

Musikermedizin

Mundstückkräfte und Zahnbewegungen beim Spielen von Blechblasinstrumenten

L. Borchers, M. Gebert, T. Jung, Hannover

Zusammenfassung

Die Belastung der Frontzähne beim Musizieren mit Blechblasinstrumenten war Gegenstand einer Studie. Dabei wurden erstmals bei zehn Probanden in 18 Serien während des Spieles die Anpresskraft des Mundstückes und die Bewegungen der Zähne gleichzeitig gemessen. Der Bericht zeigt das Prinzip der Messtechnik und die Ausführung der Messungen. Einige ausgewählte Ergebnisse belegen die Genauigkeit des Verfahrens und zeigen typische Befunde. Als Konsequenz für die Praxis ergeben sich Hinweise auf Zahnbewegungen bis zu anatomischen Grenzwerten der Bewegungsmöglichkeiten sowie auf den stabilisierenden Effekt abnehmbarer Schienen.

Schlüsselwörter

Zahnbewegungen, Blechblasinstrumente, Mundstück, Kraftaufnehmer, Wegaufnehmer, Dehnungs-Messstreifen

Summary

Mouthpiece forces and tooth displacements during brass instrument playing

The objective of this study was to assess the actual load on front teeth during brass instrument playing. For this purpose, in a total of 18 series with 10 persons playing in part more than one instrument, mouthpiece forces and incisor deflections were measured simultaneously. The report describes the experimental set-up, and typical results are shown. Peak tooth displacements reached anatomical limits. Intra-oral removable metal appliances are recommended for stabilising front teeth against forces perpendicular to their axes.

Keywords

Tooth mobility, brass instruments, mouthpiece, force transducer, displacement transducer, strain gauge

1. Einleitung und Problem

Neunzehn Jahre alt war die Patientin, als Kind hatte sie schon Posaune gespielt und nun wollte sie Konzert-Posaunistin werden. Als Folge einer orthodontischen Behandlung in der Jugend bestanden jedoch Resorptionen an den Wurzeln der zentralen Oberkieferschneidezähne sowie Lockerungen 1. Grades an allen Incisivi. Der Zahnarzt sollte daher prüfen, wie groß das Risiko sei, frühzeitig die Zähne zu verlieren und berufsunfähig zu werden. Daraus ergaben sich drei Fragen, die für die künftige Musikerin und den Zahnarzt das Problem umreißen:

- Wie groß sind die Kräfte, die beim Musizieren die Schneidezähne belasten?
- Wie weit werden die Zähne in der Alveole (knöchernes Zahnfach) beim Musizieren bewegt?
- Lässt sich die Frontzahnreihe während des Musizierens so stabilisieren, dass sie vor weiteren Schäden geschützt ist?

Beim Musizieren mit Blechblasinstrumenten werden Lippen und Zähne belastet. Die Wechselwirkungen zwischen Ansatz des Mundstückes und parodontalen oder prothetischen Problemen bei Bläsern hat Rother (12) beschrieben. Weitere Messungen betrafen die Muskelaktivität (4, 14), den Druck in der Mundhöhle (4, 6) und die Anpresskräfte des Mundstückes (1, 12, 14) beim Spielen. Mit diesen statischen Messungen ließ sich die Belastung der Zähne zwar abschätzen. Unbekannt aber blieb der Weg des Zahnes in der Alveole während des Musizierens.

Ziel der Studie war, ein Messsystem zu entwerfen, das gleichzeitig dynamische Messungen der Mundstückkräfte und der Bewegungen oberer Schneidezähne während des Musizierens erlaubt, ohne Ansatz oder Tonbildung zu stören. Borchers und Gebert haben dieses System gemeinsam entwickelt (3). Gebert hat die Geräte gebaut und damit gemessen (5).

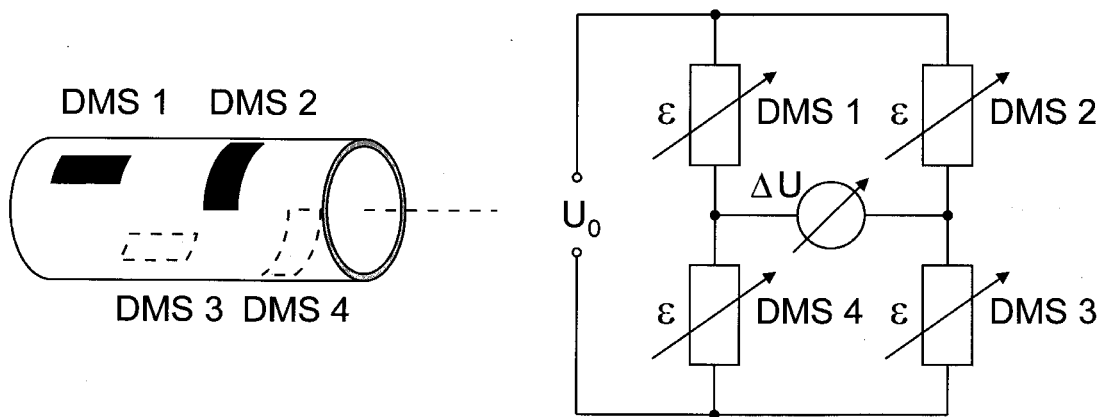


Abb. 1: Dehnungsmessstreifen auf dem Mundstückrohr zum Messen der Anpresskraft des Mundstückes (Belastung axial, Anordnung der DMS und Verkabelung, schematisch)

2. Material und Methode

Messung der Mundstückkräfte

Die Kräfte, mit denen das Mundstück auf die Lippen gedrückt wird, stauchen das Ansatzrohr. Diese Deformationen wurden mit vier Dehnungsmess-Streifen (DMS, Typ 1,5/120LY 11, HBM, Darmstadt) erfasst, die auf dem Ansatzrohr befestigt waren. Damit wirkte das Rohr als axialer Kraftaufnehmer (Abb. 1). Die Schaltung der vier DMS als vollständige Wheatstonesche Brücke kompensierte zugleich Biegungskräfte und Temperaturdifferenzen. Ein Kabel führte die Signale zu einem Sechskanal-Verstärker (Typ TF19, Trägerfrequenz 5 kHz, Speisespannung 1,5 V, Hellige, Freiburg/Brsg.).

Dieses System wurde kalibriert durch Belasten des Mundstückes mit definierten, axial wirkenden Kräften bis zu 98,1 N. Je nach Mundstück-Dimension besaß das System eine Auflösung von 0,4 N bis 2,5 N und eine lineare Abweichung von weniger als 10% vom jeweils gemessenen Wert.

Messung der Zahnbewegungen

An der Studie wirkten zehn Amateur Musiker mit, die Trompete, Waldhorn, Tenorhorn und Tuba spielten. Für jeden von ihnen wurde eine etwa 1,5 mm dicke Basisplatte aus einer Co-Cr-Mo-Legierung angefertigt. Die Platte konnte wie eine Modellgussprothese durch Klammern an den Oberkieferseitenzähnen verankert werden. Vier starre "Finger" aus dem gleichen Material führten zu den Gaumenflächen der

Schneidezähne. Jeder Finger war mit der Basisplatte durch ein 2,5 mm breites und 0,3 mm dickes Bronzeblech verbunden (Abb. 2 und 3), das auf jeder Seite einen DMS (Typ 0,6/120YL11, HBM, Darmstadt) trug. DMS und Anschlussleitungen, die bis zu Lötstützpunkten auf der Gaumenplatte führten, wurden mit einem Schutzlack (PU 100, HBM, Darmstadt) gegen Feuchtigkeit isoliert. Von den Lötstützpunkten an nahm ein Silikonschlauch alle Leitungen auf, führte sie zum Mundwinkel des Probanden und weiter zum Verstärker.

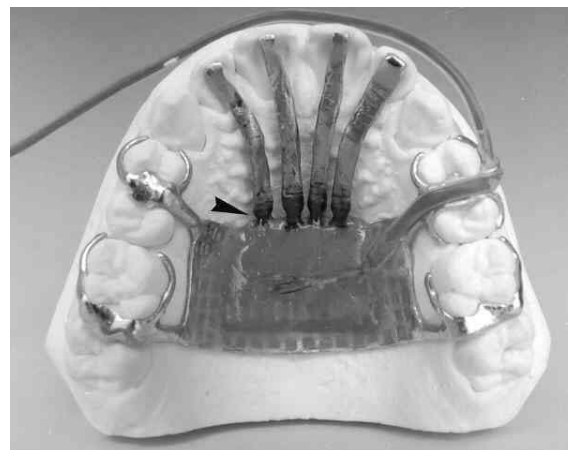


Abb. 2: Wegaufnehmer zur Messung der Frontzahnauslenkungen, Ansicht von der Zungenseite; Kiefermodell mit Basisplatte aus einer Co-Cr-Mo-Legierung und Stütz-Halteklammern zur Verankerung der Basis auf den Seitenzähnen, Blattfedern aus Bronze an Basis und Messfingern angeschweißt. Parallel zum dorsalen Rand der Basisplatte liegen die Lötstützpunkte mit Kabelanschlüssen (abgedeckt mit Isoliermaterial)

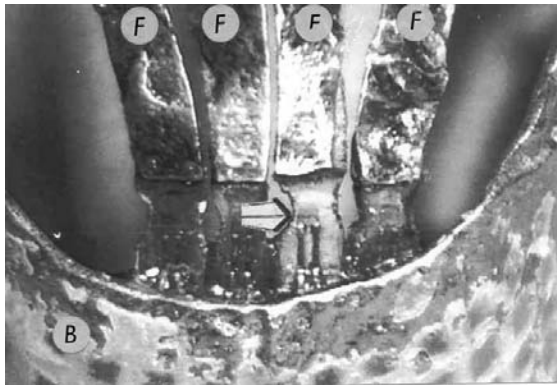


Abb. 3: Detailansicht des Wegaufnehmers, Schleimhautseite, Pfeil zeigt einen DMS; B: Basis, F: Finger

Zur Kalibrierung vor dem Einsetzen in den Mund des Probanden wurde jeder einzelne Finger mit einer Mikrometerschraube bis zu 150 μm ausgelenkt. Die Auflösung betrug etwa 0,8 μm , der lineare Fehler etwa 3,5%. Um einen ganz schwachen Kontakt zwischen Zahn und Finger zu erzielen, wurde jede Bronzefeder vor dem Einsetzen des Gerätes in den Mund nur ganz geringfügig aktiviert. Dadurch war später bei der Kontrolle der vier Federn im Mund der Herzrhythmus des Probanden gerade noch als Parodontal puls im Signal erkennbar (Nullpunkt).

War die Basisplatte im Munde befestigt, berührte der Finger ganz leicht die Zahnkrone nahe der Schneidekante. Der steife Teil des Fingers übertrug die Zahnbewegungen auf das Bronzeplättchen, das sich wie eine Blattfeder bog (Abb. 4). Dadurch wurden die paarweise auf den Plättchen befestigten DMS deformiert und ihr elektrischer Widerstand verändert. Dies zeigte sich als Änderung der elektrischen Spannung am Verstärkerausgang. Durch Halbbrückenschaltung ergab sich eine Verdoppelung der Empfindlichkeit; zugleich wurden Temperatureffekte kompensiert. Zum Registrieren der Werte diente ein Oszillograph oder ein PC-Datenerfassungssystem.

Dank dieser Versuchsanordnung waren simultan (1) die Andruckkräfte des Mundstückes und (2) die Bewegungen der Zähne in ihrer Alveole messbar. Tonhöhe, Tonstärke und die Spielweise wurden schriftlich erfasst. Kiefermodelle zeigten die Zahnstellung.

Eine Untersuchung mit dem "Periotest" (13) informierte über den Gesundheitszustand der Zahnhaltegewebe. Diese Phase der Untersuchung bleibt im folgenden Bericht unberücksichtigt.

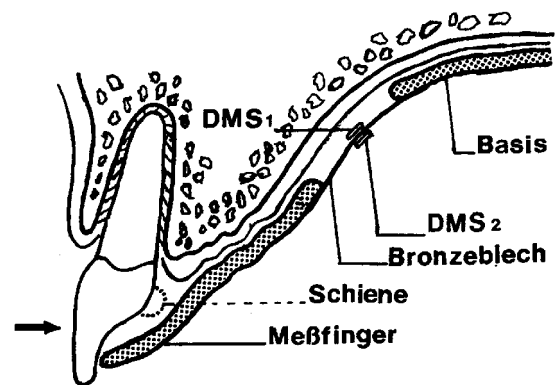


Abb. 4: Versuchsanordnung; Sagittalschnitt durch Gaumen und Frontzahn; Basis: abnehmbare Modellgussplatte; (Schiene: Option für Prophylaxe oder Therapie)

Experimente

Jeder der zehn Amateurmusiker spielte eines oder mehrere der genannten Blasinstrumente. Dadurch ergaben sich 18 Serien: je fünf für Trompete, Waldhorn und Tenorhorn und drei für die Tuba.

Vor und nach dem Einsetzen der Apparatur konnte jeder Proband zunächst proben. Vor Beginn der Messungen wurden die Platten im Mund mit einem später leicht lösbaren Zement fixiert und die elektrischen Mess-Systeme überprüft (s. Kalibrierung, Parodontal puls). Dann spielte jeder Proband vier standardisierte Serien. Sie bestanden aus auf- und absteigenden Tonleitern über zwei Oktaven, die je einmal legato und staccato mit unterschiedlicher Lautstärke (pianissimo, mezzoforte, fortissimo) gespielt wurden, sowie einem Tusch, bei dem die Lautstärke von pp bis ff anstieg.



Abb. 5: Versuchsanordnung; Kabel von der Messplatte durch den Mundwinkel zum Verstärker

3. Ergebnisse

Die Mundstücke der benutzten Blasinstrumente besitzen verschieden große Durchmesser, Ränder und Aufsetzflächen. Da beim Spielen Andruckkräfte und Lippenmuskel-Spannungen erheblich differieren, ergaben sich große Unterschiede. Aus der Datenmenge zeigt dieser Bericht daher nur einige Beispiele vom Effekt von

- 1) Tonhöhe und Spielweise,
- 2) Instrumentenposition und Zahnstellung sowie
- 3) zahnärztlichen Hilfsmaßnahmen.

Beim Trompetenspiel steigt die Anpresskraft bei den höchsten Tönen auf über 50 N an. Die mittleren Incisivi tragen die Hauptlast (Abb. 6). Die Auslenkung der lateralen Incisivi beträgt etwa 40% der Werte, die bei den zentralen Incisivi gemessen wurden. Bei fortissimo können die Spitzenwerte für die mittleren Schneidezähne bis auf 140 μm steigen (Tab. 1). Dieser Weg entspricht dem physiologischen Grenzwert für die Bewegungen des Zahnes in seiner Alveole (9).

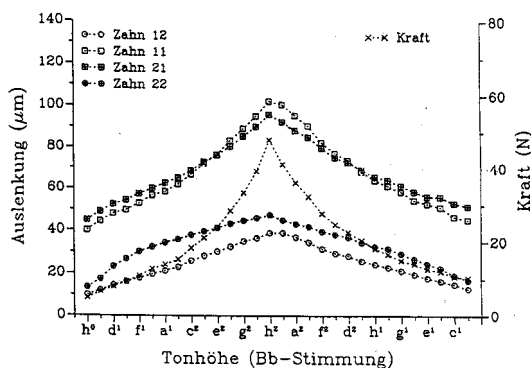


Abb. 6: Anpresskraft des Mundstückes (N) und Auslenkung der Incisivi (μm) als Funktion der Tonhöhe, Mittelwerte von fünf Trompetern

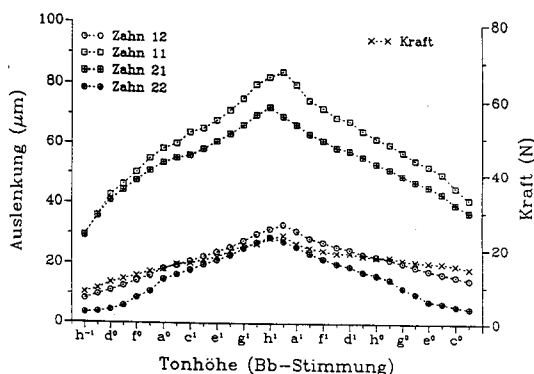


Abb. 7: Anpresskraft des Mundstückes (N) und Auslenkung der Incisivi (μm) als Funktion der Tonhöhe, Mittelwerte von fünf Waldhornisten

Am Waldhorn ist der Ansatz etwa gleich groß wie an der Trompete, die Unterschiede zwischen den Wegen der zentralen und lateralen Incisivi sind aber etwa 20 μm geringer. Bei höchsten Tönen und fortissimo erreichten die Auslenkungen kurzzeitig Werte bis 180 μm (Abb. 7, Tab. 1).

Tenorhornisten belasten alle vier Zähne gleichmäßig. Die Wege der Zähne und die Unterschiede zwischen zentralen und seitlichen Incisivi sind kleiner als bei Waldhornbläsern.

Bei Tubabläsern fanden sich die kleinsten Werte. Hier lagen die Mittelwerte für zentrale Incisivi z.T. sogar unter den Werten für laterale Incisivi (Abb. 8). Die Ursachen sind der große Durchmesser des Mundstückes und die Mundstücksposition.

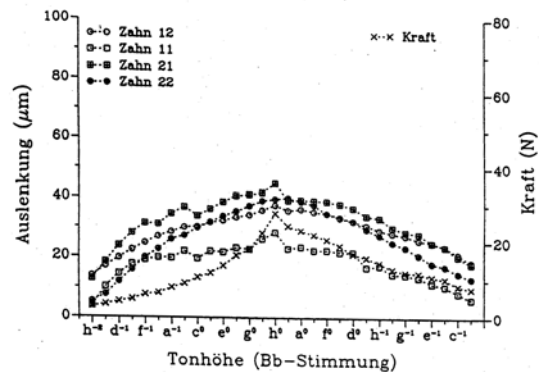


Abb. 8: Anpresskraft des Mundstückes (N) und Auslenkung der Incisivi (μm) als Funktion der Tonhöhe, Mittelwerte von drei Tubabläsern

Insgesamt ist die Spannweite zwischen Minimal- und Maximalwerten erheblich (Tab. 1). Jedoch haben Spielweise und Lautstärke einen relativ geringen Einfluss auf Mundstückkräfte und Zahnauslenkungen.

Beim Vergleich des Mundstückansatzes mit der Frontzahnstellung zeigt sich, dass der Lippendruck sich stärker bemerkbar machen kann als die Anpresskraft des Mundstückes. Auch außerhalb des Ansatzes liegende Zähne erleiden unter dem Einfluss der Lippen z. T. deutliche Auslenkungen. Prominent stehende Zähne werden stärker bewegt als palatinal (gaumenwärts) stehende Zähne, die manchmal fast unbelastet bleiben oder von der Zunge sogar nach labial gedrängt werden (Abb. 9).

Tab. 1: Spannweite der Anpresskräfte und der Auslenkungen der Incisivi für je fünf Trompeter, Waldhornisten und Tenorhornisten sowie drei Tubabläser (individuelle Minimal- und Maximalwerte). Negative Werte sind bedingt durch Zungendruck.

	Trompete	Waldhorn	Tenorhorn	Tuba
Anpresskraft (N)	5 - 75	0 - 50	5 - 40	0 - 35
Auslenkung (μm) zentrale Incisivi	20 - 140	70 - 180	5 - 100	-12 - 55
Auslenkung (μm) laterale Incisivi	0 - 75	-2 - 70	-3 - 65	-3 - 75

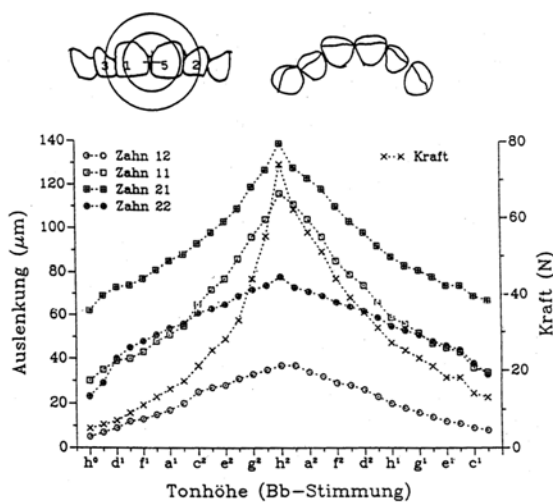


Abb. 9: Proband E, Trompete. Anpresskraft des Mundstückes (N) und Auslenkung der Incisivi (μm) als Funktion der Tonhöhe; Mundstückposition und Periotestwerte (Ansicht), Zahnstellung (Aufsicht auf Zahnbogen); Durchschnittswerte. Der Zahn 21 ist stärker gelockert und wird daher weiter ausgelenkt als Zahn 11 (oberste Kurve). Der Zahn 12 steht palatinal, er wird daher weniger stark ausgelenkt als Zahn 22 (unterste Kurve)

Die anfangs erwähnte Studentin erhielt für die Oberkiefer-Frontzähne eine abnehmbare "Krallenschiene" (Abb. 10). Sie verblockt den Zahnbogen und schützt den Einzelzahn gegenüber senkrecht auf seine Längsachse auftreffenden Kräften. Sie reduziert die Wege der Zähne bei gleicher Anpresskraft auf die Hälfte. Dieser Effekt zeigte sich besonders schön in der Videoaufzeichnung mit vier Probanden und verschiedenen Instrumenten (7).



Abb. 10: Abnehmbare Krallenschiene von 15 bis 25 zur Versteifung des Frontzahnbogens, Aufsicht

4. Diskussion, Konsequenzen für die Praxis

Das beschriebene Mess-System ermöglichte erstmals, Mundstückkräfte und Zahnbewegungen gleichzeitig während des Spielens von Blechblasinstrumenten zu messen.

Das außen am Instrument liegende Sensorsystem zum Messen der Anpresskräfte ist einfach aufgebaut und stört das Spielen in keiner Weise. Dies ist ein Vorteil gegenüber dem Verfahren von Barbenel et al. (1).

Beim intraoralen Messgerät zum Messen der Zahnbewegungen ist eine steife Basis mit DMS-bestückten Fühlern kombiniert, ähnlich den Vorschlägen anderer Autoren (9, 10). Das sehr kleine Gerät beeinträchtigt den Ansatz nicht, denn das Kabel liegt im Mundwinkel außerhalb des Mundstückes. Auch die Zungenfunktion wird nur ganz geringfügig beeinflusst. Extraorale und intraorale Messgeräte arbeiten mit einer Empfindlichkeit von etwa $1 \mu\text{m}$.

Die Daten in Tab. 1 entsprechen weitgehend den Werten aus Studien anderer Autoren (1, 4, 6, 12). Kräfte von rund 100 N (1, 4) haben wir jedoch nicht gemessen. Dies kann am Leistungsniveau der Probanden oder an der Messtechnik liegen. Die Auslenkung der Zähne hängt offensichtlich mehr von der Tonhöhe als von der Lautstärke ab. Dies stimmt gut überein mit den Ergebnissen anderer Autoren (1, 4, 6, 12). Dieselbe qualitative Abhängigkeit wurde für EMG-Potentiale ausgewählter Gesichtsmuskeln gefunden (14).

Da die Verteilung der Anpresskraft und der Lippenspannung auf die einzelnen Zähne nicht bekannt ist, lassen sich aus unseren Daten keine Kraft-Weg-Diagramme für den Einzelzahn aufstellen. Nimmt man eine Kraftverteilung proportional den Auslenkungen der Incisivi an, so liegen die gemessenen Auslenkungen etwa 50% höher als bei Richter (11). Daraus lässt sich schließen, dass auch die Lippenspannung die Zahnbewegungen in erheblichem Umfang beeinflusst.

Von den Ergebnissen ist für den Musiker wie für den Zahnarzt bedeutsam:

1. Die Belastung der Zähne durch den Mundstückrand und die Stellung der Zähne korrelieren zwar teilweise. Für den Effekt ist jedoch wahrscheinlich auch die Lippenspannung von großer Bedeutung. Einige fortgeschrittene Probanden spielten mit geringerer Anpresskraft als Anfänger, andere mit gleicher oder höherer Anpresskraft. Vergleiche mit den Werten aus anderen Studien (1, 6, 12, 14) sind wegen der geringen Zahl der Anfänger in dieser Studie nicht möglich.

2. Bei den höchsten Tönen und größten Lautstärken können die Auslenkungen der Zähne auch bei ausgebildeten Bläsern die Grenze der physiologischen Zahnbeweglichkeit erreichen (2, 8, 11).

3. Die abnehmbare Krallenschiene ist ein wirksamer Schutz gegen Kräfte, die senkrecht auf die Zahnängsachse wirken. Bei Schäden am Zahnhalteapparate stabilisiert sie die Zahnposition, bei Zahnlockerung hat sie einen prophylaktischen Effekt. Da sie nur beim Musizieren getragen wird, beeinträchtigt sie die Ästhetik nicht.

5. Literatur

1. Barbenel JC, Kenny P, Davis JB: Mouthpiece forces produced while playing the trumpet. *J Biomech* 21, 417-24 (1988)
2. Bernimoulin JP; Purucker PR: Die Zahnbeweglichkeit und ihre Messung. *Dtsch Zahnärztl Z* 40, 701-4, (1985)
3. Borchers L, Gebert M, Jung T: Measurement of tooth displacement and mouthpiece forces during brass instrument playing. *Med Eng Phys* 17, 567-70 (1995)
4. Ebersbach W: Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Pathophysiologie des Blasinstrumentenspiels bei Berufsmusikern (Postdoctoral Thesis). Karl-Marx Universität Leipzig 1969
5. Gebert M: Experimentelle Untersuchung über die Bewegungen von Oberkiefer-schneidezähnen während des Musizierens mit Blechblasinstrumenten. *Med. Diss. Medizinische Hochschule Hannover* 1993
6. Henderson HW: An experimental study of trumpet embouchure. *J Acoust Soc Amer* 13, 58-64 (1942)
7. Jung T, Gebert M, Borchers L: Parodontium und Posaune. Videoband, 80. Jahreskongress der Fédération Dentaire Internationale, Berlin 21.-25.09.1992 (3. Preis)
8. Mühlemann HR: Tooth Mobility: A Review of Clinical Aspects and Research Findings. *J Periodont* 38, 686-6xx (1967)
9. O'Leary TJ, Rudd KD; An Instrument for Measuring Horizontal Tooth Mobility. *Periodontics* 1, 249-55 (1963)
10. Pameyer CH, Stallard RE: A method for quantitative measurement of tooth mobility. *J Periodont* 44, 339-46 (1973)
11. Richter EJ: Die Bedeutung der Versuchsbedingungen im wissenschaftlichen Experiment, dargestellt am Beispiel der Zahnbeweglichkeit. *Dtsch Zahnärztl Z* 40, 404-9 (1985)

12. Rothe H: Der Ansatz des Blechbläusers und seine Bedeutung für die zahnärztliche Prothetik. Dtsch Mschr Zahnheilk 21, 961-94 (1932)
13. Schulte W, d'Hoedt B, Lukas D, Gudat H, König M, Markl M, Quante F, Schief A, Tokaya A: Periotest – ein neues Messverfahren der Funktion des Parodontiums. Zahnärztl Mitt 73,1229-37 (1983)
14. White ER: Electromyographic potentials of selected facial muscles and labial mouthpiece pressure measurements in the embouchure of trumpet players (Doctoral Thesis). Columbia University, New York 1972

Anmerkung:

Partielle Übereinstimmungen des Textes und der Abbildungen bestehen mit:

- Gebert-Borchers-Jung: Die Belastung der Frontzähne bei Blechbläsern. Zahnärztliche Welt/Reform (ZWR) 103, 435-438 (1994)
- Jung-Borchers-Gebert: Wie Frontzähne von Bläsern sich bewegen. Das Orchester 43, 15-19 (1995)
- Borchers-Gebert-Jung: Measurement of tooth displacement and mouthpiece forces during brass instrument playing. Med Eng Phys 17, 567-570 (1995)
- Jung-Borchers-Gebert: Mesures des forces exercées sur l'embouchure et des déplacements dentaires dans la pratique des cuivres. Médecine des Arts No 34, 10-14 (2000)

Anschrift der Autoren :

Prof. Dr. Till Jung
Dr.-Ing. Lothar Borchers
Zentrum ZMK-Heilkunde
Medizinische Hochschule Hannover
D-30623 Hannover

Tel. 0511/532-4770
Fax 0511/532-8771