; Larynx-Score bei n = 49 Blechbläsern) zeigte signifikante Korrelationen folgender Parameter (nach Spearman):

- Rauigkeit mit Behauchtheit, Heiserkeit und dem Larynx-Score
- Behauchtheit mit Rauigkeit, Heiserkeit, dem SSI-Wert und dem Larynx-Score
- Heiserkeit mit Rauigkeit, Behauchtheit und dem Larynx-Score
- SSI-Wert mit Behauchtheit
- sowie Larynx-Score mit Rauigkeit, Behauchtheit und Heiserkeit.

Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten finden sich im Anhang.

5. Diskussion

5.1. Probanden

Mundlippenschwingungen bei Blechbläsern wurden in diversen Studien von 1942 bis 2015 mit n = 1 bis n = 42 untersucht [17]-[19],[25],[27],[31],[32],[36]-[41],[105]-[131]. Von 1989 bis 2006 wurden etliche Arbeiten zur Funktion des Vokaltraktes bei Blechbläsern mit n = 1 bis n = 22 publiziert [7],[43],[132]-[137]. In der vorliegenden Studie konnten diese beiden Aspekte des Blechblasinstrumentenspiels (Mundlippenschwingungen einerseits, Stimme und Larynx andererseits) erstmals an einem größeren Blechbläserkollektiv (n = 50) kombiniert betrachtet werden.

In der Literatur wurden außer den in der vorliegenden Studie berücksichtigten Blechblasinstrumenten (Trompete, Posaune, Waldhorn, Tuba) das Euphonium [7], das Kornett [17] und das Tenorhorn [132] in die Arbeiten einbezogen. Außer Blechblasinstrumenten mit Kessel- oder Trichtermundstücken aus Metall, welche typischerweise in klassischen Orchestern zum Einsatz kommen, gibt es weitere Instrumente, die zwar zu den Blechblasinstrumenten zählen (u.a. Alphorn, Serpent und Didjeridu), aber in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt wurden, da sie in klassischen westeuropäischen Konzerten oder Opern nicht vorkommen. In drei Publikationen wurde nicht zwischen den einzelnen Instrumenten unterschieden [43],[131],[137]. In die vorliegende Studie wurden verschiedene Blechblasinstrumente einbezogen, da durch den gleichen Tonerzeugungsmechanismus (vgl. Kapitel 1.2) die Ergebnisse der Untersuchungen für alle Blechblasinstrumente vergleichbar sind.

In diversen Studien zu Mundlippenschwingungen bzw. zur Funktion des Vokaltrakts bei Blechbläsern wurden Berufsmusiker [36]-[39],[43],[116],[126],[129],[133],[134],[136],[137], Musikstudenten [126],[130], fortgeschrittene oder semiprofessionelle Spieler [43],[117],[122],[123],[128],[132]-[134] und Laien bzw. Musikschüler [31],[32],[36]-[39],[43],[121],[122],[127],[129],[130],[132]-[134] berücksichtigt. Andere Studien teilten nicht nach Ausbildungsgrad ein [7],[17],[18],[27],[106]-[114],[118],[119],[125],[131],[135].

In den Arbeiten, die das Geschlecht der Blechbläser angaben, überwog das männliche Geschlecht [27],[36],[116],[121],[126],[132],[135]-[137]. Wenn man diese Studien ge-

meinsam auswertet, kommt man bei einer Gesamtprobandenzahl von n = 43 auf n = 33 männliche Probanden (76,7 %). Auch in der vorliegenden Studie waren die Probanden mehrheitlich männlich (n = 43, 86,0%). Dies entspricht der Realität in Berufsorchestern: Dort werden Blechblasinstrumente traditionell eher von Männern gespielt [138]. Himmelbauer gibt für Berufsorchester den mittleren Frauenanteil für Tuba mit 0%, für Posaune mit 0,74%, für Trompete mit 1,32% und für Waldhorn mit 10,39% an [138]. In der vorliegenden Studie lag der Frauenanteil bei 0% für Tuba und Posaune, bei 9,52% für Trompete und bei 45,45% für Waldhörner. Aufgrund der ungleichen Geschlechterverteilung (vgl. Kapitel 4.1.1) wurde nicht geschlechtsspezifisch ausgewertet.

In einer 1988 von Fishbein et al. durchgeführten Studie fanden sich bei 76% aller Orchestermusiker medizinische Probleme, welche die Spielfähigkeit einschränkten [139]. Eine vergleichbare Prävalenz konnte auch in der vorliegenden Studie festgestellt werden: Hier gaben 37 von 50 Blechbläsern (74%) an, unter Ansatzproblemen gelitten zu haben oder noch daran zu leiden. Ähnlich wie bei Altenmüller & Jabusch (Anteil von Männern mit Musikerdystonie = 81% [61]), waren auch in der vorliegenden Studie männliche Blechbläser mit schwerwiegenden Ansatzproblemen deutlich häufiger vertreten als weibliche (von zehn Probanden mit schwerwiegender Ansatzdystonie waren acht Probanden männlich und zwei Probanden weiblich). Allerdings muss hier die ungleiche Geschlechterverteilung im Gesamtprobandenkollektiv berücksichtigt werden.

Böckelmann & Schneyer berichteten, dass etwa 13% aller Berufsmusiker im Laufe ihres Arbeitslebens von einer Berufsunfähigkeit betroffen sind [86].

Eine anerkannte Berufsunfähigkeit aufgrund einer Ansatzdystonie (gemäß BK-Nr. 2106 der Berufskrankheitenverordnungsliste [89]) resultierte in der vorliegenden Studie bei 3 von 23 Berufsmusikern (=13,0%). Frucht beobachtete, dass bei berufsunfähigen Patienten die manifeste Ansatzdystonie etwa drei Jahre nach Symptombeginn zu einer Berufsunfähigkeit führte [63]. Berufsunfähigkeit aufgrund einer fokalen Dystonie wird bei etwa 25-50% aller an Musikerdystonie erkrankten Berufsmusiker attestiert [88].

Eine medikamentöse Behandlung der Ansatzdystonie erfolgte zum Studienzeitpunkt bei drei Probanden mit Trihexyphenidyl und bei einem Probanden zusätzlich mit Injektionen von Botulinumtoxin in die periorale Ansatzmuskulatur (vgl. Kapitel 4.1.4).

Die medikamentöse Therapie mit Trihexyphenidyl kann sowohl als Monotherapie, als auch in Kombination mit Retraining-Verfahren oder Botulinumtoxin erfolgen [61]. Für die Behandlung der Ansatzdystonie erscheint eine Monotherapie mit Botulinumtoxin nicht geeignet [61]. Frucht erzielte mit Botulinumtoxin-Injektionen und Retraining-Verfahren nur geringe therapeutische Erfolge, die orale Therapie mit Anticholinergika und Baclofen war nicht wirksam [63]. Altenmüller & Jabusch berichteten von einer langfristigen Besserung der Beschwerden bei einem Drittel der Patienten unter Behandlung mit Trihexyphenidyl, einzelne Patienten profitierten jedoch von zusätzlichen Botulinumtoxin-Injektionen [61].

5.2. Visualisierung von Mundlippenschwingungen bei Blechbläsern

Die in diesem Kapitel vorgestellten statischen und dynamischen Untersuchungsmethoden sind allesamt nicht-invasiv und daher beliebig oft wiederholbar (z.B. für Verlaufskontrollen).

5.2.1. Historischer Überblick

Panconcelli-Calzia experimentierte 1928 mit der Darstellung menschlicher Mundlippen. Dazu wählte er allerdings keine Blechbläserlippen, sondern spannte seine eigenen Lippen an, blies ohne Mundstück, Visualizer oder sonstige Hilfsmittel hindurch und versetzte sie so in Schwingungen. Die schwingenden Mundlippen beobachtete er stroboskopisch (Scheibenstroboskop) und mit „Zeitlupenaufnahmen“ (240 Bilder/Sekunde) [140].

Um das Schwingungsverhalten von Blechbläserlippen einschätzen zu können, sind spezielle Untersuchungstechniken nötig: Martin betrachtete bereits 1942 die Mundlippenschwingungen eines Kornett-Spielers stroboskopisch [17]. Dabei benutzte er spezielle Plexiglas-Mundstücke (vgl. Kapitel 5.2.2, Unterkapitel „Durchsichtige Mundstücke“), die ein seitliches Ansetzen des Instrumentes erlauben. Copley & Strong [116] verwendeten 1996 erstmals angebohrte Mundstücke zur stroboskopischen Darstellung der Mundlippen (vgl. Kapitel 5.2.2, Unterkapitel „Angebohrte Metallmundstücke“).

Šram & Švec zeichneten schwingende Blechbläserlippen videokymographisch auf [19]. Sie betrachteten Tonleitern sowie „Crescendo-“ und „Decrescendo-Manöver“ bei einem Posaunisten. Weitere Literaturquellen zur Untersuchung von Mundlippenschwingungen

mittels Videokymographie bei klassischen Blechblasinstrumenten mit Kessel- oder Trichtermundstück aus Metall sind der Autorin nicht bekannt.

High-speed-Aufnahmen von schwingenden Blechbläserlippen wurden seit 1995 mehrfach ausgeführt [18],[117]-[119],[122]-[125],[127]-[129]. Vor- und Nachteile von High-speed-Aufnahmen und Kymographie werden im Kapitel 5.2.2, Unterkapitel „Kymographie vs. High-Speed-Technik“ verglichen.

Eine chronologische Literaturübersicht zu Studien des stroboskopischen bzw. kymographischen Schwingungsverhaltens der Mundlippen bei Blechbläsern liefert Tabelle 26. Auch hier sind nur klassische Blechblasinstrumente berücksichtigt.

Autor(en)	Jahr	n	Instrumente	Mundstücke	Technik	Ausbildungsgrad	Literatur-quelle(n)
Martin	1942	k. A.	Kornett	Messingring mit Plexiglasfenster	Stroboskopie	k. A.	[17]
Weast	1963	42	Trompete, Posaune, Waldhorn, Tuba	kubisches Plexiglasmundstück	Stroboskopie	k. A.	[105]
Leno	1971/1974	4	Posaune	transparente Mundstücke, k. A. zum Material	Stroboskopie	Berufsmusiker, Laien	[36],[38]
Šram et al.	1977-2000	1-5	Trompete, Posaune, Waldhorn, Tuba	gefensterte Metallmundstücke mit Glasplättchen, Visualizer	Kymographie, Stroboskopie	k. A.	[19], [106]-[114]
Gokhshtein	1981	k. A.	Waldhorn	transparente Mundstücke, k. A. zum Material	Stroboskopie	k. A.	[115]
Bertsch	1995/2002	k. A.	Trompete	angebohrtes Metallmundstück, Plexiglasmundstück	High-speed, Stroboskopie	k. A.	[118], [119]
Copley & Strong	1996	1	Posaune	angebohrte Metallmundstücke	Stroboskopie	Berufsmusiker	[116]
Ayers & Lodin	2000	k. A.	k. A.	Metallmundstück mit Plexiglasfenster	Stroboskopie	k. A.	[120]
Zumegen et al.	2002	1	Posaune	Metallmundstück	Stroboskopie	Laie	[121]
Yoshikawa & Muto	2001/2003	5	Waldhorn	Plexiglasmundstück	Stroboskopie	Laien	[31],[32]
Mc Laughlin	2005	k. A.	Posaune	Metallmundstück mit Plexiglasfenster	Stroboskopie	k. A.	[27]

Rosset i Llobet	2005	k. A.	mutmaßlich Trompete	k. A.	Stroboskopie	k. A.	[131]
Peham	2005	10	Waldhorn	Plexiglasmundstücke	Stroboskopie	Berufsmusiker, Musikstudenten	[126]
Mauersberger	2010	50	Trompete, Posaune, Waldhorn, Tuba	Metallmundstücke	Kymographie, Stroboskopie	Berufsmusiker, Musikstudenten, Laien	

Tabelle 26: Studien zur stroboskopischen bzw. kymographischen Untersuchung von Mundlippenschwingungen bei Blechbläsern

5.2.2. Eigene Methodik im Kontext der Literatur

Angebohrte Metallmundstücke

Angebohrte Metallmundstücke mit eingeführtem, fest fixiertem Endoskop wurden sowohl von Copley & Strong [116], als auch von Bertsch [118],[119] beschrieben. Die Arbeit von Copley & Strong ist am ehesten mit der vorliegenden Studie vergleichbar, weil die Stroboskopietechnik angewendet wurde [116].

Copley & Strong benutzten 1996 zwei identische Posaunenmundstücke mit jeweils verschiedener Bohrlochposition, um die schwingenden Mundlippen stroboskopisch aufzuzeichnen. (vgl. [116], Fig. 1). Hiermit konnten die Mundlippenschwingungen sowohl in Frontalansicht, als auch in Sagittalansicht dokumentiert werden. Die beiden Ebenen wurden nacheinander untersucht; simultane Aufnahmen der Frontal- und Sagittalebene waren nicht möglich. Die methodischen Unterschiede zur vorliegenden Studie fasst Tabelle 27 zusammen.

Studie Copley & Strong [116]	Studie Mauersberger
zwei identische Mundstücke mit jeweils unterschiedlicher Bohrlochposition	zwölf verschiedene Mundstücke mit jeweils gleicher Bohrlochposition
zweidimensionale Darstellung der Mundlippenschwingungen	eindimensionale Darstellung der Mundlippenschwingungen
Stroboskopie	Stroboskopie, Kymographie
n = 1	n = 50
Posaune	Trompete, Posaune, Waldhorn, Tuba

Tabelle 27: Methodische Unterschiede Studie Copley & Strong vs. Studie Mauersberger

Weitere Informationen zur Studie von Bertsch, der die Mundlippenschwingungen in High-speed-Technik betrachtete, finden sich im Kapitel 5.2.2, Unterkapitel „Kymographie vs. High-speed-Technik“.

Ein ähnliches angebohrtes Mundstück, jedoch mit einem ins Mundstück eingeführten Mikrofon, wurde von Fréour & Scavone während des Spielens auf Posaunen für Messungen der Schalldruckpegel im Mundstück verwendet [130].

Durchsichtige Mundstücke vs. angebohrte Metallmundstücke

Nach Kenntnisstand der Autorin war Martin der Erste, der sich mit der stroboskopischen Untersuchung von Blechbläserlippen befasste [17]. Er untersuchte die Mundlippenschwingungen mit einem zweifach gefensterten Plexiglasmundstück und benutzte ein „Zwei-Kamera-System“, mit welchem er die Mundlippenschwingungen in zwei Ebenen simultan aufzeichnen konnte [17].

Durchsichtige Mundstücke (Abb. 99 b) wurden danach sowohl für stroboskopische als auch für High-speed-Aufnahmen der schwingenden Mundlippen beim Spielen klassischer Blechblasinstrumente mehrfach beschrieben [31],[32],[36]-[39],[105]-[115], [117]-[120],[122]-[129].

Abb. 99: a) ein 44-jähriger Trompeter (Berufsmusiker, P.-Nr. 38) spielt mit Plexiglasmundstück und seitlich angesetztem Instrument b) Detailaufnahme während der Lippenstroboskopie mit Methode A (vgl. Kapitel 2.1)

Bei durchsichtigen Plexiglasmundstücken ohne feste Kopplung von Endoskop und Kamera an Mundstück und Instrument wird die Kamera manuell geführt (Abb. 99 a). Nachteil dieser Untersuchungstechnik mit nicht fixierter Kamera sind Bewegungsartefakte, wie z.B. Verwackeln des Bildes bei Bewegungen des Probanden. Solche Bewegungsartefakte wurden von Yoshikawa & Muto beschrieben [32]: Sie berichteten über Probleme schon bei geringfügigen Bewegungen der Blechbläser. Daraus ergab sich die Notwendigkeit häufiger Korrekturen und Adjustierungen ihres Aufzeichnungssystems [32]. In der vorliegenden Studie konnten Bewegungsartefakte durch eine feste Kopplung von Endoskop und Kamera mit angebohrtem Metallmundstück und Instrument vermieden werden.

Spezielle transparente Mundstücke für Frontalaufnahmen haben den Nachteil, dass ein reales Spielen durch den seitlichen Ansatz des Instrumentes (Abb. 99 a) nicht möglich ist. Gegenüber derartigen Plexiglasmundstücken haben angebohrte Metallmundstücke den Vorteil, dass das Instrument wie gewohnt frontal angesetzt und gespielt werden kann.

Bei Aufnahmen in zwei Ebenen wurden die schwingenden Mundlippen frontal und sagittal beobachtet [17],[31],[32],[36]-[39]. Damsté untersuchte die schwingenden Mundlippen eines Posaunisten ebenfalls in der Frontal- und Sagittalebene, machte aber keinerlei Angaben zu verwendetem Mundstück und Untersuchungssetting [18]. Von Leno wurden dabei, um optische Verzerrungen zu vermeiden, jeweils unterschiedlich angeschliffene transparente Mundstücke (k. A. zum Material) benutzt [36]-[39]. Die Aufnahmetechnik in zwei Ebenen ermöglicht eine dreidimensionale Rekonstruktion der Lippenschwingungen [32], verlängert aber die Untersuchungsdauer erheblich. Mit angebohrten Metallmundstücken sind simultane Aufnahmen in zwei Ebenen nicht möglich, die beiden Ebenen müssen nacheinander untersucht werden [116].

Um eine ungestörte Sicht auf die Mundlippen zu gewährleisten, sollte man bei durchsichtigen Mundstücken stets mit Antibeschlag-Mitteln arbeiten [36],[117],[122],[123], welche jedoch die Abbildungen optisch verzerren können [122],[123].

Bei angebohrten Metallmundstücken werden durch die direkte Sicht auf die Mundlippen, ohne trennende Plexiglasschicht, derartige Verzerrungen vermieden. Um ein Beschlagen des Endoskops durch den Atem der Blechbläser zu verhindern, sollte das angebohrte Metallmundstück vor der Untersuchung leicht erwärmt werden (z.B. durch Eintauchen in warmes Wasser).

Kymographie vs. High-speed-Technik

Sowohl mit angebohrten Metallmundstücken, als auch mit durchsichtigen Plexiglasmundstücken lassen sich die Mundlippen kymographisch und in High-speed-Technik aufnehmen.

Damsté betrachtete bereits 1966 die schwingenden Mundlippen eines Posaunisten mittels High-speed-Technik (3600 bis 6000 Bilder pro Sekunde), machte aber keinerlei Angaben zu verwendetem Mundstück und Untersuchungssetting [18]. Bertsch untersuchte Mundlippenschwingungen beim Trompetespielen endoskopisch mit angebohrten

Metallmundstücken [118],[119]. Dabei verwendete er eine High-speed-Kamera. Er verfolgte diesen Ansatz jedoch nicht weiter, da die Licht- und Wärmeverhältnisse im Inneren des Metallmundstücks zu problematisch waren [119]: „Die […] 300 Watt […] Lichtquelle war zwar heiß genug, um die Lippen des Bläsers zu verbrennen, reichte jedoch nicht für die maximale Aufnahmefrequenz von 1000 Bildern pro Sekunde aus.“ Das Problem der Hitzeentwicklung im Mundstückkessel lässt sich heutzutage bei High-speed-Kameras durch die Verwendung von LCD-Kaltlichtquellen (mit sehr geringer Wärmeabstrahlung) vermeiden [122].

Die Mundlippenkymographie bei Blechbläsern wurde 1999 von Šram & Švec beschrieben [19]. Untersuchungssetting, verwendete Mundstücke und Aufnahmefrequenz der Kamera wurden jedoch nicht weiter erläutert.

Die in der vorliegenden Studie benutzte Kymographie-Technik hat gegenüber den in der Literatur beschriebenen Stroboskopie-Techniken den Vorteil, dass jede einzelne Lippenschwingung entlang einer zuvor festgelegten Linie untersucht werden kann (engl. High-speed line scanning). Im Gegensatz zu High-speed-Aufnahmen [141] ist bei der in der vorliegenden Studie benutzten Kymographie-Technik der Energieverbrauch geringer (nur 180-Watt-Lichtquelle benötigt) und die Abtastrate der Mundlippen höher (7200 Linien pro Sekunde, vgl. Kapitel 4.2). Die Kymographie erlaubt jedoch nur eindimensionale Betrachtungen der Mundlippenschwingungen (eine Linie), wohingegen mittels High-speed zweidimensionale Aufnahmen (eine Ebene) möglich sind.

High-speed-Aufnahmen (mit bis zu 6000 Bildern pro Sekunde) der schwingenden Mundlippen durch ein transparentes Mundstück wurden in der Literatur mehrfach beschrieben [18],[117]-[119],[122]-[125],[127]-[129]. Eine Literaturübersicht der Publikationen zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens der Mundlippen bei Blechbläsern mit High-speed-Technik liefert Tabelle 28.

Autor(en)	Jahr	n	Instrument(e)	Mundstück(e)	untersuchter Parameter	Technik(en)	Ausbildungsgrad	Literatur-quelle(n)
Damsté	1966	1	Posaune	k. A.	beschreibende Phaseneinteilung	High-speed	k. A.	[18]
Bailliet et al.	1995	1	Waldhorn	transparentes Mundstück, Material: Perspex	Fläche der Mundspalte	High-speed	semi-professionell	[117]
Bertsch	1995/ 2002	1	Trompete	angebohrtes Metallmundstück, Plexiglasmundstück	exemplarische Einzelbilder schwingender Mundlippen	High-speed, Stroboskopie	k. A.	[118], [119]
Bromage et al.	2005	mind. 3	Posaune	transparentes Mundstück, Material: Perspex	Fläche der Mundspalte	High-speed	k. A.	[122]
Chick et al.	2005	2	Waldhorn	transparentes Mundstück, Material: Perspex	Fläche der Mundspalte beim Ein- und Ausschwingen der Mundlippen	High-speed	k. A.	[125]
Bromage	2007	mind. 2	Posaune	transparentes Mundstück, Material: Perspex	Fläche der Mundspalte	High-speed	k. A.	[123]
Newton et al.	2008	4	Posaune	transparentes Mundstück, k. A. zum Material	"mechanical response properties of human lips" (Magnitude in dB)	High-speed	semi-professionell	[128]
Stevenson et al.	2009	3	Posaune, Waldhorn	transparentes Mundstück, Material: Perspex	Fläche der Mundspalte bei sehr lautem Spielen	High-speed	Laien	[127]
Bromage et al.	2010	5	Posaune	transparentes Mundstück, Material: Perspex	Fläche der Mundspalte	High-speed	semi-professionell, Laien	[124]
Boutin et al.	2015	10	Posaune	transparentes Mundstück, k. A. zum Material	Fläche der Mundspalte, Impedanzmessungen	High-speed	Laien, Berufsmusiker	[129]

Tabelle 28: High-speed-Studien zum Schwingungsverhalten der Mundlippen beim Spielen klassischer Blechblasinstrumente

Nachteil der High-speed-Technik sind die großen Datenmengen, die selbst bei Schwarz-Weiß-Aufnahmen in kurzer Zeit generiert werden. Die maximale Aufnahmedauer ist deshalb je nach Kameramodell sehr begrenzt (z.B. 5,2 s bei 4200 Bildern/s für das Modell Phantom v411/Vision Research/Wayne, NJ [141]) und kann nur erhöht werden, wenn man eine Festplatte mit großer Speicherkapazität (128-512 GB [141]) anschließt. Zusätzlich wird ein sehr großer Arbeitsspeicher für die Datenverarbeitung benötigt. In der Literatur wurden deshalb nur extrem kurze Schwingungssequenzen der Mundlippen von 0,18 ms untersucht [122],[123],[125].

Aus den oben genannten Gründen sind High-speed-Aufnahmen bislang klinisch nicht etabliert und erschienen der Autorin daher wenig geeignet für Routineuntersuchungen der Mundlippen.

High-speed-Aufnahmen zur Ansatzuntersuchung wurden nicht nur zur Analyse von Mundlippenschwingungen eingesetzt: Frucht et al. nutzten die High-Speed-Technik, um bei zwei Patienten mit Ansatzdystonie einen hochfrequenten Lippentremor (8 Hz) zu diagnostizieren [62].

Weitere Untersuchungstechniken

Stroboskopische und High-Speed-Darstellungen von Mundlippenschwingungen mittels Visualizern und Buzzen wurden mehrfach durchgeführt [36]-[39],[106]-[114],[131]. Diese Methodik entspricht der im Kapitel 2.1 beschriebenen Methode A.

Zumegen et al. führten bei der Mundlippenstroboskopie ein starres 0°-Endoskop durch den Schaft eines Posaunenmundstücks ein [121]. Diese Methode entspricht der im Kapitel 2.1 beschriebenen Methode B.

Auf einem Symposium für Blechbläser wurde von Rietveld & Kersing die transorale retrograde Lippenstroboskopie beschrieben [142]. Eine gedruckte Publikation ist der Autorin nicht bekannt. Bei der in Einzelfällen klinisch eingesetzten Methode wird eine flexible Glasfaseroptik über den Mundwinkel in das Cavum oris eingeführt. Die Fiberglasoptik wird dann in der Mundhöhle um 360° gedreht, sodass die schwingenden Mundlippen von intraoral retrograd stroboskopiert werden können, wenn die Glasfaseroptik mit einem Blitzlichtgenerator verbunden wird.

Diese Methode der „transoralen retrograden flexiblen“ Mundlippenstroboskopie wurde in der vorliegenden Studie als zu belastend für die Blechbläser empfunden, denn das flexible Glasfaserkabel erzeugt in der Mundhöhle ein Reiz- und Fremdkörpergefühl, es stört somit erheblich beim Spielen des Blasinstrumentes. Darüber hinaus ist der Mundschluss niemals komplett, und im Bereich des Mundwinkels entweicht entlang der transoral eingeführten flexiblen Optik Luft während des Blasinstrumentenspiels. Das führt dazu, dass der intraorale Druck nicht gehalten werden kann und die Töne „wegbrechen“ (verkürzte Tonhaltedauer mit Intonationsproblemen). Aus diesen Gründen wird von der Autorin die transorale retrograde Mundlippenstroboskopie mit flexibler Glasfaseroptik lediglich als „Notlösung“ betrachtet, für den Fall, dass keine präparierten Metall- oder Plexiglasmundstücke zur Verfügung stehen.

5.2.3. Eigene Ergebnisse im Kontext der Literatur

Relation von Ober- und Unterlippe

Martin zeigte 1942, dass bei einem Proband mit partiell überlagernder Oberlippe die Unterlippe bei 460 Hz kaum in Schwingungen versetzt wurde, bei 225 Hz aber ähnliche Schwingungsmuster wie die Oberlippe aufwies (Fig. 5 [17]). Henderson vermutete im selben Jahr, dass die Oberlippe die Schwingungsmasse bilden würde, während die Unterlippe die Frequenz kontrolliere [143].

Die von Weast 1963 untersuchten Bläser zeigten mehrheitlich eine prominente Oberlippe. Weast teilte nicht in Upstream- und Downstream-Typ ein. Er beschrieb, dass die Oberlippe hauptsächlich für die Tonproduktion verantwortlich sei und die Unterlippe bei tiefen Tönen passiv mitschwingen würde [105]. Für sogenannte „split-tones“ beschrieb er von der Oberlippenfrequenz unabhängige Schwingungen der Unterlippe [105].

In der vorliegenden Studie konnten exemplarisch bei einem Posaunist „split-tones“ kymographisch dargestellt werden (vgl. Abb. 100). Dabei wurden mehrere Passagen mit zwei Tönen unterschiedlicher Grundfrequenz beobachtet, wobei die beiden Töne in voneinander unabhängiger, rascher Abfolge gespielt wurden. Die Grundfrequenzen der beiden Töne waren sowohl an der Oberlippe als auch an der Unterlippe jeweils gut voneinander zu unterscheiden. Die rasch wechselnden Schwingungsfrequenzen von Ober- und Unterlippe wurden mittels der Software rpSzene® (Version 8.0 [2006-

2010]/RehderPartner GmbH/Hamburg) erfasst, indem synchron zur kymographischen Aufzeichnung der Mundlippenschwingungen das Audiosignal der gespielten Posaunentöne aufgezeichnet wurde.

Abb. 100: um 90° nach links (gegen den Uhrzeigersinn) gedrehte Ausschnittsvergrößerung eines Kymographiebildes. Ein 53-jähriger Posaunist (Berufsmusiker, P.-Nr. 10) spielt „split-tones“: rotes Sternchen: 40 Hz, (E ♭ 1), *mf;* grüne Klammern: 136 Hz, (D ♭ 3), *mf*

In der Abb. 100 wird die Schwingung mit der Frequenz 136 Hz (D ♭ 3) durch eine Amplitude der Frequenz 40 Hz (E ♭ 1) unterbrochen. Anders als bei Weast [105] beschrieben, wechselten Ober- und Unterlippe stets synchron (d.h. ohne relevante Phasendifferenz) die Frequenzen.

Leno erkannte 1971 bei drei von vier Probanden (75%) einen Downstream-Typ als Ansatzkonfiguration [36]. Bei den Bläsern mit Downstream-Typ überlagerte die Oberlippe die Unterlippe partiell. Die Oberlippe der Probanden mit Downstream-Typ zeigte in Frontalansicht eine ausgeprägtere vertikale Schwingung als die Unterlippe. Beide Lippen wiesen die gleiche Schwingungsfrequenz auf. Für eine gute Tonqualität sollte ein kompletter Verschluss der Mundlippen während des Vibrationszyklus stattfinden [36].

Bertsch beschrieb eine Relation von „etwa 50% der Oberlippe und der Unterlippe im Mundstück“ bei seinen exemplarischen Abbildungen von schwingenden Mundlippen [118]. Eine ähnliche Relation bildete McLaughlin ab (Fig. 3 [27]).

Ein „Überhang“ der Ober- über die Unterlippe wurde von den Arbeitsgruppen Bromage et al. sowie Chick et al. in unterschiedlichem Maße bei allen Probanden [122]-[125] gefunden. Verschiedene Abbildungen in der Literatur zeigen ebenfalls mehr Ober- als Unterlippe im Mundstück (ohne genaue Prozentangaben) (Fig. 2[31], Fig. 3[32], Fig. 2 [114], Abb. 2 [119], Abb. 45-54 [126], Fig. 2, 6, 7 [131]).

Auch in der vorliegenden Studie nahm bei der großen Mehrheit der Blechbläser (80%) die Oberlippenhöhe beim Standardton C4 über 50% des vertikalen Durchmessers im Mundstückkessel bzw. -trichter ein und überlagerte somit die Unterlippe partiell bis total (vgl. Kapitel 4.2.1). 98% aller Blechbläser konnten dem Downstream-Typ zugeordnet werden. Lediglich bei einem Blechbläser überlagerte die Unterlippe stets partiell die Oberlippe (Upstream-Typ), da die Unterlippenhöhe über 50% des vertikalen Durchmessers im Mundstückkessel einnahm.

In der vorliegenden Studie wurden stets beide Mundlippen zu Schwingungen angeregt, Unterlippenschwingungen konnten bei allen Blechbläsern nachgewiesen werden (vgl. Kapitel 4.2.1). Die Frequenzen von Ober- und Unterlippenschwingungen waren stets identisch, eine frequenzbestimmende Lippe konnte nicht ausgemacht werden. In vier von fünf ausgemessenen Fällen (vgl. Kapitel 4.2.1) war die Unterlippenamplitude beim Standardton C4 nur halb so groß wie die Oberlippenamplitude.

Die Prager Arbeitsgruppe um Šram beschäftigte sich über mehrere Jahrzehnte mit der Darstellung von Ansatz und Lippenschwingungen beim Spielen auf Blechblasinstrumenten [19],[106]-[114]. Sie berichteten von deutlichen Oberlippenschwingungen und nur sehr eingeschränkten Unterlippenschwingungen [19]. Sie beobachteten außerdem bei einem Posaunist eine Phasendifferenz zwischen Ober- und Unterlippenschwingung während eines Crescendo-Manövers [19]. Bei drei Hornisten fanden sie „stroboskopische Irregularitäten“ („Vorherrschen horizontaler Schwingungsanteile“, „veränderte Randkantenformung“), die bei allen drei Patienten zu „unregelmäßigem, insuffizienten Lippenschluss“ führten [106].

Auch in der vorliegenden Studie konnte in einem Fall kymographisch eine zeitweilige, geringgradige Phasendifferenz zwischen Ober- und Unterlippenschwingungen festgestellt werden, eine Beeinträchtigung der Spielfähigkeit resultierte nicht (vgl. Kapitel 4.2.2, Unterkapitel „Kymographische Phaseneinteilung“). Bei den übrigen Blechbläsern

waren die Ober- und Unterlippenschwingungen ausschließlich phasensynchron. Sämtliche Blechbläser zeigten einen suffizienten Lippenschluss, und die Randkanten waren stets normal geformt.

Einzelbildsequenzen mit Phaseneinteilung

Einzelbildsequenzen von Schwingungszyklen der Mundlippen beim Spielen klassischer Blechblasinstrumente wurden in der Literatur sowohl videostroboskopisch [17],[27],[31],[32],[36],[38],[115],[116],[131] als auch mittels High-speed-Technik [122]-[124],[129] mehrfach beschrieben und abgebildet. Eine Übersicht über diese Einzelbildsequenzen bietet Tabelle 29:

Autor(en)	Jahr	abgebildete Schwingungszyklen	abgebildete Einzelbilder	Einteilung in Winkelgrad	Ansicht	Technik	Literatur-quelle(n)
Martin	1942	1	9	nein	Frontal- und Seitansicht	Stroboskopie	[17]
Leno	1971/1974	2° vollständige, 2^{+} & $1^{\S}$ unvollständige	9° und 10°, 3^{+},$4^{\S}$	nein	Frontal$^{\circ\S}$- und Seitansicht$^{+\S}$	Stroboskopie	[36],[38]*
Gokhshtein	1981	1	8	nein	Frontalansicht	Stroboskopie	[115]
Copley & Strong	1996	1	10	0°-324°; jeweils 36° Phasenverschiebung	Frontalansicht	Stroboskopie	[116]
Yoshikawa & Muto	2001	1	8	nein	Seitansicht	Stroboskopie	[31]*
	2003	2°/2^{+}	4°/8^{+}	nein	Frontal°- und Seitansicht^{+}	Stroboskopie	[32]*
Mc Laughlin	2005	1	12	nein	Frontalansicht	Stroboskopie	[27]
Rosset i Llobet	2005	2 unvollständige	2 x 6	nein	Frontalansicht	Stroboskopie	[131]
Bromage (et al.)	2005-2010	1	14	nein	Frontalansicht	High-speed	[122]-[124]
Mauersberger	2010	1	9	0°-360°; jeweils 45° Phasenverschiebung	Frontalansicht	Stroboskopie	
Boutin et al.	2015	2	2 x 6	nein	Frontalansicht	High-speed	[129]

Tabelle 29: stroboskopisch und mittels High-speed-Technik aufgenommene Einzelbildsequenzen der schwingenden Mundlippen von Blechbläsern; * Leno verwendete in seinen beiden Publikationen [36] und [38] jeweils dieselben Schwingungszyklen. Yoshikawa & Muto bildeten den 2001 [31] publizierten Schwingungszyklus in Seitansicht mit acht Einzelbildern in ihrer Veröffentlichung von 2003 [32] erneut ab.

Martin konnte 1942 neun Einzelbilder in Frontal- und Seitansicht erzeugen, er teilte die Bilder nicht in Winkelgrade ein [17].

Leno zeigte zwei vollständige Schwingungszyklen mit neun bzw. zehn Einzelbildern in Frontalansicht [36],[38]. Zusätzlich stellte er zwei unvollständige Schwingungszyklen mit jeweils drei Bildern in Seitansicht, sowie einen unvollständigen Schwingungszyklus mit vier Bildern in Frontal- und Seitansicht vor. Er teilte nicht in Winkelgrade ein [36],[38].

Copley & Strong gaben auch die Phasen des Schwingungszyklus in Winkelgraden an [116]. Sie zeigten zehn Einzelbilder (entsprechend jeweils 36° Phasenverschiebung) je Schwingungszyklus [116].

Yoshikawa & Muto zeigten von einem [31] bzw. zwei [32] seitlich aufgenommenen Schwingungszyklen jeweils acht repräsentative Einzelbilder. Diese Einzelbilder wurden in willkürlichen, unterschiedlichen Abständen ausgewählt (z.B. das erste, zweite, fünfte und zehnte Bild des Schwingungszyklus) [31],[32]. Außerdem stellten sie zwei frontal aufgenommene Schwingungszyklen (ebenfalls willkürliche, unterschiedliche Abstände) in jeweils vier Einzelbildern vor [32].

Mc Laughlin bildete einen Schwingungszyklus in zwölf Einzelbildern ab, ohne dazu die Winkelgrade anzugeben [27] (mutmaßlich: 360°:12=30°/Einzelbild).

Rosset i Llobet zeigte in je sechs Bildern zwei unvollständige Schwingungszyklen, ebenfalls ohne Angabe von Winkelgraden [131].

Der stroboskopische Schwingungsablauf wurde in der vorliegenden Studie in neun Einzelbildern erfasst, die jeweils 45° phasenverschoben waren. Dabei wurde die Verschlussphase der Mundlippen (0° bzw. 360°) sowohl am Anfang des Schwingungszyklus, als auch am Ende abgebildet. Diese stroboskopischen Einzelbilder wurden dann den verschiedenen Phasen des Schwingungszyklus (Öffnungs-, Schließungs-, Offen- und Verschlussphase) zugeordnet (vgl. Abb. 43, Abb. 50, Abb. 67). Stroboskopisch war eine Darstellung des Mundlippenverschlusses gelegentlich nicht möglich, da die sehr kurze Verschlussphase nicht immer beblitzt wurde (vgl. Abb. 17). Dieselben Phasen konnten in der vorliegenden Studie auch kymographisch identifiziert werden (vgl. Kapitel 4.2.2, Unterkapitel „Kymographische Phaseneinteilung“). Eine identische Phaseneinteilung (Öffnungs-, Schließungs-, Offen- und Verschlussphase) vollzog auch Damsté mittels

High-Speed-Aufnahmen bei einem Posaunisten, ohne die einzelnen Phasen jedoch abzubilden [18]. In weiteren Literaturquellen wurden, im Text oder in Diagrammen, folgende Phasen differenziert: in der frontalen Ansicht Öffnungs- und Schließungsphase [19],[31],[32],[115],[123],[124], zusätzlich eine „mid-cycle"-Phase (entspricht etwa der Offenphase) [124] sowie in der sagittalen bzw. seitlichen Ansicht eine „turning" (entspricht etwa dem Übergang von Öffnungsphase zu Schließungsphase) und „attracting"-Phase (entspricht etwa der terminalen Schließungsphase kurz vor dem Verschluss) [31],[32]. Andere Studien machten keine Angaben zur Benennung der Phasen des Schwingungszyklus [17],[27],[36],[38], [116],[122],[129],[131].

Amplitudenbestimmungen

In der Literatur wurde mehrfach publiziert, dass während des Spielens klassischer Blechblasinstrumente bei niedrigeren Frequenzen eine steigende Amplitudengröße der Mundlippenschwingungen (sowohl in der Frontal- als auch in der Sagittalebene) resultiert und umgekehrt [17],[31],[32],[36],[38],[116],[122]-[125],[129]. Tabelle 30 illustriert die jeweils vorgegebenen Töne.

Autor(en)	Jahr	n	Instru-ment(e)	Tonhöhen	Technik	Amplitudenbestimmung	Literatur-quelle(n)
Martin	1942	k. A.	Kornett	B ♭ 3, F4, B ♭ 4, D5, F5	Stroboskopie	mittels Messung von „lip separation“ (Höhe) und „lip displacement“ (Axialverschiebung)	vgl. Fig. 4 & 5 [17]
Leno	1971	4	Posaune	B ♭ 2, F3, B ♭ 3, F4, B ♭ 4	Stroboskopie	deskriptiv	[36],[38]
Copley & Strong	1995	1	Posaune	B ♭ 2, F3, B ♭ 3, D4, F4, A ♭ 4	Stroboskopie	mittels Messung von „central lip opening“ (Höhe), „horizontal opening“ (Länge) und „lip opening area“ (Öffnungsfläche)	[116]
Yoshikawa & Muto	2003	5	Waldhorn	F2, C3, F3, C4, F4, C5	Stroboskopie	mittels Bestimmung der „lip opening shapes“ (Spline-Funktionen; vgl. Kapitel 5.2.3, Unterkapitel „Kubische Interpolationen“) und einer „side view analysis“ (Bestimmung der Axialverschiebung)	[31], vgl. Fig. 5 [32]
Bromage et al.	2005	mind. 3	Posaune	B ♭ 1, B ♭ 2, F3, F4	High-speed	mittels Messung von „lip opening height“, „lip opening width “ und „open area“	vgl. Fig. 6 & 8-17 [122]
Chick et al.	2005	2	Waldhorn	F2, F3, F4, C5	High-speed	mittels Messung des „open area“	vgl. Fig. 5, 6 & 7 [125]
Bromage	2007	mind. 2	Posaune	B ♭ 1, B ♭ 2, E3, F3, F4	High-speed	mittels Messung von „lip opening height“, „lip opening width “ und „open area“	vgl. Fig. 4.15, 4.16 & 4.18-4.20 [123]

Stevenson et al.	2009	3	Posaune, Waldhorn	F3, B ♭ 3	High-speed	mittels Messung des „open area“	vgl. Fig. 3 & 4 [127]
Bromage et al.	2010	5	Posaune	B ♭ 1, B ♭ 2, F3, D4, F4,	High-speed	mittels Messung von „lip opening height“, „lip opening width “ und „open area“	vgl. Fig. 5-16 [124]
Mauersberger	2010	50	Trompete, Posaune, Waldhorn, Tuba	F2, B ♭ 2, D3, F3, B ♭ 3, D4, F4, B ♭ 4, D5, F5	Kymographie	Amplitudenmessungen	
		12		C4	Stroboskopie	Messung von Höhe und Länge der Mundspalte, sowie Auswertung von Öffnungs- und Schließungsphase mittels kubischer Interpolationen	
Boutin et al.	2015	10	Posaune	B ♭ 2, D3, F3, G3, B ♭ 3, B3, D4	High-speed	mittels Messung der „aperture between the lips“	[129]

Tabelle 30: Studienvergleich zur Bestimmung von Amplituden der Mundlippenschwingungen während des Spielens klassischer Blechblasinstrumente

In der vorliegenden Studie konnten bei vier berücksichtigten Instrumenten (Trompete, Waldhorn, Posaune, Tuba) zehn verschiedene Töne untersucht werden (vgl. Kapitel 3.4). Der aus der Literatur [17],[31],[32],[36],[38],[116],[122]-[125], [129] bekannte negative Zusammenhang zwischen Frequenz und Amplitudengröße konnte nach Kenntnisstand der Autorin erstmals statistisch belegt werden. In den der Autorin bekannten Literaturquellen wurden jeweils nur ein bis zwei Instrumente betrachtet, die Anzahl der analysierten Tonhöhen war daher stets geringer als in der vorliegenden Studie (wo vier verschiedene Instrumente betrachtet wurden).

Martin führte 1942 erstmals Messungen von Mundlippenschwingungen in zwei Ebenen durch: In Frontalansicht bestimmte er den Abstand der beiden Mundlippen zueinander. Als Grundlinie für die Messung legte er die Mundspalte bei geschlossenem Mund fest. Dann maß er die Abweichung der Ober- und Unterlippe von dieser Grundlinie im Schwingungsmaximum. In den sagittalen Aufnahmen betrachtete er die axiale Schwingungskomponente (=Axialverschiebung) beider Mundlippen, das heißt die Schwingungen beider Mundlippen ins Mundstück hinein. Ausgangspukt (Punctum fixum) für die Messungen waren die geschlossenen Mundlippen. Martin zeigte, dass die Amplitude (bestehend aus dem frontal gemessenen Abstand der beiden Mundlippen zueinander und sagittal gemessener Axialverschiebung) kleiner wird, je höher die Frequenz ist [17].

Leno beobachtete (ebenfalls in zwei Ebenen), dass die Fläche der Mundspalte bei niedrigerer Schwingungsfrequenz (tieferen Tönen) oder höherer Lautstärke eine größere Länge (horizontal) und Höhe (vertikal) aufwies. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die kymographisch gemessenen Amplituden bei Trompetern, Posaunisten und Waldhornisten im Fortissimo signifikant größer waren als die Amplituden im Pianissimo: Je lauter der gespielte Ton, desto größer die Oberlippenamplitude und umgekehrt (vgl. Kapitel 4.2.2, Unterkapitel „Amplitudenvergleiche“). Die Höhe, Länge und Fläche der Mundspalte wurde stroboskopisch ausschließlich im Mezzoforte bestimmt, sodass hier keine Aussage über das Schwingungsverhalten bei verschiedenen Lautstärken getroffen werden kann. Leno beschrieb außerdem, dass bei den höchsten Noten die schwingende Masse durch eine „Einwärts-Roll-Bewegung“ der Lippen reduziert werden konnte [36],[38]. „Einwärts-Roll-Bewegungen“ der Mundlippen konnten in der vorliegenden Studie nicht beurteilt werden, da dies nur in sagittaler Ansicht möglich ist und in der vorliegenden Studie die Mundlippen ausschließlich von frontal (ein-

dimensional) betrachtet wurden. Ausmessungen von Amplituden wurden von Leno nicht beschrieben.

Yoshikawa & Muto führten Amplitudenmessungen mit graphischer Auswertung als Spline-Funktionen durch [32] (vgl. Kapitel 5.2.3, Unterkapitel „Kubische Interpolationen“). Außerdem bestimmten sie in den sagittalen Aufnahmen die axiale Schwingungskomponente (=Axialverschiebung) beider Mundlippen, Ausgangspukt (Punctum fixum) für die Messungen waren, wie bei Martin [17], die geschlossenen Mundlippen [32].

Amplitudenmessungen mittels Auswertung des „lip opening area“ [116] bzw. des „open area“ [122]-[125],[127] erfolgten durch die Arbeitsgruppen Copley & Strong [116], Bromage (et al.) [122]-[124], Chick et al. [125] und Stevenson et al. [127]; Boutin et al. bestimmten die „aperture between the lips“ [129]. Die Messergebnisse wurden in Diagrammen („lip opening area“, „open area“ bzw. „aperture between the lips“ als Funktion der Zeit) dargestellt.

Abb. 101 vergleicht die Amplitudenmessungen in der Literatur [17],[31],[32],[116], [122]-[125],[127],[129] mit der Methodik der vorliegenden Studie:

Abb. 101: Schema zur Methode der Amplitudenmessung an einem kymographischen Bild.
Grundlinie blau: Literatur, Grundlinie verbindet die Schwingungsminima
Grundlinie rot: Studie Mauersberger, Grundlinie verbindet die Schwingungsmaxima;
davon ausgehend gemessene Distanz von Ober- zu Unterlippe (blauer Doppelpfeil, Literatur) bzw. gemessene Oberlippenamplitude (roter Pfeil, Studie Mauersberger)

In der Literatur wurde die Grundlinie durch die Kontaktfläche von Ober- und Unterlippe während der Verschlussphase definiert (blaue Linie in Abb. 101); indem die Distanz von Ober- zu Unterlippe im Schwingungsmaximum gemessen wurde (blauer Doppel-

pfeil in Abb. 101), konnten so die Amplituden der schwingenden Mundlippen bestimmt werden [17],[31],[32],[116],[122]-[125],[127],[129]. In der vorliegenden Studie wurde die Grundlinie für die Amplitudenmessungen durch die Schwingungsmaxima gelegt (vgl. Abb. 37, sowie rote Linie in Abb. 101) und die Oberlippenamplituden (roter Pfeil in Abb. 101) wie in Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Messung der Amplituden“ beschrieben, gemessen. Unterlippenamplituden wurden, wie in Kapitel 3.5.1, Unterkapitel „Messung der Amplituden“ beschrieben, bei sechs Probanden bestimmt.

In der vorliegenden Studie konnte aufgrund der größeren Probandenzahl (n = 50; Literatur n = 1 bis n = 10 [17],[31],[32],[36],[38],[116],[122]-[125],[129]) erstmals statistisch belegt werden,

1. dass die Frequenz negativ mit der Amplitudengröße korreliert sowie
2. höhere Lautstärken mit signifikant größeren Amplituden einhergehen und umgekehrt (vgl. Kapitel 4.2.2, Unterkapitel „Amplitudenmessungen“).

Yoshikawa & Muto beobachteten an den Mundlippen der von ihnen untersuchten Anfänger eine laterale Schwingungskomponente (tendenziell dreidimensionales Schwingungsverhalten), welche bei geübteren Laien-Bläsern nicht mehr zu beobachten war (tendenziell zweidimensionales Schwingungsverhalten) [31],[32]. Da die Mundlippen der Blechbläser nur in einer Ebene aufgezeichnet wurden, konnten in der vorliegenden Studie keine lateralen Schwingungsanteile beobachtet werden.

Ein Zusammenhang zwischen Ausbildungsgrad der Blechbläser und Amplitudengrößen wurde nach Kenntnisstand der Autorin bisher nicht publiziert.

In der vorliegenden Studie wiesen Berufsmusiker signifikant kleinere Oberlippenamplituden auf als Musikstudenten; sowohl zwischen Laien und Berufsmusikern, als auch zwischen Laien und Musikstudenten fand sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Oberlippenamplitude (vgl. Kapitel 4.2.2, Unterkapitel „Amplitudenmessungen“). Ob diese Aussagen auch auf Unterlippenamplituden zutreffen, konnte in der vorliegenden Studie nicht beantwortet werden, da die Unterlippenamplituden nur bei sechs Blechbläsern ausgemessen werden konnten (vgl. Kapitel 4.2.1), eine statistische Auswertung war somit nicht möglich. Die Unterschiede zwischen Berufsmusikern und Musikstudenten hinsichtlich der Oberlippenamplituden sind zunächst nicht erklärbar; in zukünftigen Studien sollte deshalb die Auswirkung des Ausbildungsgrades der Blechbläser auf die Mundlippenschwingungsamplituden weiter überprüft werden.

Bei der in der vorliegenden Studie angewendeten Methodik zur Amplitudenmessung gilt es zu berücksichtigen, dass eine gewisse Messunsicherheit besteht. Diese ergibt sich aus dem dreidimensionalen Schwingungsmuster der Mundlippen, welches hier mit einem zweidimensionalen bildgebenden Verfahren analysiert wurde. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde daher eine exemplarische Abschätzung der Fehlerbreite an einzelnen Amplitudenmessungen durchgeführt (vgl. Anhang), aus der sich mit Vorbehalt Rückschlüsse auf die Genauigkeit der Untersuchungsmethode ziehen lassen: Die bei vier Probanden ermittelte Fehlerbreite (vgl. Anhang) lag durchschnittlich bei 12,8% und erschien somit akzeptabel. Eine statistisch exakte Evaluation der kymographischen Messmethode muß in zukünftigen Studien mit mehreren voneinander unabhängigen Ratern durchgeführt werden.

Randkantenverschiebungen

Als Randkantenverschiebungen (engl. „mucosal waves“) werden horizontale Schleimhautwellen, die in vertikaler Richtung am freien Rand der Stimmlippen entlang wandern, bezeichnet [144]. Am freien Rand der Stimmlippen sind sie am besten zu sehen.

Bereits 1928 unterschied Panconcelli-Calzia an den Mundlippen stroboskopisch zwischen einem sog. „Hauptschwingungsmodus“ und zusätzlichen „kleine[n] wellenartige[n] Bewegungen nach vorn und nach den Seiten“ [140].

1998 berichtete Ayers von elliptischen Wellen („wave disturbances“ [30]) auf der Oberlippenoberfläche („soft, passive layer of flesh“), welche er als „Rayleigh waves“ klassifizierte [29]. Yoshikawa & Muto hatten 2001 bzw. 2003 ähnliche Beobachtungen gemacht [31],[32]: sie beschrieben die Schleimhautwellen auf der Oberlippe als „surface waves“ vom Rayleigh-Typ und die Lippenschwingungen als „lip opening motion“. Zumegen et al. gebrauchten im Zusammenhang mit schwingenden Mundlippen eines Posaunisten 2002 erstmals den medizinischen Begriff „Randkantenverschieblichkeit“, welchen sie von „harmonischen Schwingungsamplituden“ unterschieden [121].

Randkantenverschiebungen an den Mundlippen wurden stroboskopisch von McLaughlin [27] und Rosset i Llobet [131] sowie mittels High-speed-Technik von Bromage (et al.) [122]-[124] abgebildet. Bromage (et al.) beschrieben dieses Phänomen als „secondary transverse waves“ [123] bzw. „transverse waves“ [124].

Mc Laughlin beobachtete „wave disturbances“ auf der Oberlippenschleimhaut, welche er von den eigentlichen Mundlippenschwingungen („motion oft the lip reed“) unterschied. Hieraus schlussfolgerte er, dass ein „Zwei-Massen-Modell“ die Oberlippenschwingung am besten beschreiben würde [27].

Rosset i Llobet bezeichnete die Randkantenverschiebungen als „secondary vibration“ oder „double vibration“. Sie seien, so Rosset i Llobet, nur gelegentlich („in some cases“) zu sehen und überlagerten die eigentlichen Lippenschwingungen, welche von Rosset i Llobet als „basic vibration“ oder „single vibration“ bezeichnet wurden. Rosset i Llobet hat Randkantenverschiebungen ausschließlich an der Oberlippe von Blechbläsern beobachten können [131]; in der vorliegenden Studie konnten bei einem Posaunisten auch Randkantenverschiebungen auf der Unterlippe festgestellt werden (vgl. Abb. 78b).

Einen Überblick zur unterschiedlichen Nomenklatur dieser „body-cover-Modelle“ der schwingenden Mundlippen bietet Tabelle 31:

Autor(en)	Jahr	Schwingungen des Corpus (muskuläre Unterlage)	Randkantenverschiebungen (mucosal waves)	Untersuchungs-technik	Literatur-quelle(n)
Panconcelli-Calzia	1928	Hauptschwingungsmodus	kleine wellenartige Bewegungen nach vorn und nach den Seiten	Stroboskopie	[140]
Ayers	1998/2001	muscle	Rayleigh waves oder „wave disturbances“ auf der Oberlippenoberfläche („soft, passive layer of flesh“)	Stroboskopie	[29],[30]
Yoshikawa & Muto	2001/2003	lip opening motion	Rayleigh-type surface-waves	Stroboskopie	[31],[32]
Zumegen et al.	2002	harmonische Schwingungsamplituden	Randkantenverschieblichkeit	Stroboskopie	[121]
Rosset i Llobet	2005	basic/single vibration	secondary/double vibration vgl. Fig. 3	Stroboskopie	[131]
Mc Laughlin	2005	motion of the lip reed	wave disturbances on the surface of the upper lip (= auf der Oberlippenschleimhaut) vgl. Fig. 3	Stroboskopie	[27]
Bromage (et al.)	2005-2010	lip motion	(secondary) transverse waves vgl. Fig. 4*, Fig. 4.3#, Fig. 3+	High-speed	*[122] #[123] +[124]
Mauersberger	2010	muskuläre Unterlage (Corpus)	Randkantenverschiebungen (Schleimhautwellen)	Stroboskopie	

Tabelle 31: "body-cover"-Modelle der schwingenden Mundlippen

Trotz uneinheitlicher Nomenklatur (vgl. Tabelle 31) lässt sich somit konstatieren: Bei den untersuchten Probanden konnte beobachtet werden, dass das Schwingungsverhalten der Mundlippen ein sehr komplexer dreidimensionaler Bewegungsablauf ist, der aus zwei Teilkomponenten besteht (vgl. Tabelle 31): Einerseits schwingt die muskuläre Unterlage (M. orbicularis oris) bzw. der „Corpus“ der Mundlippen, zusätzlich existieren horizontale Schleimhautwellen, die in vertikaler Richtung die Ober- bzw. Unterlippe entlang wandern. Diese in der vorliegenden Studie und von Zumegen et al. [121] sogenannten „Randkantenverschiebungen“ überlagern die eigentlichen Schwingungen des muskulären Lippencorpus. Analog zu den Stimmlippen existiert somit auch für die Mundlippen ein „body-cover“-Model [2],[3]; vgl. Tabelle 31: Auf einer muskulären schwingenden Unterlage (M. orbicularis oris) bewegen sich horizontale Schleimhautwellen („mucosal waves“) in vertikaler Richtung, und zwar an der Oberlippe von unten nach oben und an der Unterlippe von oben nach unten.

Der aus der Physik bekannte Begriff der „Rayleigh waves“ [29],[31],[32] ist an den Mundlippen vermutlich äquivalent zu den „mucosal waves“ (Randkantenverschiebungen) aus der medizinischen Literatur [144]. Eine Publikation, welche beide Begriffe kombiniert verwendet, ist der Autorin nicht bekannt. Bei fehlenden diesbezüglichen Literaturangaben wird mutmaßlich aus physikalischer und medizinischer Sicht das gleiche Phänomen beschrieben (vgl. diesbezüglich auch Kapitel 1.2).

Analysen der Mundspalte

Höhen- und Längenmessungen der Mundspalte im Zeitverlauf [122]-[124], sowie Messungen der Fläche der Mundspalte im Zeitverlauf [17],[122]-[124],[127],[129], mit transparenten Mundstücken wurden in der Literatur mehrfach beschrieben. Transparente Mundstücke ohne feste Ankopplung der Kamera haben den Vorteil, dass die Mundspalte auch dann im 90°-Winkel aufgenommen werden kann, wenn bei Frequenz- und Lautstärkeänderungen die Oberlippe die Unterlippe in unterschiedlichem Maße überlagert.

In der vorliegenden Studie erwies sich die Einsehbarkeit der Mundspalte (vgl. Kapitel 3.5.2, Unterkapitel „Stroboskopische Analysen der Mundspalte“) als Limitierung der Methode: Bei Verwendung von angebohrten, fest an Endoskop und Kamera gekoppelten Mundstücken war die Mundspalte bei partiellen Überlagerungen der Mundlippen von frontal nicht optimal einsehbar. Deshalb konnte in der vorliegenden Studie nur die

endoskopische Aufsichtsfläche der Mundspalte gemessen werden, nicht jedoch die reale Fläche der Mundspalte. Bei (sub)totaler Überlagerung der Mundlippen konnten die stroboskopischen Schwingungszyklen hinsichtlich der Fläche der Mundspalte gar nicht ausgewertet werden.

Ähnlich wie in der vorliegenden Studie (vgl. Kapitel 3.5.2, Unterkapitel „Stroboskopische Analysen der Mundspalte“), bildete auch Bromage die Länge der Mundspalte im Zeitverlauf als plateauförmige Kurven und die Höhe der Mundspalte im Zeitverlauf als eher sinuskurvenförmig mit einem erkennbaren Gipfel ab (vgl. Fig. 6, [122], Fig. 4.14-4.16, 4.18, 4.35-4.37, A.2, A.4 [123] sowie Fig. 5, 6, 13 und 16 [124]).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind nicht direkt mit denen von Bromage vergleichbar, da in der vorliegenden Studie die Höhe und Länge der Mundspalte im Zeitverlauf (vgl. Kapitel 3.5.2, Unterkapitel „Stroboskopische Analysen der Mundspalte“) gemessen wurde, bei Bromage jedoch außerdem die „open area of the […] lips“. Unterschiedliche Kurvenverläufe (plateauförmig vs. gipflig) lassen sich durch die Schwingungsmodi der Lippen erklären, die überwiegend zweidimensional nach oben/unten in der Forntalebene und nach vorn/hinten in der Sagittalebene schwingen [23],[26]. Die „plateauförmigen Kurven“ der Länge der Mundspalte könnten somit als Hinweis auf ein überwiegend zweidimensionales Schwingungsverhalten (frontale und sagittale Ebene) der Mundlippen interpretiert werden.

Yoshikawa & Muto beschrieben „laterale“ Schwingungsanteile der Mundlippen bei zwei Anfängern, die bei fortgeschrittenen Blechbläsern nicht vorhanden waren [32]. Sie vermuteten daher, dass bei fortgeschrittenem Ausbildungsgrad die laterale Schwingungskomponente abnimmt. In der vorliegenden Studie konnte eine „gipflige Kurve“ der Länge der Mundspalte, welche auf eine laterale Schwingungskomponente hinweist, bei einem Berufstrompeter gefunden werden. Eindeutige Rückschlüsse auf den Ausbildungsgrad lassen sich aufgrund einer so geringen Probandenzahl jedoch nicht ziehen.

Copley & Strong bestimmten die „lip-opening area“ eines Posaunisten im Verlauf des Schwingungszyklus [116]. Diese Fläche entspricht dem in der vorliegenden Studie verwendeten Begriff der „Fläche der Mundspalte“. Dabei fanden sie eine größere Fläche der Mundspalte, je lauter und tiefer der Ton gespielt wurde. Da in der vorliegenden Studie nur ein Ton (Standardton C4) in einer Lautstärke (Mezzoforte) im Schwingungsma-

ximum (nur ein Untersuchungszeitpunkt, kein Zeitverlauf) untersucht wurde, konnte diese Korrelation nicht überprüft werden.

Copley & Strong errechneten beim Ton D4 (297 Hz, Forte; Messwerttabelle S. 1225, [116]) beispielsweise eine maximale Fläche der Mundspalte von 27 mm^2. In der vorliegenden Studie zeigten sich beim Standardton C4 (ca. 262 Hz) im Mezzoforte Werte von 8-30 mm^2 beim Ausmessen der Fläche der Mundspalte (vgl. Kapitel 4.2.3, Unterkapitel „Schwingungsanalysen der Mundlippen“). Aufgrund der unterschiedlichen Tonhöhen und Lautstärken sind die Werte jedoch nur bedingt vergleichbar.

Außerdem verglichen Copley & Strong das Schwingungsverhalten der Mundlippen eines Posaunisten bei sechs verschiedenen Tonhöhen in jeweils zwei Lautstärken [116]. In der Frontalansicht wurden sowohl die vertikale Höhe und horizontale Länge der Mundspalte, als auch die Fläche der Mundspalte analysiert; in der sagittalen Ansicht wurden die Trajektorien des vorderen Lippenrandes bestimmt [116]. In der vorliegenden Arbeit wurden keine Trajektorien ermittelt, weil dafür eine zweite Ebene notwendig gewesen wäre.

Die der Autorin bekannten Publikationen differenzieren weder bei Verwendung von Plexiglasmundstücken [17],[32],[122]-[125],[127],[129] noch bei Verwendung von angebohrten Metallmundstücken [116] zwischen realer Fläche und endoskopischer Aufsichtsfläche der Mundspalte (vgl. Kapitel 3.5.2, Unterkapitel „Stroboskopische Analysen der Mundspalte“).

Kubische Interpolationen

Spline Funktionen wurden bereits von Yoshikawa & Muto zur Veranschaulichung von Mundlippenschwingungen benutzt [32]. Sie untersuchten bei fünf Waldhornisten die Schließungsphase, jeweils bei drei verschiedenen Tönen (F2, F3, und F4) im Mezzoforte. Dazu wurde die Höhe der Mundspalte an fünf äquidistanten Punkten (Fig. 4, [32]) ausgemessen. Die Schließungsphase der Lippenschwingung wurde amplitudenabhängig in vier bis sieben einzelnen Kurven dargestellt, ohne dabei in Winkelgrade einzuteilen. Weitere Details über die Messmethode finden sich in der Veröffentlichung von Yoshikawa & Muto [32].

In der vorliegenden Studie wurde die Höhe der Mundspalte an sieben äquidistanten Punkten gemessen. Der gesamte Schwingungszyklus (d.h. Öffnungs- und Schließungs-

phase) wurde in Winkelgrade eingeteilt, und alle 45° (d.h. bei 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°) wurde ein Bild mit sieben äquidistanten Messpunkten ausgewertet (vgl. Kapitel 3.5.2, Unterkapitel „Kubische Interpolationen“). Somit ergaben sich pro Schwingungszyklus zuzüglich zur 0°-/360°-Linie insgesamt sieben einzelne Kurven (entsprechend 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°), jede mit sieben äquidistanten Messpunkten.

Tabelle 32 fasst die methodischen Unterschiede der beiden Studien (Yoshikawa & Muto vs. Mauersberger) zusammen:

Studie Yoshikawa & Muto [32]	Studie Mauersberger
Auswertung der Schließungsphase	Auswertung von Öffnungs- und Schließungsphase
willkürliche Messzeitpunkte	Messzeitpunkte bei definierten Winkelgraden/ zu definierten Phasen
pro Diagramm vier bis sieben Kurven mit jeweils fünf äquidistanten Messpunkten	pro Diagramm sieben Kurven mit jeweils sieben äquidistanten Messpunkten
Aufnahmen in zwei Ebenen (Frontal- und Seitansicht)	Aufnahmen in einer Ebene (Frontalansicht)
n = 5	n = 12
Waldhorn	Trompete, Posaune, Waldhorn, Tuba
F2, F3 und F4 im Mezzoforte	C4 im Mezzoforte

Tabelle 32: Methodische Unterschiede Studie Yoshikawa & Muto vs. Studie Mauersberger

Die unterschiedlichen Konfigurationen der Kurvenverläufe (vgl. Anhang) können mutmaßlich durch mehrere Faktoren zustande kommen:

- individuelle Anatomie der Mundlippen bei jedem einzelnen Probanden
- unterschiedliche Konfiguration der Mundstücke
- unterschiedlicher Ausbildungsgrad der Blechbläser
- unterschiedlicher intraoraler Anblasedruck
- unterschiedliche Lippenspannung

- unterschiedliche Schwingungsmodi (bedingt durch eine Kombination aus mehreren der genannten Faktoren).

Hierbei handelt es sich jedoch um Vermutungen, die bislang noch nicht mit Literatur belegt werden können und in zukünftigen Studien weiter abgeklärt werden sollten. Alle genannten Faktoren sind wesentlich für die Tonerzeugung und variieren intraindividuell.

Bei zwei Probanden zeigte sich in der graphischen Darstellung der kubischen Funktion eine muldenförmige Einkerbung durch eine funktionelle Schleimhautausziehung (vgl. Abb. 82 und Abb. 84, sowie Kapitel 4.2.3, Unterkapitel „Kubische Interpolationen"). Diese Einkerbung konnte sowohl bei dem Tubisten, als auch bei der Waldhornistin in der Öffnungsphase beobachtet werden, beim Tubisten zusätzlich am Beginn der Schließungsphase.

Bei einem Posaunisten (P.-Nr. 50) konnte für die funktionelle Schleimhautausziehung (vgl. Kapitel 4.2.3, Unterkapitel „Funktionelle Auswertung der stroboskopischen Videobilder") keine muldenförmige Einkerbung als Korrelat in der kubischen Funktion gefunden werden (vgl. Kapitel 4.2.3, Unterkapitel „Kubische Interpolationen") - mutmaßlich, weil die Schleimhautausziehung zu klein war, deshalb zwischen zwei Messpunkten lag und somit nicht von den Messpunkten erfasst wurde. Um Schleimhautausziehungen in den kubischen Funktionen abzubilden, müssen diese entweder ausreichend groß sein, um von zwei Messpunkten erfasst zu werden, oder sie werden zufällig erfasst, indem sie genau auf einem Messpunkt liegen.

Bei drei Probanden mit funktionellen Schleimhautausziehungen (P.-Nr. 15, 17 und 44) konnten die im Kapitel 3.5.2, Unterkapitel „Stroboskopische Analysen der Mundspalte" beschriebenen Auswertungsmethoden (Fläche, Höhe und Länge der Mundspalte, sowie Kubische Interpolationen) nicht durchgeführt werden, da sich Ober- und Unterlippe zu stark überlagerten und die Mundspalte nicht ausreichend gut eingesehen werden konnte (vgl. Abb. 47 b).

Morphologische Befunde der Mundlippen

Die in der vorliegenden Studie beobachteten, annähernd halbkugeligen, breitbasigen, funktionellen Schleimhautausziehungen am freien Rand der Oberlippe (vgl. Kapitel 4.2.3, Unterkapitel „Funktionelle Auswertung der stroboskopischen Videobilder"; Abb.

79 - Abb. 84) sind auch in der Literatur beschrieben und abgebildet: Rosset i Llobet bezeichnet sie als „little piece of mucous tissue“ bzw. als „folding mucosa“ [131]. Bromage bildet derartige Schleimhautausziehungen ab, ohne sie näher zu beschreiben (vgl. Fig. B.1 [123]). Schlenger beobachtete eine solche „zipfelartige“ mediane Ausziehung der Oberlippe bereits 1935 bei einem Hornisten. Sie persistierte, auch als dieser nicht spielte [145]. An den Stimmlippen können sich solche funktionellen Schleimhautausziehungen, wenn sie „lange Zeit unverändert bestehen bleiben“, zu persistierenden „harten Phonationsverdickungen“ bzw. „Schreiknötchen“ umwandeln [146].

In der vorliegenden Studie wurden derartige Schleimhautausziehungen ausschließlich an der Oberlippe und ausschließlich bei schwingenden Mundlippen beobachtet (vgl. Kapitel 4.2.3, Unterkapitel „Funktionelle Auswertung der stroboskopischen Videobilder“). Wenn die Probanden nicht spielten, wiesen die Mundlippen aufgrund des fehlenden Bernoulli-Soges keinerlei Schleimhautausziehungen auf. Die Schleimhautausziehungen konnten ausschließlich stroboskopisch dargestellt werden, da kymographisch nur eine Linie untersucht wurde und deshalb Schleimhautausziehungen nicht abzugrenzen waren.

Der Zahnarzt Reichenbach berichtete bereits 1924, dass es durch den Anpressdruck des Mundstückes zu einem „den Größenverhältnissen des jeweiligen Mundstückes entsprechenden Bezirk an der Innenseite der Ober- und Unterlippe“ komme, welcher bei allen Blechbläsern (100%) „in chronischer Weise verändert“ sei [64]; zu diesen chronisch veränderten Bezirken zählte er u.a. Zahnabdrücke mit entzündlicher Rötung der Lippenschleimhaut an Ober- und Unterlippe. Als Korrelat an der Lippenaußenseite (durch Druck des Mundstücks gegen die Cutis) beschrieb er halbkreisförmige, am Lippenrot beginnende narbige Vertiefungen der Oberlippe [64], jedoch ohne Nennung von Häufigkeitsangaben. Bei neun Blechbläsern sah er „schwielige Verdickungen der Haut, welche die Ober- bzw. die Unterlippe in ihrer ganzen Dicke durchsetzten“ und welche er als druckbedingte übermäßige Verhornungen (Hyperkeratosen) interpretierte. Exemplarisch (n = 1) zeigte er das Foto eines Dekubitalgeschwüres an der Unterlippe. Die von Reichenbach publizierten Lippenläsionen lagen allesamt mittig an Ober- oder Unterlippe. In der vorliegenden Studie waren die morphologischen Lippenveränderungen siebenmal mittig, dreimal rechts und dreimal links lokalisiert, sodass ebenfalls keine Seite bevorzugt betroffen war. Reichenbach machte keine Angaben zu Anzahl, Ge-

schlecht oder Alter der von ihm untersuchten Blechbläser. Er berichtete, dass seine Patienten Trompete, Waldhorn, Posaune und Bombardon spielten. Ob noch weitere Blechblasinstrumente vertreten waren, erwähnte er nicht [64].

Ernst, ebenfalls ein Zahnmediziner, befasste sich 1939 mit Mund- und Kieferverhältnissen von mindestens 243 Blechbläsern [68]. Er rekrutierte seine Probanden überwiegend in militärischen Musikkorps, daher ist davon auszugehen, dass seine Probanden überwiegend männlichen Geschlechts waren. Zu den von ihm untersuchten Blechblasinstrumenten zählten Trompete, Waldhorn, Tenorhorn, Posaune, Tuba und Baßtuba. Er fand bei 51 Blechbläsern morphologische Alterationen von Ober- und/oder Unterlippen. Zu den häufigen Veränderungen zählte Ernst „chronische Zahnfleischentzündungen“ aufgrund der „mechanischen Reizwirkung“, ohne Angaben zur Seitenlokalisation bzw. ohne Zuordnung zu Ober- oder Unterlippe. „Leichte Verhornungen der Mundstückeindruckstellen“ zeigten sich bei 42 von 198 Trompetern (21,2%) und bei 3 von 45 Baßtubisten (6,7%), ohne Angaben zur Seitenlokalisation bzw. ohne Zuordnung zu Ober- oder Unterlippe. Bei 6 von 198 Trompetern (3,0%) beobachtete er sogar „schwere […] Dekubitalgeschwüre, die zum Teil auch das Lippenrot in Mitleidenschaft gezogen hatten“, ebenfalls ohne Angaben zur Seitenlokalisation bzw. ohne Zuordnung zu Ober- oder Unterlippe. Zum Alter der Probanden machte Ernst keine Angaben [68].

In der vorliegenden Studie wurden bei sechs Blechbläsern (12%) narbige Veränderungen an der Oberlippeninnenseite, wo der Mundstückrand die Lippe gegen die Zähne presst, beobachtet (vgl. Kapitel 4.2.4). Bei einem 17-jährigen Trompeter waren an dieser Stelle dentale Impressionen sichtbar, welche als Vorstufe für Vernarbungen gewertet wurden (vgl. Abb. 91). Ein 62-jähriger Berufsmusiker zeigte an der Außenseite der Oberlippe, wo der Mundstückrand gegen die Lippe presst, eine irreversible und somit wahrscheinlich narbige Einziehung am Amorbogen (vgl. Abb. 92). Narbige Veränderungen der Unterlippe wurden weder in der vorliegenden Studie, noch bei Reichenbach [64] gesehen. Ernst beschreibt zwar narbige Veränderungen der Mundlippen, jedoch ohne Zuordnung zu Ober- oder Unterlippe [68].

Seidner [65], Bumiller [67], Parma [69] und Landeck [85] berichteten ebenfalls über Lippenläsionen bei Blechbläsern (Schleimhautleukoplakien, Schleimhauteinrisse, rigide „Verdickungen des Gewebes“ im Bereich der Auflagefläche des Mundstückes, Impressionen der Frontzähne bzw. der Zahnkronen im Bereich der intraoralen Schleimhaut,

„Weichteilwunden“ mit „Neigung zu Ekzembildung“, „Wundreiben“ der Lippen und sogar „Schleimhautvarizen“). All diese Publikationen, die zwischen 1933 und 1974 erschienen, sind Einzelfallbeschreibungen.

Durch das Mundstück bedingte Druckläsionen an den Lippen wurden in der Literatur mehrfach abgebildet [64],[75],[76],[81], [85],[147]. Auch Arcier & Vernay beschrieben chronische Veränderungen an der Oberlippe (Schwielen-, Ödembildung, Schwellungen), welche durch den mechanischen Druck, den das Mundstück lokal ausübte, hervorgerufen wurden [72]. Bei einem Trompeter beobachteten Bork et al. eine Kombination aus einer chronisch-irreversiblen Anschwellung und Schwielenbildung der Unterlippe, welche sie auf den „oft und lange Zeit einwirkenden mechanischen Druck“ zurückführten [81]. In der vorliegenden Studie fanden sich bei zwei Blechbläsern Anschwellungen der Oberlippe (vgl. Abb. 94 und Abb. 96) und bei einem Blechbläser eine Schwellung der Unterlippe (vgl. Abb. 95).

Die Ultraschalluntersuchung des M. orbicularis oris bei Blechbläsern wurde u.a. von Arcier & Vernay [72] sowie von Rosset i Llobet [131] beschrieben. Die Sonographie dient der nicht-invasiven, nicht strahlenbelastenden Früherkennung von Läsionen des M. orbicularis oris (z.B. ödematöse Aufquellungen als Vorstufe einer Ruptur) und wird auch zur Diagnostik genetisch bedingter Schäden dieses Muskels bei submukösen Lippenspalten eingesetzt [148]. Die Ultraschalldiagnostik als Untersuchungsmethode der Morphologie hat den Vorteil, dass auch tiefer liegende Läsionen (Ödeme, Schwellungen, Narben) des M. orbicularis oris, die nicht unbedingt an der Haut- oder Schleimhautoberfläche sichtbar sein müssen, festgestellt werden können [72]. Rosset i Llobet beschrieb 2005 die Möglichkeit, mittels hoch auflösenden Ultraschalls kleinste Einrisse und Fetthernien im M. orbicularis oris zu diagnostizieren und so eine unregelmäßige Beanspruchung dieses Muskels aufzudecken [131]. Genetisch bedingte submuköse Kontinuitätsunterbrechungen des M. orbicularis oris [148] ähneln sonomorphologisch den belastungsinduzierten Läsionen bei Blechbläsern [131].

In der vorliegenden Studie konnte der M. orbicularis oris von Ober- und Unterlippe bei allen Blechbläsern ohne Kontinuitätsunterbrechung dargestellt werden. Ödeme, Einrisse, Schwellungen oder Narben fanden sich nicht.

5.3. Untersuchungen von Stimme und Larynx

5.3.1. Historischer Überblick

Die Stimme von Blechbläsern wurde bisher mit der Fragestellung untersucht, ob sie sich nach dem Blechblasinstrumentenspiel akut verschlechtert [43],[136]. Dazu wurden die Stimmen der Blechbläser zweimal, vor und nach dem Instrumentenspiel, aufgenommen und intraindividuell verglichen. Weitere Studien beschäftigten sich mit der Funktion des Larynx während des Blechblasinstrumentenspiels [7],[132]-[135],[137]. Einen chronologischen Überblick der Studien zu Stimme und Larynx bei Spielern klassischer Blechblasinstrumente liefert Tabelle 33.

Autor(en)	Jahr	n	Laryngoskopie	Larynx-Score	RBH	SSI	Instrument(e)	Zeitpunkt der Untersuchung	Literatur-quelle(n)
King et al.	1989	19	transnasal	-	-	-	3 Trompeten, 4 Waldhörner, 6 Posaunen, 4 Euphonien, 2 Tuben	während des Spielens	[7]
Mukai	1989	14	transnasal	-	-	-	6 Trompeten, 3 Waldhörner, 3 Posaunen, 2 Tuben	während des Spielens	[133]
Bailey	1989	10	transnasal	-	-	-	10 Trompeten	während des Spielens	[134]
Ocker et al.	1990	22	mikroskopisch transoral	-	-	-	22 "brass"	vor und nach dem Spielen	[43]
Miethe	1991	4	transnasal	-	-	-	2 Trompeten, 1 Waldhorn, 1 Tenorhorn	während des Spielens	[132]
Swoboda et al.	1991	1	transnasal	-	-	-	1 Waldhorn	während des Spielens	[135]
Schneider & Seidner	2001	3	-	-	+	-	2 Trompeten, 1 Waldhorn	vor und nach dem Spielen	[136]
Eckley	2006	10*	transnasal	-	-	-	*10 "wind", sonst k. A.	während des Spielens	[137]
Mauersberger	2010	50	49 transoral, davon zusätzlich 2 transnasal	+ (n = 49)	+ (n = 50)	+ (n = 50)	21 Trompeten, 16 Posaunen, 11 Waldhörner, 2 Tuben	nach dem Spielen, zusätzlich 2 während des Spielens	

Tabelle 33: Studien zu Stimme und Larynx bei Spielern klassischer Blechblasinstrumente

5.3.2. Selbsteinschätzung der Stimme mittels Stimmstörungsindex (SSI)

Die Erstbeschreibung des SSI erfolgte 2003 durch Nawka et al., welche 27 Stimmgesunde und 148 Stimmpatienten (48 mit funktioneller Dysphonie, 24 mit entzündlichen Veränderungen des Vokaltraktes, 47 mit epithelialen Läsionen, 26 mit neurogenen Stimmstörungen und 3 mit malignem Tumor) untersuchten [47]. Bis jetzt sind nach Kenntnisstand der Autorin noch keine SSI- oder VHI-Werte (vgl. Kapitel 1.4) bei Blechbläsern ermittelt worden.

In der vorliegenden Studie wurde achtmal ein auffälliger SSI-Wert festgestellt (vgl. Kapitel 4.3.1). Nur ein Proband brachte seine Stimmveränderungen im SSI mit dem Instrument in Verbindung. Die übrigen Blechbläser mit auffälligem SSI nannten anderweitige berufliche Gründe (z.B. Stimmbelastung als Allgemeinmediziner bzw. als Lehrer) oder eine organische Grunderkrankung (Asthma, Dystonie im Mund-/Kieferbereich). Zwei Blechbläser gaben keine spezifische Ursache für ihr Stimmproblem an. Ein Proband wies einen hochgradig pathologischen SSI auf, welcher sich ätiologisch nicht eindeutig zuordnen ließ (vgl. Kapitel 4.3.1).

5.3.3. Fremdeinschätzung der Stimme mittels RBH-Index

Die akustische Bewertung der Blechbläserstimmen durch Stimmexperten wurde sowohl von Ocker et al. [43] als auch von Schneider & Seidner [136] durchgeführt. Ocker et al. ließen die Stimmen von 22 Blechbläsern vor und nach dem einstündigen Spielen eines Blechblasinstrumentes von zwei Phoniatern auswerten [43]. Sie bewerteten allerdings nicht standardisiert nach dem RBH-Schema, sondern nach einem eigenen Schema, welches u.a. Stimmklang, Artikulation, Atmung, Muskelspannung sowie Kiefer- und Lippenbewegungen berücksichtigt. Schneider & Seidner [136] untersuchten bei drei Blechbläsern den RBH-Index anhand der gängigen 4-Punkte-Skala, ebenfalls vor und nach dem Spielen. In der vorliegenden Studie wurden 50 Blechbläserstimmen nach dem Spielen durch sechs Stimmexperten (fünf Phoniater und eine Logopädin) anhand des RBH-Schemas ausgewertet.

Wenn man die Literaturangaben mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie vergleicht, dann resultieren folgende Erkenntnisse:

Ocker et al. beschrieben, dass von 22 Blechbläsern zwei eine manifeste Stimmstörung hatten und bei sechs weiteren Blechbläsern eine fragliche Stimmstörung vorlag [43].

Außerdem hatte sich bei sechs Blechbläsern die Stimme nach dem Blechblasinstrumentenspiel verschlechtert. Schneider & Seidner fanden bei keinem der Blechbläser eine Stimmauffälligkeit (alle R0 B0 H0) [136]. Die Stimmen verschlechterten sich auch nicht durch das Blechblasinstrumentenspiel. Die geringe Fallzahl (n = 3) lässt allerdings keine allgemeingültigen Aussagen zu.

In der vorliegenden Studie zeigten elf Blechbläser geringgradige Auffälligkeiten der Sprechstimme bei Bewertung durch das RBH-System (sechsmal: R1 B0 H1, je zweimal: R0 B1 H1 und R0 B0 H1, einmal: R1 B0 H0). Scheinbare Widersprüche in den RBH-Ergebnissen (R0 B0 H1 und R1 B0 H0) erklären sich durch Mittelwertbildung nach Auswertung durch sechs verschiedene Rater (vgl. Kapitel 4.3.2).

5.3.4. Endoskopie

Die meisten endoskopischen Untersuchungen beschrieben Morphologie und Funktion des Larynx während des Blechblasinstrumentenspiels: Dazu wurde mittels einer flexiblen Glasfaseroptik der Larynx transnasal dargestellt [7],[132]-[135],[137].

Ocker et al. wendeten vor und nach dem Blechblasinstrumentenspiel transorale, mikroskopische Laryngoskopien mit Dauerlicht und stroboskopischem Blitzlicht an [43].

Schneider & Seidner führten keine laryngoskopischen Untersuchungen durch [136].

In der vorliegenden Arbeit wurden exemplarisch zwei Blechbläser (auf eigenen Wunsch) mit der flexiblen Glasfaseroptik transnasal während des Instrumentenspiels laryngoskopiert. Außerdem wurde der Kehlkopf bei 49 Blechbläsern nach dem Blechblasinstrumentenspiel mittels transoraler Laryngoskopie mit Blitz- und Dauerlicht untersucht.

Semiquantitative Ratingskalen, wie sie in der vorliegenden Studie zur Beurteilung des Larynx verwendet wurden, sind nach Kenntnisstand der Autorin bis jetzt bei Blasmusikern noch nicht beschrieben worden. Entwickelt wurden solche standardisierten Bewertungsbögen zur morphologischen und funktionellen Beurteilung des Larynx von Poburka [54], Poburka & Bless [55], Schürenberg [57], Schneider & Bigenzahn [56] sowie von Hanschmann & Berger [53]. Im Basisprotokoll der European Laryngological Society zur Stimmdiagnostik wird ebenfalls ein semiquantitativer Bewertungsbogen empfohlen [44],[45].

Der Larynx wurde bei Blechbläsern in verschiedenen Studien als Regulator des Luftflusses bezeichnet [7],[133],[137]: Beim Spielen werden die Stimmlippen bis zur Paramedianstellung adduziert [132],[133],[137], und der Kehlkopf steht in einer tiefen Position [7],[135]. Bailey beobachtete bei lauten Tönen eine weitere Glottisöffnung als bei leisen Tönen [134]. Die Stimmlippen bezeichnete er dabei als aktivste Komponente des Larynx (verglichen mit Epiglottis und Schildknorpel) [134]. Diese Befunde konnten in der vorliegenden Studie bestätigt werden (vgl. Kapitel 4.3.3, Unterkapitel „Exemplarische transnasale Darstellung des Kehlkopfes“).

Supraglottische Pressmechanismen (wie z.B. Taschenfaltenpressen oder Annäherung von Aryknorpeln und Petiolus) wurden von Miethe [132] und Mukai [133] während des Spielens auf Blechblasinstrumenten beschrieben. Miethe gab an, dass diese vor allem bei Anfängern aufträten [132]. Steinmetz et al. stuften einen erhöhten laryngealen Druck (5,3% von 585 Blechbläsern) als Zeichen einer „Ansatzermüdung“ ein, auftretende laryngeale Krämpfe (6,8% von 585 Blechbläsern) wurden von ihnen als Verlaufsform einer Ansatzdystonie gewertet [149]. In der vorliegenden Studie fanden sich ebenfalls supraglottische Pressmechanismen (zehnmal: Posterior-Anterior-Phonation, je achtmal: Taschenfalteneinsatz und Petioluswulst, sechsmal: Ary-Asymmetrie). Diese könnten ätiopathogenetisch hervorgerufen werden durch:

- tendenziell hyperfunktionelle Stimmgebung und/oder
- erhöhte Muskelspannung nach dem Blechblasinstrumentenspiel.

Eckley beschrieb vermehrte Sekretion von Schleim (8/10 Patienten), eine Kombination von Hyperämie mit arytenoidalem und interarytenoidalem Ödem (8/10 Patienten) sowie eine Dysphonie nach dem Blasinstrumentenspiel (5/10 Patienten) [137]. Bei den Hyperämien und den Ödemen könnte es sich nach Imhofer um eine physiologische Arbeitshyperämie [150] mit Begleitödem handeln. Gallivan et al. berichteten über einen linksseitigen Stimmlippenpolyp bei einer Sängerin, die regelmäßig verschiedene Blech- und Holzblasinstrumente spielte [151]. Ein Stimmlippenpolyp kann Indikator für eine hyperfunktionelle Stimmüberlastung (z.B. durch Singen oder Blechblasinstrumentenspiel) sein [152]-[154].

In der vorliegenden Studie (vgl. Kapitel 4.3.3) wurden folgende auffällige Kehlkopfbefunde erhoben: Sulcus glottidis (4/49 Probanden), Teleangiektasien der Stimmplippen

(2/49 Probanden), Verschleimung der Stimmlippen (14/49 Probanden), inkompletter phonatorischer Glottisschluss (3/49 Probanden) sowie eine geringe Phasendifferenz der Stimmlippenschwingungen (13/49 Probanden). Stimmlippenpolypen wurden nicht gesehen.

Fuchs et al. betonten, dass sowohl Singen als auch das Spielen eines Blechblasinstrumentes eine erhöhte Belastung für den Vokaltrakt darstellen [155]. In der vorliegenden Studie konnte statistisch signifikant gezeigt werden, dass längere Spielzeiten gehäuft zu supraglottischen Pressmechanismen führen (vgl. Kapitel 4.1.3). Diese hyperfunktionellen Pressmechanismen sind als Risikofaktor für eine Stimmstörung zu werten.

5.3.5. Akustische Signalanalysen der Sing- und Sprechstimme

Schneider & Seidner führten vor und nach dem Blechblasinstrumentenspiel ergänzend softwaregestützte Analysen (Jitter, Shimmer, Noise-to-Harmonic-Ratio) der Sing- und Sprechstimme durch [136]. Brockmann-Bauser & Drinnan beschrieben, dass die softwaregestützte akustische Signalanalyse mittels Jitter und Shimmer keine zuverlässigen Rückschlüsse auf Stimmpathologien zulassen würde, da die Mehrheit der pathologischen Stimmen einen normwertigen Jitter oder Shimmer aufweise [52]. Sie empfahlen die akustische Signalanalyse für intraindividuelle Verlaufskontrollen, z.B. vor und nach einer Behandlung [52]. Da die vorliegende Studie die Blechbläserstimmen nur zu einem Zeitpunkt (nach dem Blechblasinstrumentenspiel) evaluierte, wurde auf eine akustische Signalanalyse verzichtet.

6. Schlussfolgerungen

Mit der Mundlippenkymographie und -stroboskopie wurden zwei nicht-invasive bildgebende Verfahren zur Echtzeit-Untersuchung von Mundlippenschwingungen während des Spielens auf klassischen Blechblasinstrumenten etabliert. Durch die verwendeten angebohrten Metallmundstücke konnten Bildartefakte vermieden und die Mundlippen ohne Luftverlust, mit nahezu realen Spielbedingungen, beim Blechblasen untersucht werden.

Richtwerte für Amplituden der Mundlippenschwingungen wurden in Abhängigkeit von Tonhöhe, Lautstärke, Instrument, Geschlecht und Ausbildungsgrad gemessen. Die Kymographie eignete sich dabei besser zur Analyse der Mundlippenschwingungen als die Stroboskopie: Die Mehrzahl der Kymographien (39 von 50 Probanden) konnten problemlos ausgewertet werden, wohingegen nur zwölf Stroboskopien ausgewertet werden konnten. Stroboskopien eignen sich somit eher zur bildhaften, deskriptiven Darstellung als zur analysierenden Untersuchung und Messung. In der Musikermedizinischen Praxis können Schwingungsanalysen der Mundlippen bei professionellen Blechbläsern mit Ansatzproblemen zur Beurteilung von Arbeits- und Berufsunfähigkeit sowie für Verlaufskontrollen unter laufender Therapie/Rehabilitation eingesetzt werden. Der klinische Nutzen von Mundlippenkymographie und -stroboskopie zur Diagnostik von Schwingungsirregularitäten bei morphologischen Veränderungen (Satchmo-Syndrom, postoperative/posttraumatische Narben) oder funktionellen Erkrankungen der Mundlippen (oro-fazio-linguale bzw. Ansatzdystonien, myofunktionelle Störungen) muss zukünftig an größeren Patientenkollektiven ermittelt werden.

Bei 26% der Blechbläser wurden mittels klinischer und sonographischer Untersuchung morphologische Veränderungen von Ober- und/oder Unterlippe gefunden, welche das Schwingungsverhalten nicht beeinträchtigten. Die Sonographie kann zur Dokumentation von Einrissen/Anrissen des Musculus orbicularis oris (Satchmo-Syndrom) sowie zur Beurteilung von Vorstufen (z.B. ödematöse Aufquellungen innerhalb des Muskels) angewendet werden. Weitere Studien sind erforderlich, um zu untersuchen, ob Narben an der Schwingungskante der Schleimhaut oder mit tiefer Muskelbeteiligung zu einem veränderten Schwingungsverhalten der Mundlippen führen.

Die Untersuchungen der Stimme und des Vokaltraktes zeigten leichte Auffälligkeiten, die so gering waren, dass sie nicht behandelt werden mussten. Sie verdienen jedoch Aufmerksamkeit als potenzielle Risikofaktoren, aus denen sich eine manifeste Stimmstörung entwickeln kann.

Idealerweise ergänzen sich die Untersuchungsmethoden zur Beurteilung des blechbläserischen Ansatzes: Kymographie und Stroboskopie als non-invasive bildgebende Techniken erlauben detaillierte funktionelle Schwingungsanalysen der Mundlippen, die non-invasive morphologische Mundlippenuntersuchung erfolgt klinisch und sonographisch. Das untere Ende des Ansatzrohres (Larynx und Stimme) kann mittels gängiger phoniatrischer Untersuchungsverfahren (z.B. Lupenlaryngoskopie, -stroboskopie, -kymographie; akustische Signalanalysen, Rating-Skalen) evaluiert werden.

In der Praxis sind mit solchen Ansatzuntersuchungen bei Blechbläsern letztlich auch versicherungsrechtliche und wirtschaftliche Aspekte verknüpft, die für Berufshaftpflicht-, Unfall-, Krankenversicherungen und Berufsgenossenschaften bis hin zur Frage der Berufs(un)fähigkeit von Relevanz sind. Für die Beurteilung der Arbeits(un)fähigkeit von Blechbläsern im Rahmen von Rehabilitationsmaßnahmen und Berufsunfähigkeitsverfahren können derartige Untersuchungsmethoden wertvolle Informationen liefern, z.B. zur Begutachtung posttraumatischer, postoperativer oder belastungsinduzierter Veränderungen der Mundlippen. Die routinemäßige Anwendung dieser Ansatzuntersuchungen kann daher für Blechbläser in Musikermedizinischen Sprechstunden empfohlen werden.

Literatur

[1] Helmholtz H. Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. 5. Aufl. Braunschweig: Vieweg; 1896: 158-168.

[2] Hirano M. Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its variations. Folia Phoniatr 1974; 26: 89-94.

[3] Story BH, Titze I. Voice simulation with a body-cover model of the vocal folds. J Acoust Soc Am 1995; 97: 1249-1260.

[4] Tillmann B. Farbatlas der Anatomie Zahnmedizin-Humanmedizin. Stuttgart: Thieme; 1997: 98.

[5] Paulsen F. Mundhöhle. In: Zilles K, Tillmann B, Hrsg. Anatomie. Berlin: Springer; 2010: 424-425.

[6] Welsch U. Lehrbuch Histologie. 2. Aufl. München: Urban & Fischer; 2006: 338-339.

[7] King AI, Ashby J, Nelson C. Laryngeal function in wind instruments: The brass. J Voice 1989; 3: 65-67.

[8] Hofmann H. Anatomische und physiologische Bedingungen des Ansatzes. In: Hofmann H, Hrsg. Über den Ansatz der Blechbläser. Kassel: Bärenreiter; 1956: 18-47.

[9] Landeck E, Döll R. Funktionell-morphologische Aspekte der orofazialen Muskulatur beim Blechblasinstrumentalisten. Anat Anz 1974; 135: 465-469.

[10] Schönhärl E. Die Stroboskopie in der praktischen Laryngologie. Stuttgart: Thieme; 1960.

[11] Luchsinger R. Die Stroboskopie des Kehlkopfes. In: Luchsinger R, Arnold GE, Hrsg. Lehrbuch der Stimm- und Sprachheilkunde. Wien: Springer; 1949: 30-36.

[12] Oertel M. Das Laryngo-Stroboskop und die laryngo-stroboskopische Untersuchung. Arch Laryngol Rhinol 1895; 3: 1-16.

[13] Oertel M. Über eine neue „laryngostroboskopische“ Untersuchungsmethode des Kehlkopfes. Centralbl med Wiss 1878; 16: 81-82.

[14] Šram F, Švec J, Schutte HK. Possibilities for use of videokymography in laryngologic and phoniatric practice. In: Dejonckere PH, Peters HFM, eds. Communication and its disorders: A science in Progress: Proceedings of the 24th Congress of the International Association of Logopedics and Phoniatrics. Amsterdam, 23th -27th August 1998. Nijmegen: University press; 1998: 256-259.

[15] Gall V, Gall D, Hanson J. Larynx-Fotokymografie. Arch klin exp Ohr-, Nas- u Kehlk Heilk 1971; 200: 34-41.

[16] Gross M. Larynxfotokymographie. Sprache Stimme Gehör 1985; 9: 112-113.

[17] Martin D. Lip vibrations in a cornet mouthpiece. J Acoust Soc Am 1942; 13: 305-308.

[18] Damsté PH. Les vibrations des cordes vocales compares aux vibrations des levres d’un trombonist. J Fr Otorhinolaryngol Chir Maxillofac 1966; 4: 395-396.

[19] Šram F, Švec J. Die Tonerzeugung beim Spielen von Blasinstrumenten. In: Pahn J, Lamprecht-Dinnesen A, Keilmann A, Bielefeld K, Seifert E, Hrsg. Sprache und Musik: Beiträge der 71. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Sprach- und Stimmheilkunde. Zeitschrift für Dialektologie und Linguistik: Beihefte; Heft 107. Berlin, 12.-13. März 1999. Stuttgart: Steiner; 2000: 155-159.

[20] Schutte HK, Seidner W. Stimme - Physiologische Grundlagen. In: Wendler J, Seidner W, Eysholdt U, Hrsg. Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2005: 72-90.

[21] Böhme G. Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen. Band 1: Klinik. 4. Aufl. München: Urban & Fischer; 2003: 10.

[22] Wolfe J, Garnier M, Smith J. Vocal tract resonances in speech, singing, and playing musical intruments. HFPS J 2009; 3: 6-23.

[23] Yoshikawa S. Acoustical behavior of brass player's lips. J Acoust Soc Am 1995; 97: 1929-1939.

[24] Fletcher NH. Excitation mechanisms in woodwind and brass instruments. Acta Acust Acust 1979; 43: 63-72.

[25] Elliott SJ, Bowsher JM. Regeneration in brass wind instruments. J Sound Vib 1982; 83: 181-217.

[26] Adachi S. Trumpet sound simulation using a two-dimensional lip vibration model. J Acoust Soc Am 1996; 99: 1200-1209.

[27] Mc Laughlin MT. A device for stroboscopic studies of the lip reed [master's thesis]. Long Beach, CA: California State University; 2005.
URL: http://web.csulb.edu/~mmclaugh/main.pdf
(Zugriff am 14.03.2016)

[28] Strutt JW 3rd Baron Rayleigh. On waves propagated along the plane surface of an elastic solid. Proc London Math Soc 1885; s1-17: 4-11.

[29] Ayers RD. New perspectives on the brass instruments. Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics. Leavenworth, WA, 26th June - 1st July 1998. Woodbury, NY: Acoustical Society of America; 1998: 129-134.

[30] Ayers RD. Basic tests for models of the lip reed. Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, Perugia, 10th-14th September 2001. Venezia: Fondazione Scuola di San Giorgio-CNR; 2001: 83-86.

[31] Yoshikawa S, Muto Y. Brass player's skill and the associated lip-wave propagation. Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, Perugia, 10th-14th September 2001. Venezia: Fondazione Scuola di San Giorgio-CNR; 2001: 91-94.

[32] Yoshikawa S, Muto Y. Lip-wave generation in horn players and the estimation of lip-tissue elasticity. Acta Acust Acust 2003; 89: 145-162.

[33] Wolfe J. Acoustic department, school of physics, University of New South Wales. Brass instrument (lip reed) acoustics: an introduction [Internet].
URL: http://www.phys.unsw.edu.au/jw/brassacoustics.html
(Zugriff am 14.03.2016)

[34] Farkas P. Die Kunst der Blechbläser: Ansatzgrundlagen. Kirchheim: Pitzka; 2004: 5.

[35] Josef Klier GmbH & Co. KG. JK Leitfaden [Internet].

URL: http://josefklier.de/mundstuecke/leitfaden-zur-modellauswahl/
(Zugriff am 14.03.2016)

[36] Leno L. Lip vibration characteristics of the trombone embouchure in performance. Instrumentalist 1971; 25: 56-62.

[37] Leno L. Lip vibration of trombone embouchures [Internet].
URL: Part1: http://www.youtube.com/watch?v=CoxnhjLMVBo&feature=channel_page
Part2: http://www.youtube.com/watch?v=UHq7vCihaXg&feature=channel_page
Part3: http://www.youtube.com/watch?v=gmBDG_wAeS4&feature=channel_page
(Zugriff am 14.03.2016)

[38] Leno L. Lip vibration characteristics of the trombone embouchure in performance. Brass bulletin. 1974; 7: 7-41.

[39] Leno L. Eine Studie von [sic] Lippenvibrationen mit Highspeed-Fotographie. Schallstück 1995; 16: 14-18.

[40] Reinhardt DS. The encyclopedia of the pivot system for all cupped mouthpiece brass instruments: A scientific text. New York, NY: Colin; 1973.

[41] Wilken D. Brass embouchures [Internet].
URL: chapter 1 of 6 http://www.youtube.com/user/wilktone#p/u/0/aNfZpapmLIg
chapter 2 of 6 http://www.youtube.com/user/wilktone#p/u/1/VFi5g1tqHhE
chapter 3 of 6 http://www.youtube.com/user/wilktone#p/u/2/AfoeACB6bA4
chapter 4 of 6 http://www.youtube.com/user/wilktone#p/u/3/gkIi6YXy8CI
chapter 5 of 6 http://www.youtube.com/user/wilktone#p/u/4/KVa7spYJXvY
chapter 6 of 6 http://www.youtube.com/user/wilktone#p/u/5/ImJoiuyfJ5Y
(Zugriff am 14.03.2016)

[42] Boschma H. Embouchure [Internet].
URL: www.embouchure.nl
(Zugriff am 14.03.2016)

[43] Ocker C, Pascher W, Röhrs M, Katny W. Voice disorders among players of wind instruments? Folia Phoniatr 1990; 42: 24-30.

[44] Dejonckere PH, Bradley P, Clemente P, Cornut G, Crevier-Buchman L, Friedrich G, van de Heyning P. A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. Guideline elaborated by the Committee on Phoniatrics of the European Laryngological Society (ELS). Eur Arch Otorhinolaryngol 2001; 258: 77-82.

[45] Friedrich G, Dejonckere PH. Das Stimmdiagnostik-Protokoll der European Laryngological Society (ELS) - erste Erfahrungen im Rahmen einer Multizenterstudie. Laryngo-Rhino-Otol 2005; 84: 744-752.

[46] Nawka T, Verdonck-de Leeuw IM, de Bodt M, Guimaraes I, Holmberg EB, Rosen CA, Schindler A, Woisard V, Whurr R, Konerding U. Item reduction of the voice handicap index based on the original version and on European translations. Folia Phoniatr Logop 2009; 61: 37-48.

[47] Nawka T, Gonnermann U, Wiesmann U. Stimmstörungsindex. In: Gross M, Kruse E, Hrsg. Aktuelle phoniatrisch-pädaudiologische Aspekte 2003/2004 (Band 11). Niebüll: Videel; 2003: 375-379.

[48] Gugatschka M, Rechenmacher J, Chibidziura J, Friedrich G. Vergleichbarkeit und Umrechnung von Stimmstörungsindex (SSI) und Voice Handicap Index (VHI). Laryngo-Rhino-Otol 2007; 86: 785-788.

[49] Wendler J, Rauhut A, Krüger H. Classification of voice qualities. J Phonet 1986; 14: 483-488.

[50] Nawka T, Anders LC, Wendler J. Die auditive Beurteilung heiserer Stimmen nach dem RBH-System. Sprache Stimme Gehör 1994; 18: 130-133.

[51] Nawka T, Anders LC, Hrsg. Die auditive Bewertung heiserer Stimmen nach dem RBH-System. Booklet zur Doppel-Audio-CD mit Stimmbeispielen. Stuttgart: Thieme; 1996.

[52] Brockmann-Bauser M, Drinnan MJ. Routine acoustic voice analysis: time to think again? Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg 2011; 19: 165-170.

[53] Hanschmann H, Berger R. Quantifizierung des videostroboskopischen Stimmlippenbefundes. Laryngo-Rhino-Otol 2009; 88: 5-8.

[54] Poburka BJ. A new stroboscopy rating form. J Voice 1999; 13: 403-413.

[55] Poburka BJ, Bless DM. A multi-media, computer-based method for stroboscopy rating training. J Voice 1998; 12: 513-526.

[56] Schneider B, Bigenzahn W. Bewertung stimmdiagnostischer Befunde unter Berücksichtigung des Basisprotokolls der ELS. In: Schneider B, Bigenzahn W, Hrsg. Stimmdiagnostik - Ein Leitfaden für die Praxis. Wien: Springer; 2007: 59-60.

[57] Schürenberg B. Die Beurteilung stroboskopischer Kriterien. Folia Phoniatr 1990; 42: 41-48.

[58] Turner WA. A case of cornet player´s cramp. Lancet 1893; 141: 995.

[59] Flesch J. Berufs-Krankheiten des Musikers. Ein Leitfaden der Berufsberatung für Musiker, Musikpädagogen, Ärzte und Eltern. Celle: Kampmann; 1925: 82-113.

[60] Singer K. Berufskrankheiten der Musiker. Systematische Darstellung ihrer Ursachen, Symptome und Behandlungsmethoden. Berlin: Hesse; 1926: 130-131.

[61] Altenmüller E, Jabusch HC. Apolls Fluch - Musikerdystonien. Info Neurologie & Psychiatrie 2008; 5: 46-53.

[62] Frucht SJ, Fahn S, Greene PE, O'Brien C, Gelb M, Truong DD, Welsh J, Factor S, Ford B. The natural history of embouchure dystonia. Movement disorders 2001; 16: 899-906.

[63] Frucht SJ. Embouchure dystonia – portrait of a task-specific cranial dystonia. Movement disorders 2009; 24: 1752-1762.

[64] Reichenbach E. Die Mundhöhle bei Blasmusikern. Eine gewerbehygienische Untersuchung. Z Stomatol 1924; 22: 608-623.

[65] Seidner S. Zahnersatz und Berufsmerkmale im Munde der Holz- und Blechbläser. Z Stomatol 1933; 31: 320-332.

[66] Schalow W. Die Pathogenese der Musikerparadentose [sic] ihre Therapie und Prophylaxe. Zahnärztl Rundsch 1934; 34: 250-260.

[67] Bumiller OE. Antwort zu Frage 25 im „Fragekasten“: Lippenverletzungen durch Blasinstrument. Dtsch Zahnärztl Wschr 1936; 39: 295.

[68] Ernst G. Die Zahnheilkunde im Dienste der Kunst [Dissertation]. Hamburg: Medizinische Fakultät der Hansischen Universität Hamburg; 1939.

[69] Parma C. Berufsschäden im Bereiche der Mundhöhle. Dtsch Zahnärztl Z 1961; 16: 873-882.

[70] Laasch M. Ergebnisse einer Untersuchung über die Schäden an den Zähnen und dem Zahnhalteapparat bei Blasinstrumentalisten [Dissertation]. Leipzig: Medizinische Fakultät der Karl-Marx-Universität Leipzig; 1967.

[71] Methfessel G. Die Bedeutung von Form und Funktion im Kiefer-Gesichtsbereich für das Blasinstrument. In: Wagner C, Hrsg. Medizinische Probleme bei Instrumentalisten. Ursachen und Prävention [Band 8 der Publikationen der Hochschule für Musik und Theater Hannover. Jakoby R, Hrsg.] Laaber: Laaber-Verlag; 1995: 209-221.

[72] Arcier AF, Vernay A. Observation clinique: lésions musculaires labiales liées au jeu de cuivres. Médecine des Arts 1994; 8: 14-19.

[73] Papsin BC, Maaske LA, Mc Grail JS. Orbicularis oris muscle injury in brass players. Laryngoscope 1996; 106: 757-60.

[74] Donnet A, Dessi P, Koeppel MC. Le syndrome de Satchmo. Presse Med 1996; 25: 173.

[75] Planas J. Rupture of the orbicularis oris in trumpet players (Satchmo's syndrome). Plast Reconstr Surg 1982; 69: 690-693.

[76] Planas J. Further experience with rupture of the orbicularis oris in trumpet players. Plast Reconstr Surg 1988; 81: 975-981.

[77] Maneiro F. Ruptura del músculo orbicular de los labios en un músico de viento (syndrome de Satchmo), a propósito de un caso. Med Segur Trab 2014; 60: 779-785.

[78] Liu S, Hayden GF. Maladies in musicians. South Med J 2002; 95: 727-734.

[79] Sullivan WG. Repair of ruptured orbicularis oris in trumpet players. Plast Reconstr Surg 1989; 83: 578.

[80] Altenmüller E, Jabusch HC. Neurologische Erkrankungen bei Musikern. Med Welt 2006; 57: 569-75.

[81] Bork K, Burgdorf W, Hoede N. Mundschleimhaut- und Lippenkrankheiten. 3. Aufl. Stuttgart: Schattauer; 2008: 198-199.

[82] Zeller HJ. Therapieempfehlungen bei Beschäftigungsneuropathien und Beschäftigungsneurosen von Blechbläsern. Arbeitshygienische Beratungsstelle der Theater und Orchester der DDR [Berlin Ost]. Arbeitsmedizinische Informationen für Theater und Orchester 1985; 8: 1-8.

[83] Loock F, Lorenz M. Berufskrankheiten und Berufsunfähigkeiten bei Bläsern. Arbeitshygienische Beratungsstelle der Theater und Orchester der DDR [Berlin Ost]. Arbeitsmedizinische Informationen für Theater und Orchester 1981; 4: 12-16.

[84] Schuppert M, Altenmüller E. Berufsspezifische Erkrankungen bei Musikern. Orchester 2000; 48: 24-29.

[85] Landeck E. Lippenläsionen bei Blechblasinstrumentalisten. Derm Mschr 1974; 160: 762-765.

[86] Böckelmann I, Schneyer B. Arbeitsbedingte Belastungen und Erkrankungen von Musikern. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 2009; 4: 237-242.

[87] Jabusch HC, Altenmüller E. Focal dystonia in musicians: From phenomenology to therapy. Advances in Cognitive Psychology 2006; 2: 207-220.

[88] Rozanski VE, Rehfuess E, Bötzel K, Nowak D. Aufgabenspezifische Dystonie bei professionellen Musikern – Ein systematisches Review zur Bedeutung des intensiven Musizierens als Risikofaktor. Dtsch Arztebl 2015; 112: 871–877.

[89] Ärztl. Sachverständigenrat beim Bundesministerium für Arbeit u. Sozialordnung (BMA). Druckschädigung der Nerven. Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2106 der Anlage zur Berufskrankheitenverordnung (BKV): Bundesarbeitsblatt 11/2002: 62.

[90] Wolfe J. Acoustic department, school of physics, University of New South Wales. Note names, MIDI numbers and frequencies [Internet].
URL: http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/notes.html
(Zugriff am 14.03.2016)

[91] Gall V, Hanson J. Bestimmung physikalischer Parameter der Stimmlippenschwingungen mit Hilfe der Larynxphotokymographie. Folia Phoniatr 1973; 25: 450-459.

[92] Švec J, Šram F, Schutte HK. Videokymografie: nová vysokofrekvenční metoda vyšetřování kmitů hlasivek. Otorinolaryngologie a foniatrie (Praha) 1999; 48: 155-162.

[93] Švec J, Šram F. Kymographic imaging of the vocal fold oscillations. In: Hansen JHL, Pellom B, eds. Proceedings of the 7th International Conference on Spoken Language Processing. Denver, CO, 16th-20th September 2002. Boulder, CO: Center for Spoken Language Research; 2002: 957-960.

[94] Böhme G, Gross M. Stroboskopie und andere Verfahren zur Analyse der Stimmlippenschwingungen. Heidelberg: Median; 2001: 166-167.

[95] Wendler J. Praktische Hinweise zur Laryngostroboskopie. VEB Transformatoren- und Röntgenwerk (TuR) Dresden, Hrsg. Dresden: DEWAG; 1976: 5.

[96] Young RW. Terminology for logarithmic frequency units. J Acoust Soc Am 1939; 11: 134.

[97] Department of physics and astronomy, Georgia State University.
Playing ranges of brasses [Internet].
URL: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/music/brassa2.html
(Zugriff am 14.03.2016)

[98] Hilgers R, Scheiber V, Bauer P, Hrsg. Einführung in die Medizinische Statistik. 2. Aufl. Berlin: Springer; 2007: 3-25.

[99] Hüsler J. Statistische Maßzahlen: Formeln. In: Hüsler J, Zimmermann H, Hrsg. Statistische Prinzipien für medizinische Projekte. 5. Aufl. Bern: Huber; 2010: 47-52.

[100] Weiß C. Basiswissen Medizinische Statistik. 6.Aufl. Berlin: Springer; 2013: 55-60.

[101] Bortz J, Lienert GA, Boehnke K. Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. 3. Aufl. Berlin: Springer; 2008.

[102] Bortz J, Schuster C. Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 7. Aufl. Berlin: Springer; 2010.

[103] Seidner W, Eysholdt U. Stimme - Diagnostik. In: Wendler J, Seidner W, Eysholdt U, Hrsg. Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2005: 115-116.

[104] Karenberg A. Der Bogen Amors in der Sprache der Zahnheilkunde. Dtsch Zahnärztl Z 2005; 60: 398-402.

[105] Weast RD. A stroboscopic analysis of lip function. Instrumentalist 1963; 17: 44-46.

[106] Šram F, Laštovka M, Ujcik P. Diagnostik der Erkrankungen der Sprechorgane bei Blasinstrumentalisten. In: Windholm G, Nagy M, Hrsg. Das Instrumentenspiel. Bericht vom Internationalen Symposion Wien, 12.-14. April 1988. Wien: Doblinger; 1989: 231-235.

[107] Šram F, Sedláček K, Hoza V. Laute und Silben der Hilfsartikulation beim Blasen von Blechblasinstrumenten. In: Windholm G, Nagy M, Hrsg. Das Instrumentenspiel. Bericht vom Internationalen Symposion Wien, 12.-14. April 1988. Wien: Doblinger; 1989: 137-146.

[108] Šram F, Laštovka M. Diagnosis of disorders of innervation of the organs of speech in players of wind instruments. Congress Proceedings and Abstracts of the IXth Congress of the Union of European Phoniatricians. Amsterdam, 12th-16th October 1981. Amsterdam: Vrije Universiteit; 1981: 102.

[109] Šram F, Sedláček K, Hoza V. Physiology of tone-production in playing brass instruments. Congress Proceedings and Abstracts of the IXth Congress of the Union of European Phoniatricians. Amsterdam, 12th-16th October 1981. Amsterdam: Vrije Universiteit; 1981: 103-104.

[110] Hoza V, Sedláček K, Šram F. Sounds and syllables of auxiliary pronunciation in playing brass instruments. 18. Akustická Konference Slovenská vědeckotechnická společnost. Tvoření a fyziologie vnímání zvuku hudebních nástrojů. Český Krumlov, 1979: 59-65.

[111] Šram F. Methods of investigation of creation of tones in playing wind instruments in laryngology and phoniatric practice. 32nd Czech Conference on Acoustics. Speech - Music - Hearing. Prague, 23th -26th September 1995: 143-146.

[112] Šram F. Die Früherfassung der Berufskrankheiten bei Blasinstrumentalisten in der phoniatrischen Praxis. In: Wagner C, Hrsg. Medizinische Probleme bei Instrumentalisten. Ursachen und Prävention [Band 8 der Publikationen der Hochschule für Musik und Theater Hannover. Jakoby R, Hrsg.] Laaber: Laaber-Verlag; 1995: 223-301.

[113] Šram F, Švec J. Tonbildung beim Spielen auf Blasinstrumenten. Kurzfassungen und Abstracts, 6. Europäischer Kongreß für Musikermedizin und Musikphysiologie, Berlin, 15.-18. Oktober 1998: 147-148.

[114] Šram F, Sedláček K, Hoza V. Vergleichung [sic] der Tonbildung der Stimme mit der Tonbildung der Blechblasinstrumente. In: Buch N, ed. Phonia-Arthria. Proceedings of the 17th Congress of the International Association of Logopedics and Phoniatrics. Copenhagen, 15th-18th August 1977. Copenhagen: special-pædagogisk forlag; 1977: 73-76.

[115] Gokhshtein A. Role of airflow modulator in the excitation of sound in wind instruments. Sov Phys Dokl 1981; 26: 954-956.

[116] Copley DC, Strong WJ. A stroboscopic study of lip vibrations in a trombone. J Acoust Soc Am 1996; 99: 1219-1226.

[117] Bailliet H, Pelorson X, Richardson B, Lallouache T. Lip vibration and pressure recordings during French horn playing. Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, Dourdan, 2nd-6th July 1995. Dourdan: Société française d'acoustique; 1995: 23-28.

[118] Bertsch M. Two aspects of trumpet playing. On trumpet mutes - Aspects of the embouchure. Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, Dourdan, 2nd-6th July 1995. Dourdan: Société française d'acoustique; 1995: 40-46.

[119] Bertsch M. Studien zur Tonerzeugung auf der Trompete [Dissertation]. Schriftenreihe des Instituts für Wiener Klangstil an der Universität für Musik und darstellende Kunst, Wien 2002 (Band 5), ISBN: 3-900914-02-8.

[120] Ayers RD, Lodin MS. Alternative mouthpiece design for viewing the lip reed in motion. J Acoust Soc Am 2000; 107: 2843.

[121] Zumegen C, Schöndorf J, Mlynczak U, Michel O. Kehlkopf- und Lippenstroboskopie beim spielenden Blasmusiker. HNO-Informationen 2002; 27: 230.

[122] Bromage S, Campbell M, Gilbert J. Experimental investigation of the open area of the brass player's vibrating lips. Proceedings of the Forum Acusticum, Budapest, 29thAugust-2nd September 2005. Budapest: OPAKFI; 2005: 729-734.

[123] Bromage S. Visualisation of the lip motion of brass instrument players, and investigations of an artificial mouth as a tool for comparative studies of instruments [PhD thesis]. Edinburgh: University of Edinburgh; 2007.
URL: http://www.acoustics.ed.ac.uk/wp-content/uploads/Theses/Bromage_Seona__PhDThesis_UniversityOfEdinburgh_2007.pdf
(Zugriff am 14.03.2016)

[124] Bromage S, Campbell M, Gilbert J. Open areas of vibrating lips in trombone playing. Acta Acust Acust 2010; 96: 603-613.

[125] Chick J, Bromage S, Campbell M. Transient behaviour in the motion of the brass player's lips. Proceedings of the Forum Acusticum, Budapest, 29thAugust-2nd September 2005. Budapest: OPAKFI; 2005: 753-775.

[126] Peham C. Visualisierung der Lippenschwingungen bei Wiener HornistInnen [Magisterarbeit]. Wien: Institut für Wiener Klangstil an der Universität für Musik und darstellende Kunst Wien; 2005.
URL: http://iwk.mdw.ac.at/lit_db_iwk/auswahl_anzeigen_detail.php?

id_string=14857&lan=eng&from=list
(Zugriff am 14.03.2016)

[127] Stevenson S, Campbell M, Bromage S. Motion of the lips of brass players during extremely loud playing. J Acoust Soc Am 2009; 125: 152-157.

[128] Newton MJ, Campbell M, Gilbert, J. Mechanical response measurements of real and artificial brass player's lips. J Acoust Soc Am 2008; 123: 14-20.

[129] Boutin H, Fletcher N, Smith J, Wolfe J. Relationships between pressure, flow, lip motion, and upstream and downstream impedances for the trombone. J Acoust Soc Am 2015; 137: 1195-1209.

[130] Fréour V, Scavone G. Acoustical interaction between vibrating lips, downstream air column, and upstream airways in trombone performance. J Acoust Soc Am 2013; 134: 3887-3898.

[131] Rosset i Llobet J. New tools for the assessment of the embouchure's biomechanics. Internat Trumpet Guild (ITG) J 2005; 29: 51-53, 81.

[132] Miethe E. Videoendoskopische Befunde beim Spielen verschiedener Blasinstrumente. HNO 1991; 39: 445-447.

[133] Mukai S. Laryngeal movements during wind instruments play. Nippon J G Kaiho 1989; 92: 260-270.

[134] Bailey RE. An investigation of the laryngeal activity of trumpet players during the performance of selected exercises [PhD dissertation]. Denton/Texas: University of North Texas; 1989.
URL: http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc330597/m2/1/high_res_d/1002714082-Bailey.pdf
(Zugriff am 14.03.2016)

[135] Swoboda H, Frank F, Horak F. Stimmlippen- und Gaumensegelbewegungen beim Hornblasen und Singen. Sprache Stimme Gehör 1991; 15: 31-34.

[136] Schneider B, Seidner W. Stimmermüdung durch Blasinstrumentenspiel? Musikphysiol Musikermed 2001; 8: 91-107.

[137] Eckley CA. Glottic configuration in wind instrument players. Rev Bras Otorrinolaringol 2006; 72: 45-47.

[138] Himmelbauer R. Der Anteil an Frauen in europäischen und US-amerikanischen Orchestern [Internet].
URL: http://www.osborne-conant.org/orchestras.htm
(Zugriff am 14.03.2016)

[139] Fishbein M, Middlestadt SE, Ottati V, Straus S, Ellis A. Medical problems among ICSOM musicians: Overview of a national survey. Med Probl Perform Art 1998; 3: 1-8.

[140] Panconcelli-Calzia G. Strobokinematographien und Zeitlupenaufnahmen von membranösen Zungen- und Polsterpfeifen sowie von menschlichen Mundlippen. Ann Phys 1928; 390: 483-493.

[141] Vision Research Inc. Wayne, NJ [Internet].
URL: https://www.highspeedcameras.com/
(Zugriff am 14.03.2016)

[142] Programmaoverzicht. Symposium „Blazen met het Brein“, 13. November 2009, Enschede [Internet].
URL: http://www.trombones.nl/nieuws/programma%20symposium.pdf
(Zugriff am 14.03.2016)

[143] Henderson HW. An experimental study of trumpet embouchure. J Acoust Soc Am 1942; 13: 58-64.

[144] Echternach M, Richter B. Was versteht man unter Randkantenverschiebung? Sprache Stimme Gehör 2008; 32: 141.

[145] Schlenger K. Eignung zum Blasinstrumentenspiel. In: Rupp H, Hrsg. Schriften zur praktischen Psychologie Band 2. Dresden: Bungartz; 1935: 49.

[146] Wendler J, Seidner W. Stimme - Klinik. In: Wendler J, Seidner W, Eysholdt U, Hrsg. Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2005: 157-159.

[147] Dana P. L’embouchure des instrumentistes à vent. Analyse et prévention. Médecine des Arts 1998; 25: 14-18.

[148] Martin R, Hunter V, Neufeld-Kaiser W, Flodman P, Spence M, Furnas D, Martin K. Ultrasonographic detection of orbicularis oris defects in first degree relatives of isolated cleft lip patients. Am J Med Genet 2000; 90: 155-161.

[149] Steinmetz A, Stang A, Kornhuber M, Röllinghoff M, Delank KS, Altenmüller E. From embouchure problems to embouchure dystonia? A survey of self-reported embouchure disorders in 585 professional orchestra brass players. Int Arch Occup Environ Health 2014; 87: 783-792.

[150] Imhofer R. Die Krankheiten der Singstimme für Ärzte. Berlin: Enslin; 1904: 86.

[151] Gallivan GJ, Eitnier CM. Vocal fold polyp in a professional brass/wind instrumentalist and singer. J Voice 2006; 20: 157-164.

[152] Friedrich G. Stimmstörungen. In: Friedrich G, Bigenzahn W, Zorowka P, Hrsg. Phoniatrie und Pädaudiologie. 5. Aufl. Bern: Huber; 2013: 100-101.

[153] Nawka T, Wirth G. Stimmstörungen. 5. Aufl. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag; 2008: 241-242.

[154] Böhme G. Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen. Band 1: Klinik. 4. Aufl. München: Urban & Fischer; 2003: 208-209.

[155] Fuchs M, Meuret S, Geister D, Pfohl W, Thiel S, Dietz A, Gelbrich G. Empirical criteria for establishing a classification of singing activity in children and adolescents. J Voice 2008; 22: 649-657.

Anhang

Einladungs- und Informationsschreiben zur Hauptstudie

Universitätsklinikum Düsseldorf

HEINRICH HEINE UNIVERSITÄT DÜSSELDORF

UKD, Phoniatrie u. Pädaudiologie, Postfach 101007, D-40001 Düsseldorf

Funktionsbereich Phoniatrie u. Pädaudiologie

Leiter:
Univ.-Prof. Dr. med. W. Angerstein
Tel.: (0211) 81-17583/17584
Fax: (0211) 81-19511
E-Mail: angerstein@med.uni-duesseldorf.de
Homepage: www.uniklinik-duesseldorf.de/phoniatrie-paedaudiologie

Hausanschrift:
Moorenstraße 5
Gebäude-Nr. 13.77
D-40225 Düsseldorf

Ansprechpartner:
cand. med. R. Mauersberger

E-Mail:
Renate.Mauersberger@uni-duesseldorf.de

Blechbläser gesucht!

Der selbständige Funktionsbereich für Phoniatrie und Pädaudiologie (Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. W. Angerstein) im Universitätsklinikum der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf untersucht mit modernen digitalen Techniken an einem größeren Blechbläser-Kollektiv den Lippenansatz.

Untersuchungsmethoden:

1. funktionelle Untersuchung des Schwingungsverhaltens der Mundlippen mittels Lupenstroboskopie und Kymographie
2. Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Funktion und Struktur der Mundlippen mittels Ultraschall, bei organischen Veränderungen (Druckstellen, Narben, etc.) mit Photodokumentation
3. Abklärung der Zusammenhänge zwischen Stimmbelastung und Blechblasinstrumenten-Spiel mittels
   a) funktioneller Untersuchung des Schwingungsverhaltens der Stimmlippen im Kehlkopf (Lupenstroboskopie und Kymographie)
   b) Stimmaufnahme beim Vorlesen eines standardisierten Textes
   c) Selbsteinschätzung der Stimme anhand eines Fragebogens mit Rating-Skala

Spezialsprechstunden für:

- Sänger und Schauspieler
- Musikermedizin und Musikphysiologie
- Betreuung vor und nach stimmverbessernden bzw. stimmangleichenden Operationen (Phonochirurgie)
- Zentral-auditive Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörungen
- Kindliche Hörstörungen (Pädaudiologie)
- Schluckstörungen (Dysphagien)
- Begutachtung

Termine nach Vereinbarung

Forschungslabor für Medizinische Akustik und Audiologie
Gebäude-Nr. 17.11
Dipl.-Ing. Th. Massing
Tel.: (0211) 81-18394
Fax: (0211) 81-19794

Komplementärmedizinische Sprechstunde
(Anthroposophische Medizin, Chirotherapie / Manuelle Medizin, Homöopathie, Naturheilverfahren, Schädel-Ohr-Gesichts-Mund-Akupunktur):
Mo. 18:00 - 20:00 Uhr
(nach Terminvereinbarung)

Hausanschrift: Moorenstr. 5, D-40225 Düsseldorf
Straßenbahnlinien: 701, 707, 711, 713, 716; Buslinien: SB 50, 723, 735, 780, 782, 785, 827, 835 und 836

Zeitaufwand (für Untersuchungen mit anschließender Befundbesprechung anhand der erstellten Videoaufnahmen):

2-3 Stunden; Termine werden im Zeitraum vom 23. August 2010 bis zum 15. September 2010 vergeben.

Sämtliche Untersuchungen und Beratungen...

...sind schmerzlos und ohne Strahlenbelastung.

...erfolgen selbstverständlich unter Wahrung der Schweigepflicht.

...werden durch Prof. Dr. med. W. Angerstein persönlich durchgeführt.

...erfolgen kostenfrei und ohne Überweisung. Wir bitten deshalb um Verständnis, dass leider keine Fahrtkostenerstattung oder Aufwandsentschädigung gezahlt werden kann.

Optional (d.h. nur auf besonderen Wunsch des Musikers) ist es zusätzlich möglich, die Stimmlippenbewegungen im Kehlkopf während des Blasinstrumentenspiels „live" mit einer flexiblen Glasfaseroptik zu beobachten, die über die Nase in den Rachenraum eingeführt wird.

Kontakt:

Bei Interesse melden Sie sich bitte zwecks Terminvereinbarung bei Frau cand. med. Renate Mauersberger, die Ihnen auch für weitere Auskünfte gerne zur Verfügung steht.

e-Mail: Renate.Mauersberger@uni-duesseldorf.de

Bitte bringen Sie zum Untersuchungstermin Ihr/e Blechblasinstrument/e mit!

Wir würden uns sehr freuen, Sie anlässlich dieser Forschungsstudie bei uns im Universitätsklinikum Düsseldorf begrüßen zu können, und verbleiben einstweilen mit freundlichen Grüßen und bestem Dank für Ihre Kooperation und Unterstützung

Universitätsprofessor
Dr. med. W. Angerstein

cand. med. R. Mauersberger

Hausanschrift: Moorenstr. 5, D-40225 Düsseldorf
Straßenbahnlinien: 701, 707, 711, 713, 716; Buslinien: SB 50, 723, 735, 780, 782, 785, 827, 835 und 836

Funktionsbereich Phoniatrie u. Pädaudiologie

Leiter:
Univ.-Prof. Dr. med. W. Angerstein
Tel.: (0211) 81-17583/17584
Fax: (0211) 81-19511
E-Mail: angerstein@med.uni-duesseldorf.de
Homepage: www.uniklinik-duesseldorf.de/phoniatrie-paedaudiologie

Hausanschrift:
Moorenstraße 5
Gebäude-Nr. 13.77
D-40225 Düsseldorf

Spezialsprechstunden für:

- Sänger und Schauspieler
- Musikermedizin und Musikphysiologie
- Betreuung vor und nach stimmverbessernden bzw. stimmangleichenden Operationen (Phonochirurgie)
- Zentral-auditive Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörungen
- Kindliche Hörstörungen (Pädaudiologie)
- Schluckstörungen (Dysphagien)
- Begutachtung

Termine nach Vereinbarung

Forschungslabor für Medizinische Akustik und Audiologie
Gebäude-Nr. 17.11
Dipl.-Ing. Th. Massing
Tel.: (0211) 81-18394
Fax: (0211) 81-19794

Komplementärmedizinische Sprechstunde
(Anthroposophische Medizin, Chirotherapie / Manuelle Medizin, Homöopathie, Naturheilverfahren, Schädel-Ohr-Gesichts-Mund-Akupunktur):
Mo. 18:00 - 20:00 Uhr
(nach Terminvereinbarung)

Fragebogen zur Haupstudie

Fragebogen zur musikalischen und medizinischen Biographie

Name, Vorname: _____

Geburtsdatum: _____

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich

Medizinische Aspekte:

Wie groß sind Sie?

_____ m

Wie viel wiegen Sie?

_____kg

Fühlen Sie sich fit und gesund?

☐ ja
☐ nein

Rauchen Sie?

☐ ja, seit _____ Jahren
☐ nein
☐ habe vor _____ Jahren aufgehört
wenn ja: ca. _____ Packungen pro Tag

Haben Sie eine Lungenerkrankung?

☐ ja
☐ nein

Haben Sie schon einmal Ansatzprobleme gehabt?

☐ ja
☐ nein

Gibt es in Ihrer Familie Mitglieder mit Lippen- oder Kieferspalten?

☐ ja
☐ nein

Haben Sie Zahnerkrankungen, die Sie beim Spielen Ihres Instrumentes stören?

☐ ja
☐ nein

Im Folgenden finden Sie einige Aussagen zu Ihrer **Sprechstimme**. Bitte geben Sie an, wie häufig Sie bei sich selber diese Phänomene wahrnehmen.

	nie	selten	manch-mal	oft	immer
Bevor ich spreche, weiß ich nicht, wie meine Stimme klingen wird.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Abends ist meine Stimme schlechter.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Ich habe das Gefühl, dass ich mich anstrengen muss, wenn ich meine Stimme benutze.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Wegen meines Stimmproblems bin ich weniger kontaktfreudig.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Ich meide größere Gruppen wegen meiner Stimme.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Ich fühle mich bei Unterhaltungen wegen meiner Stimme ausgeschlossen.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Anderen fällt es schwer, mich in lauter Umgebung zu verstehen.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Meine Familie hat Schwierigkeiten, mich zu hören, wenn ich zu Hause nach ihnen rufe.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Man hört mich wegen meiner Stimme schlecht.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Es ist mir peinlich, wenn man mich bittet, etwas zu wiederholen.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Ich ärgere mich, wenn man mich bittet, etwas zu wiederholen.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4
Ich schäme mich wegen meines Stimmproblems.	☐0	☐1	☐2	☐3	☐4

Musikalische Aspekte:

Wie lange spielen Sie Ihr Instrument schon?

seit _____ Jahren

An wie vielen Tagen in der Woche spielen und/oder üben Sie im Allgemeinen (als Blechbläser/in)?

an _____ Tagen

Wenn Sie einmal alle Zeiten zusammenrechnen, wie viele Stunden üben / spielen Sie etwa im Schnitt pro Woche?

_____Stunden

Gibt es bei den Spielzeiten größere Schwankungen?

☐0 nie ☐1 selten ☐2 manchmal ☐3 oft

Benutzen Sie zum Einspielen Lippenkontrollringe, Ansatzprüfer oder Buzzen?

☐ ja
☐ nein

In welchen Ensembles, Orchestern und Bands spielen Sie, und wie lange spielen Sie dort jeweils?

_____

_____

Verdienen Sie einen Teil Ihres Lebensunterhalts als Musiker?

☐ ja ca. _____%
☐ nein

Wie ist Ihr Arbeitsverhältnis?

☐ angestellt
☐ freiberuflich
☐ verbeamtet

Im Folgenden bitten wir Sie um Ihre Selbsteinschätzung als Musiker:

Was denken Sie, wie talentiert sind Sie als Blechbläser/in?

☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐7	☐8	☐9
gar nicht talentiert									extrem talentiert

Wie ehrgeizig sind Sie als Blechbläser/in?

☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐7	☐8	☐9
gar nicht ehrgeizig									extrem ehrgeizig

Wie wichtig ist für Sie das Musizieren als Blechbläser/in?

☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐7	☐8	☐9
gar nicht wichtig									extrem wichtig

Wieviel Freude bereitet Ihnen das Musizieren als Blechbläser/in?

☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐7	☐8	☐9
gar keine Freude									extrem viel Freude

Welche Bedeutung hat Musik allgemein in Ihrem Leben?

☐0	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐7	☐8	☐9
gar keine									extrem große

Welches Instrument (mit Stimmung) spielen Sie?

_____

Firma – Modell – Typ – Baujahr – Seriennummer

Danke für Ihre Mitarbeit!

Noten zur Studie von Mundlippenschwingungen bei Blechbläsern

Trompete

Tonerzeugung

jeden Ton in mittlerer Lautstärke so lange aushalten, bis die Luft verbraucht ist

Dynamik

jeden Ton Pianissimo

jeden Ton Fortissimo

Posaune

Tonerzeugung

jeden Ton in mittlerer Lautstärke so lange aushalten, bis die Luft verbraucht ist

Dynamik

jeden Ton Pianissimo

jeden Ton Fortissimo

Waldhorn

Tonerzeugung

jeden Ton in mittlerer Lautstärke so lange aushalten, bis die Luft verbraucht ist

Dynamik

jeden Ton Pianissimo

jeden Ton Fortissimo

Tuba

Tonerzeugung

jeden Ton in mittlerer Lautstärke so lange aushalten, bis die Luft verbraucht ist

Dynamik

jeden Ton Pianissimo

jeden Ton Fortissimo

Standardtext zur auditiven Stimmbeurteilung mittels RBH-Index

bitte laut vorlesen:

Der Nordwind und die Sonne

Einst stritten sich Nordwind und Sonne, wer von ihnen beiden wohl der Stärkere wäre, als ein Wanderer, der in einen warmen Mantel gehüllt war, des Weges kam. Sie wurden einig, dass derjenige für den Stärkeren gelten sollte, der den Wanderer zwingen würde, seinen Mantel abzunehmen. Der Nordwind blies mit aller Macht, aber je mehr er blies, desto fester hüllte sich der Wanderer in seinen Mantel ein. Endlich gab der Nordwind den Kampf auf.

Nun erwärmte die Sonne die Luft mit ihren freundlichen Strahlen, und schon nach wenigen Augenblicken zog der Wanderer seinen Mantel aus. Da musste der Nordwind zugeben, dass die Sonne von ihnen beiden der Stärkere war.

probandenbezogene Rohdaten

P.-Nr.	Instrument	Alter in Jahren	Geschlecht m = männlich w = weiblich	Ausbildungsgrad	Spielzeit pro Woche in Stunden	Ansatzprobleme
1	Posaune	52	m	Berufsmusiker	32,50	leichtgradig
2	Waldhorn	21	m	Musikstudent	20,00	leichtgradig
3	Trompete	33	m	Berufsmusiker	9,00	leichtgradig
4	Waldhorn	57	w	Laie	9,00	leichtgradig
5	Waldhorn	71	m	Laie	12,00	leichtgradig
6	Trompete	21	w	Musikstudent	25,00	leichtgradig
7	Trompete	62	m	Berufsmusiker	21,00	leichtgradig
8	Trompete	53	m	Berufsmusiker	14,00	schwerwiegend
9	Trompete	32	m	Laie	2,50	leichtgradig
10	Posaune	53	m	Berufsmusiker	15,00	keine
11	Waldhorn	61	w	Laie	7,00	leichtgradig
12	Trompete	49	m	Laie	14,00	keine
13	Waldhorn	17	m	Laie	2,00	leichtgradig
14	Posaune	44	m	Laie	5,00	leichtgradig
15	Trompete	54	m	Berufsmusiker	20,00	leichtgradig
16	Posaune	49	m	Berufsmusiker	17,00	keine
17	Trompete	62	m	Berufsmusiker	30,00	keine
18	Posaune	53	m	Berufsmusiker	0,00	schwerwiegend mit BU
19	Trompete	25	m	Musikstudent	15,00	keine
20	Posaune	17	m	Laie	4,00	leichtgradig
21	Trompete	49	m	Berufsmusiker	20,00	leichtgradig
22	Waldhorn	25	w	Musikstudent	12,00	leichtgradig
23	Tuba	53	m	Laie	7,00	leichtgradig
24	Trompete	32	m	Berufsmusiker	10,00	schwerwiegend
25	Posaune	43	m	Laie	10,00	schwerwiegend
26	Posaune	25	m	Musikstudent	16,50	leichtgradig
27	Trompete	47	m	Berufsmusiker	22,50	schwerwiegend mit BU
28	Trompete	50	m	Laie	1,25	keine
29	Posaune	22	m	Laie	3,00	keine
30	Tuba	52	m	Berufsmusiker	22,00	keine
31	Posaune	48	m	Berufsmusiker	25,00	leichtgradig
32	Trompete	17	m	Musikstudent	16,50	keine
33	Posaune	34	m	Berufsmusiker	9,00	leichtgradig
34	Posaune	32	m	Musikstudent	5,00	schwerwiegend
35	Posaune	48	m	Laie	5,50	leichtgradig
36	Trompete	54	m	Laie	12,00	schwerwiegend
37	Posaune	32	m	Berufsmusiker	27,50	schwerwiegend mit BU
38	Trompete	44	m	Berufsmusiker	7,00	leichtgradig
39	Trompete	52	m	Laie	13,00	leichtgradig
40	Trompete	49	m	Berufsmusiker	1,25	keine
41	Trompete	48	m	Laie	24,00	keine
42	Waldhorn	40	m	Berufsmusiker	4,00	keine
43	Posaune	48	m	Berufsmusiker	20,00	schwerwiegend mit BU
44	Trompete	34	m	Berufsmusiker	14,00	leichtgradig
45	Trompete	37	w	Berufsmusiker	14,00	leichtgradig
46	Waldhorn	27	m	Musikstudent	14,00	leichtgradig
47	Waldhorn	37	w	Berufsmusiker	12,50	schwerwiegend
48	Waldhorn	29	m	Musikstudent	20,00	leichtgradig
49	Waldhorn	60	w	Laie	8,00	leichtgradig
50	Posaune	41	m	Laie	3,50	keine

kymographische Auswertung der Oberlippenamplituden Standardton C4 im Mezzoforte

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	263
2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	263
3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	261
4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	261
5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	261
6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	261
7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	262
8	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	261
9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	262
10	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	263
11	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	264
12	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	261
13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	263
14	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	261
15	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	261
16	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	263
17	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	261
18	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	261
19	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	261
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. Unterlippe überlagert partiell Oberlippe)					264
21	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	261
22	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	261
23	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	261
24	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	261
25	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	261
26	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	263
27	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	261
28	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	261
29	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	259
30	nicht auswertbar, zu viel Oberlippe im Bild, Mundspalte nicht einsehbar					261
31	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	261
32	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	261
33	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	261
34	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	261
35	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	263
36	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	261
37	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	263
38	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	261
39	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	261
40	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	263
41	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	261
42	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	263
43	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	261
44	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	261
45	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	259
46	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	261
47	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	263
48	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	264
49	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	259
50	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	259

Fehlerbreitenabschätzung der kymographischen Messmethodik

Instrument	P.-Nr.		Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz (jeweils Mezzoforte)	Abweichung in mm	Abweichung in Prozent
			1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude			
Trompete	21	1. Messung	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	261		
	21	2. Messung	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	261	0,3	23,1%
	21	1. Messung	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	347		
	21	2. Messung	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	347	0,2	28,6%
	21	1. Messung	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	678		
	21	2. Messung	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	678	0,0	0,0%
Posaune	1	1. Messung	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	263		
	1	2. Messung	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	263	0,2	20,0%
	1	1. Messung	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	180		
	1	2. Messung	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	180	0,0	0,0%
	1	1. Messung	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	361		
	1	2. Messung	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	361	0,1	12,5%
Waldhorn	46	1. Messung	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	261		
	46	2. Messung	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	261	0,3	21,4%
	46	1. Messung	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	176		
	46	2. Messung	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	176	0,4	10,5%
	46	1. Messung	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	356		
	46	2. Messung	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	356	0,1	8,3%
Tuba	23	1. Messung	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	261		
	23	2. Messung	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	261	0,2	16,7%
	23	1. Messung	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	88		
	23	2. Messung	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	88	0,1	3,0%
	23	1. Messung	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	224		
	23	2. Messung	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	224	0,1	10,0%
insgesamt										MW = 12,8%

kymographische Auswertung der Oberlippenamplituden - Rohdaten

verschiedene instrumentenbezogene Töne im Mezzoforte

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	180
2	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	172
3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	350
4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	213
5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	214
6	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	339
7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	353
8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	345
9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	334
10	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	178
11	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	212
12	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	345
13	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	181
14	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	178
15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	347
16	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	176
17	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	337
18	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	176
19	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	345
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	347
22	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	156
23	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	88
24	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	345
25	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	172
26	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	179
27	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	342
28	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	339
29	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	174
30	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	88
31	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	176
32	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	345
33	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	175
34	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	176
35	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	173
36	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	342
37	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	176
38	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	342
39	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	345
40	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	347
41	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	345
42	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	176
43	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	176
44	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	345
45	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	345
46	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	176
47	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	176
48	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	177
49	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	176
50	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	176

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	240
2	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	236
3	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	464
4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	261
5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	259
6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	450
7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	464
8	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	450
9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	441
10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	238
11	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	261
12	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	459
13	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	236
14	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	238
15	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	455
16	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	235
17	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	445
18	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	233
19	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	455
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					236
21	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	459
22	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	231
23	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	132
24	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	459
25	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	235
26	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	236
27	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	464
28	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	455
29	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	235
30	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	130
31	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	233
32	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	459
33	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	235
34	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	233
35	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	231
36	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	459
37	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	235
38	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	459
39	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	455
40	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	459
41	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	445
42	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	235
43	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	235
44	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	455
45	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	459
46	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	235
47	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	236
48	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	237
49	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	235
50	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	238

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	302
2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	294
3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	588
4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	311
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	308
6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	558
7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	551
10	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	298
11	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	308
12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	565
13	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	298
14	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	298
15	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	565
16	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	300
17	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	558
18	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	298
19	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	565
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	573
22	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	315
23	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	176
24	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	565
25	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	300
26	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	294
27	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	573
28	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	565
29	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	300
30	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	176
31	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	294
32	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	573
33	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	292
34	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	294
35	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	292
36	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	573
37	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	298
38	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
39	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	565
40	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	580
41	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	558
42	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	296
43	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	296
44	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
45	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
46	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	296
47	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	300
48	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	296
49	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	296
50	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	298

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	361
2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	350
3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	689
4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	361
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	364
6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	678
7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	678
8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	678
9	Ton konnte nicht gespielt werden (Laien-Musiker, Ton zu hoch)					
10	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	356
11	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	361
12	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	678
13	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	353
14	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	356
15	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	668
16	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	353
17	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	658
18	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	353
19	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	678
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					353
21	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	678
22	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	397
23	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	224
24	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	668
25	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	353
26	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	356
27	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	689
28	nicht auswertbar, Oberlippen-Schwingungsamplitude zu klein (< 0,1 mm)					668
29	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	356
30	nicht auswertbar, zu viel Oberlippe im Bild, Mundspalte nicht einsehbar					218
31	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	353
32	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	678
33	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	353
34	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	353
35	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	350
36	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	689
37	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	356
38	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	678
39	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	678
40	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	689
41	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	668
42	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	350
43	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	353
44	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	668
45	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	668
46	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	356
47	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	356
48	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	350
49	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	350
50	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	356

verschiedene instrumentenbezogene Töne im Pianissimo

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	178
2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	177
3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	353
4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	215
5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	214
6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	345
7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	353
8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	345
9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	337
10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	178
11	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	213
12	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	345
13	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	178
14	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	179
15	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	350
16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	176
17	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	337
18	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	177
19	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	345
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	347
22	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	159
23	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	130
24	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	345
25	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	177
26	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	179
27	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	350
28	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	342
29	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	179
30	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	90
31	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	176
32	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	347
33	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	175
34	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	176
35	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	173
36	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	347
37	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	180
38	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	347
39	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	345
40	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	350
41	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	350
42	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	177
43	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	179
44	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	350
45	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	345
46	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	178
47	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	177
48	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	178
49	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	175
50	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	178

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	238
2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	238
3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	469
4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	266
5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	261
6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	455
7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	464
8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	450
9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	437
10	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	237
11	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	261
12	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	459
13	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	236
14	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	237
15	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	455
16	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	237
17	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	445
18	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	236
19	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	455
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	459
22	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	237
23	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	179
24	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	459
25	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	236
26	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	236
27	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	464
28	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	450
29	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	238
30	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	132
31	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	233
32	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	459
33	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	236
34	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	236
35	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	233
36	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	464
37	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	238
38	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	455
39	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	464
40	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	464
41	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	450
42	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	236
43	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	237
44	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	469
45	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	459
46	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	237
47	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	238
48	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	238
49	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	235
50	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	240

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	304
2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	296
3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	588
4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	322
5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	308
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	573
7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	573
8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	573
9	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	558
10	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	298
11	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	317
12	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
13	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	300
14	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	300
15	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	573
16	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	300
17	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	551
18	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	302
19	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	565
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	573
22	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	320
23	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	223
24	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
25	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	298
26	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	298
27	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	580
28	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	558
29	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	298
30	nicht auswertbar, zu viel Oberlippe im Bild, Mundspalte nicht einsehbar					176
31	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	294
32	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	573
33	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	296
34	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	298
35	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	296
36	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
37	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	300
38	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	565
39	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	573
40	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	580
41	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	558
42	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	300
43	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	298
44	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	573
45	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
46	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	300
47	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	300
48	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	300
49	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	296
50	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	300

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	361
2	nicht auswertbar, Oberlippen-Schwingungsamplitude zu klein (< 0,1 mm)					353
3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	689
4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	367
5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	368
6	nicht auswertbar, Oberlippen-Schwingungsamplitude zu klein (< 0,1 mm)					678
7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	678
8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	689
9	Ton konnte nicht gespielt werden (Laien-Musiker, Ton zu hoch)					
10	nicht auswertbar, Oberlippen-Schwingungsamplitude zu klein (< 0,1 mm)					356
11	Ton konnte nicht im Pianissimo gespielt werden (Laien-Musiker, Ton zu hoch)					
12	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	678
13	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	356
14	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	359
15	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	678
16	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	356
17	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	668
18	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	361
19	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	678
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	689
22	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	401
23	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	271
24	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	668
25	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	356
26	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	353
27	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	689
28	Ton konnte nicht im Pianissimo gespielt werden (Laien-Musiker, Ton zu hoch)					
29	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	356
30	nicht auswertbar, zu viel Oberlippe im Bild, Mundspalte nicht einsehbar					264
31	nicht auswertbar, Oberlippen-Schwingungsamplitude zu klein (< 0,1 mm)					353
32	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	678
33	nicht auswertbar, Oberlippen-Schwingungsamplitude zu klein (< 0,1 mm)					350
34	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	359
35	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	356
36	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	689
37	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	358
38	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	678
39	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	678
40	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	689
41	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	668
42	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	356
43	nicht auswertbar, Oberlippen-Schwingungsamplitude zu klein (< 0,1 mm)					356
44	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	678
45	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	668
46	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	359
47	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	356
48	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	350
49	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	350
50	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	361

verschiedene instrumentenbezogene Töne im Fortissimo

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	177
2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	174
3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	356
4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	211
5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	215
6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	345
7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	350
8	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	350
9	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	342
10	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	179
11	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	212
12	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	347
13	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	178
14	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	179
15	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	350
16	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	176
17	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	342
18	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	179
19	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	342
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	347
22	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	158
23	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	134
24	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	345
25	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	176
26	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	176
27	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	347
28	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	347
29	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	178
30	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	90
31	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	176
32	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	345
33	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	176
34	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	179
35	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	175
36	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	347
37	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	176
38	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	342
39	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	342
40	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	347
41	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	347
42	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	176
43	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	176
44	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	345
45	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	347
46	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	176
47	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	178
48	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	177
49	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	172
50	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	176

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	236
2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	235
3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	464
4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	258
5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	266
6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	455
7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	464
8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	459
9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	459
10	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	237
11	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	266
12	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	455
13	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	233
14	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	237
15	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	459
16	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	236
17	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	450
18	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	235
19	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	459
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	464
22	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	236
23	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	176
24	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	459
25	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	238
26	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	236
27	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	464
28	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	450
29	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	237
30	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	133
31	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	236
32	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	459
33	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	240
34	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	236
35	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	235
36	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	455
37	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	238
38	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	450
39	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	459
40	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	459
41	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	459
42	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	235
43	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	238
44	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	464
45	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	459
46	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	237
47	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	237
48	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	236
49	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	232
50	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	233

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	300
2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	298
3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	580
4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	320
5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	313
6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	565
7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	573
8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	573
9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	558
10	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	300
11	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	320
12	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	580
13	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	296
14	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	302
15	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	573
16	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	298
17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	565
18	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	298
19	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	565
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	573
22	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	315
23	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	225
24	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	573
25	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	298
26	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	296
27	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	588
28	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	565
29	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	298
30	nicht auswertbar, zu viel Oberlippe im Bild, Mundspalte nicht einsehbar					174
31	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	296
32	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	573
33	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	298
34	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	300
35	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	292
36	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	573
37	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	302
38	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	565
39	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	573
40	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	580
41	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	558
42	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	300
43	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	298
44	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	580
45	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	573
46	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	296
47	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	300
48	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	300
49	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	296
50	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	300

P.-Nr.	Oberlippenamplitude in mm					Frequenz in Hz
	1. Amplitude	2. Amplitude	3. Amplitude	4. Amplitude	5. Amplitude	
1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	356
2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	353
3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	678
4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	412
5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	420
6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	678
7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	678
8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	689
9	Ton konnte nicht gespielt werden (Laien-Musiker, Ton zu hoch)					
10	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	356
11	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	371
12	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	678
13	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	353
14	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	359
15	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	689
16	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	353
17	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	678
18	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	359
19	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	673
20	nicht auswertbar, Upstream-Typ (d.h. UL überlagert partiell OL)					177
21	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	678
22	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	397
23	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	261
24	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	689
25	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	356
26	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	353
27	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	689
28	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	668
29	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	359
30	nicht auswertbar, zu viel Oberlippe im Bild, Mundspalte nicht einsehbar					219
31	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	356
32	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	678
33	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	356
34	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	359
35	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	350
36	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	689
37	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	359
38	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	678
39	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	678
40	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	689
41	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	668
42	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	353
43	nicht auswertbar, Oberlippen-Schwingungsamplitude zu klein (< 0,1 mm)					359
44	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	678
45	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	689
46	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	353
47	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	356
48	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	353
49	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	350
50	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	356

stroboskopische Schwingungsanalysen - Rohdaten

Relation von Ober- zu Unterlippe

P.-Nr.	Oberlippen-anteil in %	Unterlippen-anteil in %	Frequenz in Hz	P.-Nr.	Oberlippen-anteil in %	Unterlippen-anteil in %	Frequenz in Hz
1	70.50%	29.50%	263	26	48.90%	51.10%	263
2	85%	15.00%	264	27	66.30%	33.70%	264
3	74.50%	25.50%	259	28	79%	21.00%	261
4	73.30%	26.70%	263	29	76.80%	23.20%	259
5	47.20%	52.80%	261	30	96.20%	3.80%	261
6	79.70%	20.30%	264	31	88.90%	11.10%	259
7	70.90%	29.10%	259	32	58.70%	41.30%	256
8	65.40%	34.60%	261	33	72%	28.00%	263
9	78.10%	21.90%	259	34	80.20%	19.80%	2.61
10	82.50%	17.50%	264	35	69%	31.00%	263
11	67%	33.00%	261	36	75.10%	24.90%	259
12	54.70%	45.30%	259	37	55%	44.90%	264
13	76.40%	23.60%	266	38	74.40%	25.60%	261
14	82.90%	17.10%	258	39	77%	23.00%	266
15	70.10%	29.90%	261	40	78.30%	21.70%	261
16	74.60%	25.40%	258	41	50%	50.00%	261
17	74.90%	25.10%	258	42	89%	11.00%	259
18	77.50%	22.50%	261	43	78.70%	21.30%	264
19	57.50%	42.50%	261	44	71.20%	28.80%	258
20	33.90%	66.10%	264	45	66.80%	33.20%	258
21	56.10%	43.90%	259	46	85%	15.00%	264
22	84.20%	15.80%	261	47	76.30%	23.70%	264
23	55%	45.00%	264	48	71.00%	29.00%	262
24	47.50%	52.50%	266	49	62.10%	37.90%	258
25	84.60%	15.40%	263	50	50.60%	49.40%	263

Höhe und Länge der Mundspalte

P.-Nr.		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
5	Höhe in mm	0,0	0,4	0,7	0,9	0,9	0,6	0,5	0,4	0,0
	Länge in mm	0,0	8,6	8,8	9,9	9,5	9,3	9,3	6,9	0,0
12	Höhe in mm	0,0	0,3	0,6	1,2	1,3	1,1	0,7	0,3	0,0
	Länge in mm	0,0	11,3	10,8	11,3	12,5	12,3	10,6	8,9	0,0
19	Höhe in mm	0,0	0,5	1,0	1,7	2,0	1,7	1,4	0,7	0,0
	Länge in mm	0,0	9,2	9,7	10,1	10,2	10,4	10,0	8,0	0,0
21	Höhe in mm	0,0	0,3	0,8	1,2	1,0	0,6	0,3	0,2	0,0
	Länge in mm	0,0	3,8	8,7	11,0	9,0	7,8	6,0	3,2	0,0
23	Höhe in mm	0,0	0,5	1,0	1,8	1,7	1,6	1,3	0,7	0,0
	Länge in mm	0,0	19,0	19,9	22,2	20,3	19,0	19,0	16,9	0,0
24	Höhe in mm	0,0	0,4	0,5	1,3	1,3	1,2	1,0	0,5	0,0
	Länge in mm	0,0	7,6	8,1	9,3	9,2	8,8	8,7	7,1	0,0
26	Höhe in mm	0,0	0,5	1,4	2,3	2,1	1,8	1,4	0,9	0,0
	Länge in mm	0,0	10,8	14,7	15,1	14,6	13,0	11,3	8,7	0,0
32	Höhe in mm	0,0	0,6	1,1	1,9	1,7	1,0	0,6	0,3	0,0
	Länge in mm	0,0	7,1	11,0	11,2	10,7	10,2	9,4	6,4	0,0
37	Höhe in mm	0,0	0,7	1,5	1,8	2,1	2,0	1,6	0,8	0,0
	Länge in mm	0,0	19,8	20,0	20,1	20,0	18,4	17,9	14,0	0,0
41	Höhe in mm	0,0	0,3	0,5	1,3	1,5	1,3	0,7	0,3	0,0
	Länge in mm	0,0	6,5	8,8	9,7	10,3	9,5	8,7	6,8	0,0
49	Höhe in mm	0,0	0,5	1,4	2,0	2,0	1,9	1,2	0,7	0,0
	Länge in mm	0,0	13,2	13,5	13,3	12,3	11,7	11,1	9,9	0,0
50	Höhe in mm	0,0	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,0
	Länge in mm	0,0	10,3	11,1	13,8	13,5	10,7	8,1	7,4	0,0

Fläche der Mundspalte im Schwingungsmaximum in mm^2

P.-Nr.	Fläche der Mundspalte im Schwingungsmaximum in mm^2	Frequenz in Hz	P.-Nr.	Fläche der Mundspalte im Schwingungsmaximum in mm^2	Frequenz in Hz
5	5,2	263	26	29,4	263
8	2,9	263	32	4,7	258
12	8,9	258	37	20,6	266
19	13,8	261	41	8,1	259
21	5,9	259	49	17,4	259
23	15,2	264	50	7,8	263
24	12,8	266			

Kubische Interpolationen - Rohdaten

P.-Nr.	Messpunkt	Höhe der Mundspalte in mm								
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
5	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,3	0,5	0,6	0,9	0,6	0,5	0,4	0,0
	Mitte	0,0	0,4	0,7	0,9	0,9	0,5	0,5	0,3	0,0
	links paramedian	0,0	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,2	0,0	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,3	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2	0,1	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,3	0,6	1,2	1,3	1,1	0,5	0,2	0,0
	Mitte	0,0	0,3	0,6	0,8	1,1	1,1	0,7	0,3	0,0
	links paramedian	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3	0,1	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,4	1,0	1,3	0,8	0,5	0,3	0,1	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,5	0,8	1,7	2,0	1,5	1,3	0,5	0,0
	Mitte	0,0	0,4	0,5	1,1	1,5	1,7	1,4	0,7	0,0
	links paramedian	0,0	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,4	0,0	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,1	0,6	1,1	0,9	0,6	0,3	0,1	0,0
	Mitte	0,0	0,3	0,8	1,2	1,0	0,6	0,3	0,2	0,0
	links paramedian	0,0	0,0	0,5	0,9	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,4	0,9	1,6	1,0	0,8	0,7	0,0	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,1	0,5	0,7	1,0	1,1	0,9	0,4	0,0
	Mitte	0,0	0,5	0,3	0,2	0,9	1,6	1,3	0,7	0,0
	links paramedian	0,0	0,3	1,0	1,8	1,7	1,0	0,9	0,6	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,3	0,3	0,9	0,8	0,8	0,8	0,4	0,0
	Mitte	0,0	0,4	0,5	1,3	1,3	1,2	1,0	0,5	0,0
	links paramedian	0,0	0,3	0,5	1,2	1,2	1,2	0,9	0,5	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,0	0,5	1,4	1,3	0,8	0,0	0,0	0,0
	Mitte	0,0	0,5	1,4	2,3	2,1	1,8	1,4	0,9	0,0
	links paramedian	0,0	0,5	1,3	2,3	2,0	1,7	1,2	0,7	0,0
	links lateral	0,0	0,5	1,2	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,0	0,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

	rechts paramedian	0,0	0,4	1,0	1,4	1,1	0,7	0,4	0,2	0,0
	Mitte	0,0	0,6	1,1	1,9	1,7	1,0	0,6	0,3	0,0
	links paramedian	0,0	0,4	1,0	1,8	1,3	0,8	0,4	0,1	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,2	0,7	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,4	0,8	1,1	1,2	1,1	0,8	0,5	0,0
37	Mitte	0,0	0,7	1,5	1,8	2,1	2,0	1,6	0,8	0,0
	links paramedian	0,0	0,3	1,1	1,3	1,0	1,0	0,7	0,3	0,0
	links lateral	0,0	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,3	0,4	1,0	1,1	0,8	0,2	0,1	0,0
41	Mitte	0,0	0,3	0,5	1,3	1,5	1,3	0,7	0,3	0,0
	links paramedian	0,0	0,0	0,1	0,6	1,1	0,9	0,4	0,0	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,5	1,3	1,6	1,4	0,6	0,5	0,3	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,0	0,4	1,5	1,8	1,4	0,8	0,5	0,0
49	Mitte	0,0	0,4	1,1	1,9	2,0	1,9	1,2	0,7	0,0
	links paramedian	0,0	0,5	1,4	2,0	1,5	1,2	0,6	0,3	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel rechts	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts lateral	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
	rechts paramedian	0,0	0,4	0,6	0,6	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0
50	Mitte	0,0	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,0
	links paramedian	0,0	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
	links lateral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mundwinkel links	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Kubische Interpolationen – Diagramme

Proband Nr. 5

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 12

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 19

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 21

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 23

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 24

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 26

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 32

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 37

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 41

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 49

Öffnungsphase

Schließungsphase

Proband Nr. 50

Öffnungsphase

Schließungsphase

Rohdaten zur Untersuchung von Stimme und Larynx

SSI

P.-Nr.	SSI	P.-Nr.	SSI	P.-Nr.	SSI	P.-Nr.	SSI	P.-Nr.	SSI
1	7	11	2	21	4	31	3	41	4
2	3	12	0	22	1	32	3	42	3
3	4	13	2	23	0	33	0	43	4
4	4	14	4	24	18	34	3	44	4
5	7	15	4	25	34	35	1	45	8
6	7	16	4	26	12	36	4	46	5
7	0	17	0	27	0	37	0	47	1
8	1	18	11	28	16	38	11	48	3
9	0	19	7	29	3	39	0	49	4
10	0	20	7	30	2	40	12	50	3

RBH

	Rater 1						Rater 2						Rater 3						Rater 4						Rater 5						Rater					
	CD 1			CD 2			CD 1			CD 2			CD 1			CD 2			CD 1			CD 2			CD 1			CD 2			CD 1			CD 2		
P.-Nr.	R	B	H	R	B	H	R	B	H	R	B	H	R	B	H	R	B	H	R	B	H	R	B	H	R	B	H	R	B	H	R	B	H	R	B	H
1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2	0	2	1	0	1	1	0	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	2	1	0	1	1	0	1
18	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1

26	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	2	2	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	2	0	2	2	0	2	1	0	1	1	0	1	1	0	1
50	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Larynx-Endoskopie - Bewertungsprotokoll

Amplitude	durchschlagend	stark erweitert	gering erweitert	normal	gering verkürzt	stark verkürzt	strob. Stillstand
rechts	3	2	1	0	1	2	3
links	3	2	1	0	1	2	3

Randkantenverschiebung	durchschlagend	erweitert	normal	vermindert	aufgehoben
rechts	2	1	0	1	2
links	2	1	0	1	2

Symmetrie	gleichseitig exakt	gering phasendifferent	deutlich phasendifferent	alternierend
	0	1	2	3

Glottisschluß	komplett	vorn/hinten inkomplett	durchgehend inkomplett
	0	1	2

Glottisschlußphase	normal	verkürzt	eben berührt	keine
	0	1	2	3

morphologische/funktionelle Veränderungen im Larynx	nicht vorhanden	geringgradig	hochgradig
Taschenfaltenpressen, jeweils für rechts und links getrennt	0	0,5	1
PA-Phonation	0	1	2
Aryasymmetrie	0	1	2
Petioluswulst	0	1	2
Sulcus glottidis, jeweils für rechts und links getrennt	0	0,5	1
Kontaktveränderungen, jeweils für rechts und links getrennt	0	0,5	1
Phonationsverdickungen, jeweils für rechts und links getrennt	0	0,5	1
Teleangiektasie, jeweils für rechts und links getrennt	0	0,5	1
Verschleimung	0	1	2

Larynx-Endoskopie

	Amplitude		RKV		Symmetrie	Glottis-schluß	Glottis-schluß-phase	TF-Pressen		PA-Phonation	Aryasym-metrie	Petiolus-wulst
P.-Nr.	rechts	links	rechts	links				rechts	links			
1	0	0	0	0	1	0	0	0.5	0.5	0	0	2
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	1	1 hinten	1	0	0	0	1	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	2	0	0	1	0.5	2	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0
17	0	0	0	0	1	0	0	0.5	0.5	0	1	0
18	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	1	1

25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	1
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
33	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	keine endoskopische Larynxuntersuchung erfolgt (Würgreiz zu stark ausgeprägt)											
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	1	0.5	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
49	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	Sulcus glottidis		Kontaktveränderungen	Phonations-verdickungen	Teleangiektasie	Verschleimung der Stimmlippen	Gesamtscore
P.-Nr.	rechts	links					
1	0	0	0	0	0	0	4
2	1	1	0	0	0	0	3
3	0	0	0	0	0	1	2
4	0	0	0	0	0	0	4
5	0	0	0	0	0	1	1
6	0	0	0	0	0	0	4
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1.5
9	0	0	0	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	2
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	1	4
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	5.5
16	0	0	0	0	0	1	2
17	0	0	0	0	0	0	3
18	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	1
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	1
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	2.5
25	0	0	0	0	0	1	1
26	0	0	0	0	1	1	2

27	0	0.5	0	0	0	0	1.5
28	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	1	3
30	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	1.5
32	0	0	0	0	0	1	2
33	0	0	0	0	0	0	4
34	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	1
36	0.5	0.5	0	0	0	0	2
37	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	1	1
39	0	0	0	0	0	1	4
40	0	0	0	0	0	0	0
41	keine endoskopische Larynxuntersuchung erfolgt (Würgreiz zu stark ausgeprägt)						
42	0	0	0	0	0	0	0
43	1	1	0	0	1	0	3
44	0	0	0	0	0	0	1.5
45	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	1	2
47	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	1	3
49	0	0	0	0	0	1	4
50	0	0	0	0	0	0	0

Statistische Auswertung

Verzeichnis statistischer Abkürzungen:

df	Freiheitsgrade; degrees of freedom (engl.)
F	F-Wert; Ergebnis des F-Tests (statistischer Signifikanztest zum Vergleich von Stichprobenvarianzen)
t	t-Wert; Testprüfgröße des t-Tests

Die Verteilung der Ausbildungsgrade der 48 Probanden auf die drei Instrumente (Waldhorn, Trompete, Posaune) ergab keine signifikanten Unterschiede:

Instrument * Ausbildungsgrad Kreuztabelle

			Ausbildungsgrad			
			Laie	Musikstudent	Berufsmusiker	gesamt
Instrument	Waldhorn	Anzahl	5	4	2	11
		% der Gesamtzahl	10,4%	8,3%	4,2%	22,9%
	Trompete	Anzahl	6	3	12	21
		% der Gesamtzahl	12,5%	6,3%	25,0%	43,8%
	Posaune	Anzahl	6	2	8	16
		% der Gesamtzahl	12,5%	4,2%	16,7%	33,3%
gesamt		Anzahl	17	9	22	48
		% der Gesamtzahl	35,4%	18,8%	45,8%	100,0%

Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	5,469[a]	4	0,242
Likelihood-Quotient	5,636	4	0,228
Zusammenhang linear-mit-linear	0,925	1	0,336
Anzahl der gültigen Fälle	48		

a. 4 Zellen (44,4%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 2,06.

Zwischen den einzelnen Instrumenten bestanden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Spielzeit pro Woche:

ANOVA

Spielzeit pro Woche in Stunden; Gruppierungsvariable: Instrument

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
zwischen den Gruppen	103,291	3	34,430	0,477	0,700
innerhalb der Gruppen	3317,929	46	72,129		
gesamt	3421,220	49			

Signifikante Unterschiede in der Spielzeit fanden sich zwischen Laien einerseits und Musikstudenten bzw. Berufsmusikern andererseits. Musikstudenten und Berufsmusiker zeigten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihrer Spielzeit pro Woche:

ANOVA

Spielzeit pro Woche in Stunden; Gruppierungsvariable: Ausbildungsgrad

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
zwischen den Gruppen	1566,449	2	783,225	19,847	0,000
innerhalb der Gruppen	1854,771	47	39,463		
gesamt	3421,220	49			

Tukey-HSD; abhängige Variable: Spielzeit pro Woche in Stunden

(I) Ausbildungs-grad	(J) Ausbildungs-grad	Mittelwert-differenz (I-J)	Standard-fehler	Signi-fikanz	95 % Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Laie	Musikstudent	-10,0556*	2,5646	0,001	-16,262	-3,849
	Berufsmusiker	-12,1425*	1,9769	0,000	-16,927	-7,358
Musikstudent	Laie	10,0556*	2,5646	0,001	3,849	16,262
	Berufsmusiker	-2,0870	2,4699	0,677	-8,065	3,891
Berufsmusiker	Laie	12,1425*	1,9769	0,000	7,358	16,927
	Musikstudent	2,0870	2,4699	0,677	-3,891	8,065

* Die Mittelwertdifferenz ist auf der Stufe 0.05 signifikant. Signifikante Werte grau unterlegt zur erleichterten Lesbarkeit.

Die Spielzeiten von Blechbläsern mit und ohne morphologische Auffälligkeiten der Mundlippen unterschieden sich nicht signifikant:

t-Test

Gruppenstatistik

	morphologische Auffälligkeiten	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler Mittelwert
Spielzeit pro Woche in Stunden	ja	13	15,885	7,9822	2,2139
	nein	37	12,446	8,4045	1,3817

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit						
									95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	t	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittelwert-differenz	Standardfehler-differenz	Untergrenze	Obergrenze
Spielzeit pro Woche in Stunden	Varianzgleichheit angenommen	0,028	0,868	1,285	48	0,205	3,4387	2,6763	-1,9425	8,8198
	Varianzgleichheit nicht angenommen			1,318	22,054	0,201	3,4387	2,6096	-1,9726	8,8500

Die durchschnittliche Spielzeit bei Probanden mit hyperfunktioneller Stimmstörung war signifikant höher, als die durchschnittliche Spielzeit bei Blechbläsern ohne hyperfunktionelle Stimmstörung:

t-Test

Gruppenstatistik

	hyperfunktionelle Auffälligkeiten	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler Mittelwert
Spielzeit pro Woche in Stunden	keine	27	10,444	7,4270	1,4293
	ja	22	16,409	8,2803	1,7654

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit						
									95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	t	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittelwert-differenz	Standardfehler-differenz	Untergrenze	Obergrenze
Spielzeit pro Woche in Stunden	Varianzgleichheit angenommen	0,278	0,601	-2,656	47	0,011	-5,9646	2,2459	-10,4829	-1,4464
	Varianzgleichheit nicht angenommen			-2,626	42,727	0,012	-5,9646	2,2714	-10,5463	-1,3830

* Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant. Signifikante Werte grau unterlegt zur erleichterten Lesbarkeit.

Das Instrument zeigte keinen Einfluss auf die Oberlippenamplituden:

ANOVA

Oberlippenamplituden in Abhängingkeit vom Instrument; Gruppierungsvariable: Instrument

	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
zwischen den Gruppen	0,240	2	0,120	1,788	0,179
innerhalb der Gruppen	3,019	45	0,067		
gesamt	3,259	47			

Der Ausbildungsgrad zeigte einen signifikanten Einfluss auf die Oberlippenamplituden. Berufsmusiker wiesen signifikant kleinere Amplituden auf als Musikstudenten:

ANOVA

Oberlippenamplitude; Gruppierungsvariable: Ausbildungsgrad

	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
zwischen Gruppen	0,674	2	0,337	5,870	0,005
innerhalb der Gruppen	2,585	45	0,057		
Gesamtsumme	3,259	47			

Tukey-HSD; abhängige Variable: Oberlippenamplitude

		mittlere			95%-Konfidenzintervall	
(I) Musiker	(J) Musiker	Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	Untergrenze	Obergrenze
Laie	Musikstudent	-0,16144	0,09880	0,242	-0,4009	0,0780
	Berufsmusiker	0,15321	0,07739	0,129	-0,0344	0,3408
Musikstudent	Laie	0,16144	0,09880	0,242	-0,0780	0,4009
	Berufsmusiker	,031465*	0,09483	0,005	0,0848	0,5445
Berufsmusiker	Laie	-0,15321	0,07739	0,129	-0,3408	0,0344
	Musikstudent	-,031465*	0,09483	0,005	-0,5445	-0,0848

* Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant. Signifikante Werte grau unterlegt zur erleichterten Lesbarkeit.

Das Geschlecht zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die Oberlippenamplituden:

deskriptive Statistik

Oberlippenamplitude

	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
männlich	41	1,0659	0,25750	0,04021	0,9846	1,1471	0,50	1,50
weiblich	7	0,9857	0,30783	0,11635	0,7010	1,2704	0,60	1,40
Gesamtsumme	48	1,0542	0,26333	0,03801	0,9777	1,1306	0,50	1,50

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit						
									95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	t	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittelwert-differenz	Standardfehler der Differenz	Untergrenze	Obergrenze
Oberlippenamplitude	Varianzen sind gleich	0,306	0,583	0,741	46	0,463	0,08014	0,10821	-0,13768	0,29796
	Varianzen sind nicht gleich			0,651	7,503	0,534	0,08014	0,12310	-0,20705	0,36732

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Tonhöhen und Oberlippenamplituden zeigte bei den ausgewerteten 49 Blechbläsern (vgl. Tabelle 14, N = 49) eine signifikante Korrelation:

Korrelationen

		Oberlippenamplitude	Frequenz in Hertz
Oberlippenamplitude	Korrelation nach Pearson	1	-0,728**
	Signifikanz (2-seitig)		0,000
	N	191	190
Frequenz in Hertz	Korrelation nach Pearson	-0,728**	1
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	
	N	190	191

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant. Signifikante Werte grau unterlegt zur erleichterten Lesbarkeit.

Der Mann-Whitney U-Test zeigte, dass die Oberlippenamplituden bei Trompetern, Posaunisten und Waldhornisten im *ff* signifikant größer sind, als die Amplituden im *pp*:

Ränge

	Lautstärke	H	mittlerer Rang	Summe der Ränge
Oberlippenamplitude	pp	183	127,67	23363,00
	ff	190	244,15	46388,00
	Gesamtsumme	373		

Teststatistiken[a]

	Oberlippenamplitude
Mann-Whitney-U-Test	6527,000
Wilcoxon-W-Rangsumme	23363,000
U-Wert	-10,452
asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,000

a. Gruppierungsvariable: Lautstärke. Signifikante Werte grau unterlegt zur erleichterten Lesbarkeit.

Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss auf den SSI-Wert, den RBH-Wert oder den Larynx-Score:

t-Test

Gruppenstatistik

	Geschlecht	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler Mittelwert
Rauigkeit	männlich	43	0,2287	0,21370	0,03259
	weiblich	7	0,2143	0,35309	0,13345
Behauchtheit	männlich	43	0,0930	0,15453	0,02357
	weiblich	7	0,0595	0,12467	0,04712
Heiserkeit	männlich	43	0,2674	0,25365	0,03868
	weiblich	7	0,2381	0,33134	0,12524
SSI-Wert	männlich	43	4,9500	6,28300	0,95800
	weiblich	7	3,8600	2,79500	1,05600
Larynx-Score	männlich	42	1,5700	1,44600	0,22300
	weiblich	7	1,8600	2,03500	0,76900

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit						
									95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	t	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittelwert-differenz	Standardfehler-differenz	Untergrenze	Obergrenze
Rauigkeit	Varianzgleichheit angenommen	0,820	0,370	0,150	48	0,881	0,01440	0,09605	-0,17873	0,20752
	Varianzgleichheit nicht angenommen			0,105	6,733	0,920	0,01440	0,13738	-0,31307	0,34186
Behauchtheit	Varianzgleichheit angenommen	0,389	0,536	0,544	48	0,589	0,03350	0,06159	-0,09034	0,15734
	Varianzgleichheit nicht angenommen			0,636	9,294	0,540	0,03350	0,05268	-0,08511	0,15211
Heiserkeit	Varianzgleichheit angenommen	0,387	0,537	0,272	48	0,787	0,02935	0,10785	-0,18750	0,24619
	Varianzgleichheit nicht angenommen			0,224	7,190	0,829	0,02935	0,13107	-0,27894	0,33763
SSI-Wert	Varianzgleichheit angenommen	1,098	0,300	0,451	48	0,654	1,09600	2,42900	-3,78700	5,98000
	Varianzgleichheit nicht angenommen			0,769	18,178	0,452	1,09600	1,42600	-1,89800	4,09000
Larynx-Score	Varianzgleichheit angenommen	4,255	0,045	-0,456	47	0,650	-0,28600	0,62600	-1,54600	0,97400
	Varianzgleichheit nicht angenommen			-0,357	7,045	0,732	-0,28600	0,80100	-2,17700	1,60600

Der Ausbildungsgrad hatte keinen signifikanten Einfluss auf den SSI-Wert, den RBH-Wert oder den Larynx-Score:

ANOVA

Gruppierungsvariable: Ausbildungsgrad

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Rauigkeit	zwischen Gruppen	0,087	2	0,044	0,793	0,458
	innerhalb der Gruppen	2,580	47	0,055		
	Gesamtsumme	2,667	49			
Behauchtheit	zwischen Gruppen	0,006	2	0,003	0,137	0,873
	innerhalb der Gruppen	1,097	47	0,023		
	Gesamtsumme	1,103	49			
Heiserkeit	zwischen Gruppen	0,008	2	0,004	0,059	0,942
	innerhalb der Gruppen	3,358	47	0,071		
	Gesamtsumme	3,366	49			
SSI-Wert	zwischen Gruppen	69,616	2	34,808	0,996	0,377
	innerhalb der Gruppen	1642,384	47	34,944		
	Gesamtsumme	1712,000	49			
Larynx-Score	zwischen Gruppen	7,345	2	3,672	1,628	0,207
	innerhalb der Gruppen	103,788	46	2,256		
	Gesamtsumme	111,133	48			

Das Instrument hatte keinen signifikanten Einfluss auf den SSI-Wert, den RBH-Wert oder den Larynx-Score:

ANOVA

Gruppierungsvariable: Instrument

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Rauigkeit	zwischen Gruppen	0,137	3	0,046	0,833	0,483
	innerhalb der Gruppen	2,530	46	0,055		
	Gesamtsumme	2,667	49			
Behauchtheit	zwischen Gruppen	0,154	3	0,051	2,484	0,073
	innerhalb der Gruppen	0,949	46	0,021		
	Gesamtsumme	1,103	49			
Heiserkeit	zwischen Gruppen	0,370	3	0,123	1,896	0,143
	innerhalb der Gruppen	2,996	46	0,065		
	Gesamtsumme	3,366	49			
SSI-Wert	zwischen Gruppen	87,282	3	29,094	0,824	0,488
	innerhalb der Gruppen	1624,718	46	35,320		
	Gesamtsumme	1712,000	49			
Larynx-Score	zwischen Gruppen	5,848	3	1,949	0,833	0,483
	innerhalb der Gruppen	105,285	45	2,340		
	Gesamtsumme	111,133	48			

Die Überprüfung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Stimmparametern (Rauigkeit, Behauchtheit, Heiserkeit und SSI-Werte bei n = 50 Blechbläsern; Larynx-Score bei n = 49 Blechbläsern) zeigte signifikante Korrelationen folgender Parameter (nach Spearman):

Korrelationen

			Rauigkeit	Behauchtheit	Heiserkeit	SSI-Wert	Larynx-Score
Spearman-Rho	Rauigkeit	Korrelationskoeffizient	1,000	0,463**	0,901**	0,076	0,338**
		Signifikanz (1-seitig)	.	0,000	0,000	0,300	0,009
		N	50	50	50	50	49
	Behauchtheit	Korrelationskoeffizient	0,463**	1,000	0,706**	0,384**	0,239*
		Signifikanz (1-seitig)	0,000	.	0,000	0,003	0,049
		N	50	50	50	50	49
	Heiserkeit	Korrelationskoeffizient	0,901**	0,706**	1,000	0,170	0,348**
		Signifikanz (1-seitig)	0,000	0,000	.	0,119	0,007
		N	50	50	50	50	49
	SSI-Wert	Korrelationskoeffizient	0,076	0,384**	0,170	1,000	0,025
		Signifikanz (1-seitig)	0,300	0,003	0,119	.	0,433
		N	50	50	50	50	49
	Larynx-Score	Korrelationskoeffizient	0,338**	0,239*	0,348**	0,025	1,000
		Signifikanz (1-seitig)	0,009	0,049	0,007	0,433	.
		N	49	49	49	49	49

** Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,01 signifikant (einseitig). *. Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,05 signifikant (einseitig). Signifikante Werte grau unterlegt zur erleichterten Lesbarkeit.

Danksagungen

Ich möchte mich ganz herzlich bei allen Menschen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Insbesondere danke ich dem Betreuer meiner Doktorarbeit, Herrn Univ.-Prof. Dr. med. W. Angerstein, für seine Anleitung, Geduld und Motivation.

Ganz herzlich bedanke ich mich auch bei allen Blechbläsern, die an dieser Studie teilgenommen haben, da ohne sie die vorliegende Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Der Firma RehderPartner GmbH/Hamburg, insbesondere Herrn T. Rehder (sen.) und Herrn C. Elbers, danke ich für die Bereitstellung der Auswertungssoftware rpSzene® Version 8.0, für die kostenlose Präparation der Mundstücke (Anbohren, mit Rändelmutter und Führungsstab versehen), sowie für die kostenlose Bereitstellung des Untersuchungsequipments (Stroboskopie- und Kymographiekamera inkl. Mikrofonen, Kameras und Endoskopen).

Herrn J. Klier, Josef Klier GmbH & Co. KG/Diespeck danke ich für die Auswahl und Spende der in der Studie verwendeten Mundstücke.

Der Firma Hitachi Medical Systems GmbH/Wiesbaden, insbesondere Herrn Dipl. Ing. R. Jorke und Frau U. Paaschburg, danke ich für die kostenlose Bereitstellung des Sonographiegerätes „HI VISION Avius“.

Für technische Unterstützung und Realisation vielen Dank an Herrn Dipl. Ing. T. Massing (Leiter des Forschungslabors für Medizinische Akustik und Audiologie im Selbständigen Funktionsbereich für Phoniatrie und Pädaudiologie des Univ.-Klinikums Düsseldorf).

Für die Auswertungen der Blechbläserstimmen nach dem RBH-Index möchte ich mich recht herzlich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. med. W. Angerstein/Univ.-Klinikum Düsseldorf, bei Herrn M. Buß/HNO-Praxisgemeinschaft Krefeld, bei Frau Dr. med. E. Fischer-Krall/Uniklinik Köln, bei Frau N. Langer/Praxis für Logopädie Langer Berlin, bei Frau Dr. med. R. Lang-Roth/Uniklinik Köln und bei Frau Dr. med. K. Radke-Harm/Helios Klinikum Krefeld bedanken.

Herrn Dr. rer. san. T. Muth (Institut für Arbeits- und Sozialmedizin, Medizinische Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf) danke ich für seine tatkräftige Unterstützung bei der Überprüfung meiner statistischen Analysen.

Für beratende Unterstützung vielen Dank an Herrn Prof. Dr. M. Bertsch/Wien (Bereitstellung von Publikationen und Plexiglasmundstücken), an Herrn M. Müller/Erkrath (Notenbeispiele), an Herrn Prof. MUDr. F. Šram/Prag (Bereitstellung von Publikationen und Videomaterial) sowie an Herrn Dr. med. C. Zumegen/Zülpich (Bereitstellung einer Veröffentlichung, sowie von Video- und Bildmaterial).

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt worden ist und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

Renate Mauersberger

Düsseldorf, den

Unterschrift