

# Klarinettenklang

## Versuch einer physiologischen Analyse

Heinrich Mätzener, Johanna Gutzwiller, Beate Sick, Hans-Christof Maier und Laura Tomatis



Musikalische Klangerzeugungen sind komplexe Vorgänge, deren analytische Erfassung an die Wissenschaft grosse Herausforderungen stellt.<sup>1</sup> In dieser interdisziplinären Studie ist es gelungen, einen Zusammenhang zwischen Muskelaktivierungen im Unterschenkel (*Musculus gastrocnemius*), Oberschenkel (*Musculus ischiocruralis*) und Rückenbereich (*Musculus latissimus dorsi*) und der Erzeugung von Klarinettenklängen sowie deren klangästhetischer Qualität nachzuweisen. Die Resultate der empirischen Untersuchungen können in der künstlerischen und musikpädagogischen Praxis direkte Anwendung finden: Wird bei der Tonbildung die Luftführung bewusst mit dem Einsatz der untersuchten Muskelspannungen kombiniert, kann das klangliche Resultat optimiert kontrolliert werden. Die Methodik der Tonbildung gewinnt durch dieses Know-How eine grundlegende Ergänzung.

### PRAXISERFAHRUNGEN

Die Fragestellungen, die dem Forschungsprojekt zugrundeliegen, sind vor rund fünf Jahren in der musikpädagogischen Praxis an der Hochschule Luzern – Musik in gemeinsam von Johanna Gutzwiller (Musikerphysiotherapeutin) und Heinrich Mätzener (Klarinettenist) durchgeführtem Unterricht entwickelt worden. Durch die Zusammenführung ihres unterschiedlichen Erfahrungswissens zu einer fachspezifischen Methodik konnten

die Dozierenden bei den Studierenden deutliche, in kurzer Zeit entstandene Verbesserungen verschiedener Parameter des Klanges hervorrufen: Die Kontrolle über Intonation, Tonführung, Klangfarbe, Ansprache, Artikulation und Phrasierung<sup>2</sup> zeigte Fortschritte, darüber hinaus stellten sich auch bei der Bühnenpräsenz überraschend positive Entwicklungen ein. Eine bestimmte Spielhaltung<sup>3</sup> schien dabei – unabhängig von individuellen physiologischen Voraussetzungen der Studierenden – von besonderer Relevanz. Durch die Doppelfunktion von Skelettmuskeln, die primär der Bewegung dienen, aber auch als Atemhilfs- und Stützmuskeln eingesetzt werden können,<sup>4</sup> ergibt sich immer, besonders aber beim Blasinstrument ein direkter Zusammenhang zwischen Spielhaltung und Klangqualität.

Der methodische Ansatz im Bereich der Klangerzeugung sollte in der Auseinandersetzung mit folgenden Fragestellungen präzisiert und untermauert werden:

- Kann die Spielhaltung, welche die beobachtete Optimierung der Klangqualität hervorbringt, gezielt anhand bestimmter Muskelaktivierungen gelehrt und gelernt werden?
- Ist diese Muskelaktivierung objektiv messbar?
- Ist die Optimierung der Klangqualität, die wir mit diesen Muskelaktivierungen in Verbindung bringen, akustisch bestimmbar und objektiv nachweisbar?
- Wird von einer Mehrheit von Fachpersonen bestätigt, dass bei bestimmten Muskelaktivierungen eine Optimierung der Klangqualität erreicht wird?

## FORSCHUNGSSTAND

Der Zusammenhang von Spielhaltung und Klangqualität wurde verschiedentlich aufgeworfen. In der Fachliteratur finden sich zwar ähnliche Empfehlungen für klangoptimierende Spielhaltungen, wie wir sie im Unterricht eingesetzt hatten, jedoch keine Berichte über Untersuchungen von zeitgleich gewonnenen akustischen und physiologischen Daten, die eine Spielhaltung näher beschreiben würden.<sup>5</sup> Zahlreiche Studien untersuchten jedoch den Zusammenhang zwischen Klangqualität und bewusst ausgeformter Mundhöhle, der Ausformung des Rachenraumes, der Position von Kehlkopf und Stimmritze sowie schliesslich denjenigen zwischen Klangqualität und akustischem Widerstand in den oberen Atemwegen. Eine Auswahl von Publikationen, welche diesen Fragen nachgehen, ist im Anhang aufgelistet und kurz zusammengefasst (vgl. S. 99).

## FORSCHUNGSFRAGEN

Ausgehend von der musikpädagogischen Praxiserfahrung definierte das Forschungsteam die klangoptimierende Spielhaltung durch die kombinierte und bewusste, das heisst willkürliche Aktivierung folgender Muskeln:

- Aktivierung der hinteren Unterschenkelmuskulatur (Musculus gastrocnemius), stellvertretend für die darunter tieferliegende, in diesem Zusammenhang wichtigere Muskulatur;
- Aktivierung der hinteren Oberschenkelmuskulatur (Musculus ischiocruralis, auch Hamstrings genannt);
- Aktivierung des sehr breiten Rückenmuskels (Musculus latissimus dorsi).

Die tiefen Unterschenkelmuskeln formen und stützen das Fussgewölbe. Auf der Basis dieser Funktion beginnt hier eine Verkettung von Muskelaktivierungen, die sich insgesamt als körperaufrichtende Aktion manifestiert. Die Aktivierung der Unterschenkelmuskulatur setzt sich in der hinteren Oberschenkelmuskulatur fort, diese zieht die Sitzbeine leicht in Richtung der Kniekehlen, eine Streckung der Lendenwirbelsäule ist die Folge, ebenso eine Aktivierung der Stützmuskulatur im Beckenbereich. Der grosse Rückenmuskel stabilisiert in der fortgeschrittenen Ausatmung die Lendenwirbelsäule und hält die unteren Rippen geöffnet. Wir nehmen an, dass diese Verkettung als stützende Kraft in das System von Luftführung, Ansatzformung, Ansatzdruck und Resonanzformung übergreift und hier klangrelevant positiv wirkt. Bezug nehmend auf den Beginn der Aktivierungskette wurde die favorisierte Spielhaltung aF (Spielen mit aktiviertem Fussgewölbe) genannt (vgl. Abbildung 1). Dabei wurde erwartet, dass für die Ton- und Klangbildung in der Spielhaltung aF folgende Muskeln möglichst entspannt bleiben:

- obere Anteile der geraden Bauchmuskulatur (Rectus),
- obere Anteile des Kapuzenmuskels (Trapezius).

Der Spielhaltung aF wurde eF (Spielen mit entspanntem Fussgewölbe) gegenübergestellt. Hier sollten die in aF aktivierten

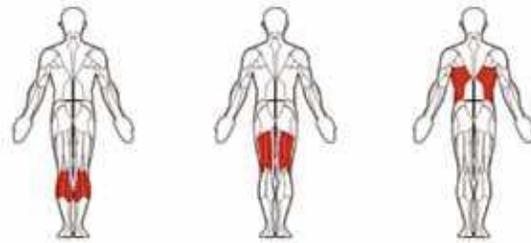


Abbildung 1: Muskelaktivierungen der Spielhaltung aF. Links: Wadenmuskeln (Gastrocnemius); Mitte: Hintere Oberschenkelmuskulatur (Ischiocruralis); Rechts: sehr breite Rückenmuskeln (Latissimus).

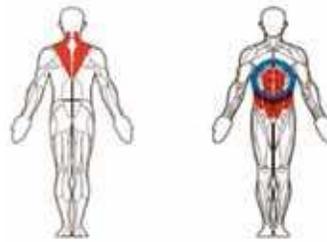


Abbildung 2: Muskel-Relaxationen der Spielhaltung aF, Aktivierungen in der Spielhaltung eF. Links: Obere Anteile des Kapuzenmuskels (Trapezius); Rechts: Obere Anteile der geraden Bauchmuskulatur (Rectus).

Muskeln in Bezug auf die Klangbildung keine bewusste Rolle spielen, was üblicherweise zu einer Entspannung dieser Muskeln führt. In der Folge müssen die in aF entspannten Muskeln kompensierend bei der Klangproduktion eingesetzt werden. In der Praxis können eF oder ähnliche Spielhaltungen oft beobachtet werden (vgl. Abbildung 2).

Zur Entwicklung der Versuchsanordnung und zum Test der Messmethoden für die Spielhaltungen und die Klangqualität wurde ein Vorprojekt durchgeführt. Im Selbstversuch wurde mit der Musikerphysiotherapeutin ein Training absolviert, um die oben erwähnten Muskelpartien bewusst zu aktivieren bzw. entspannen zu lernen. Gemessen und visualisiert wurden die Muskelaktivierungen durch Elektromyographie (EMG), eine elektrophysiologische Technik zur Messung von elektrischer Muskelaktivität.<sup>6</sup> Das Klanganalysesystem PRISMA<sup>7</sup> wurde herangezogen, um den Unterschied von Klangqualität in unterschiedlichen Spielhaltungen graphisch darzustellen.

Es zeigte sich, dass die unterschiedlichen Spielhaltungen sich durch Gegenüberstellung der unterschiedlich hohen Spannungspotenziale der gemessenen Muskelaktivitäten ohne weiteres in den EMG-Messwerten abbilden liessen. Auch der Unterschied der Klangqualität zwischen den Spielhaltungen aF und eF konnte mit PRISMA deutlich visualisiert werden.

Als Arbeitshypothese postulierten wir für die Spielweise aF eine optimierte Klangqualität gegenüber eF. Das Erbringen eines quantitativen Nachweises war Ziel des Projekts. Bei der Überprüfung der Arbeitshypothese wurde im Bereich der Spielhaltungen der Begriff der «Muskelhypothese», im Bereich der Klangqualität der Begriff der «Klanghypothese» verwendet.

Abbildung 3: Klangbeispiel 1.

Abbildung 4: Klangbeispiel 2.

Abbildung 5: Klangbeispiel 3.

Abbildung 6: Klangbeispiel 4.

Die fünf Muskelhypothesen – für jeden Muskel wurde eine einzelne Hypothese formuliert – postulieren den quantitativen Nachweis (EMG-Messungen), dass die oben beschriebenen Muskelgruppen in aF bzw. eF stärker bzw. weniger stark aktiviert werden.

Die Klanghypothese postuliert eine Verbesserung der Klangqualität beim Wechsel von eF zu aF.

## DATENGEWINNUNG

Um datengestützt zu untersuchen, ob eine aF-Spielhaltung gegenüber eF zu einer optimierten Klangqualität führt, haben wir eine Versuchsplanung entworfen, mit der sich in reproduzierbarer Weise Daten generieren liessen, aufgrund derer entschieden werden konnte, ob

- die interessierenden Muskelgruppen aktiviert wurden oder nicht, d.h. ob in der Spielhaltung aF oder eF gespielt wurde;
- die Klangqualität in aF oder in eF besser ist.

In der Absicht, die Arbeitshypothese in einem möglichst weiten Spektrum von musikalischen Parametern zu prüfen, wurden für die Studie vier verschiedenartige Klangbeispiele entworfen. In Anlehnung an das klassisch-romantische Repertoire beinhalteten die Klangbeispiele (vgl. Abbildungen 3 bis 6) folgende Herausforderungen im Bereich der Tonbildung:<sup>8</sup>

- Zuverlässigkeit und Intonationsicherheit der Ansprache zu Beginn einer Phrase in allen Registern,
- Qualität der Ansprache bei Tonwiederholungen,
- Zuverlässigkeit der Ansprache bei der Verbindung verschiedener Register und bei grösseren Sprüngen (legato und staccato),
- Zuverlässigkeit, Eleganz und Variabilität der Artikulation im Staccato,
- relative Intonation,
- absolute Intonation, Abweichung gegenüber  $a^1=442$  Hz,
- Intonationsstabilität und Qualität der Tonführung bei crescendo/diminuendo auf einer Note (messa di voce),
- Kontrolle über die Klangfarbe in allen Registern,

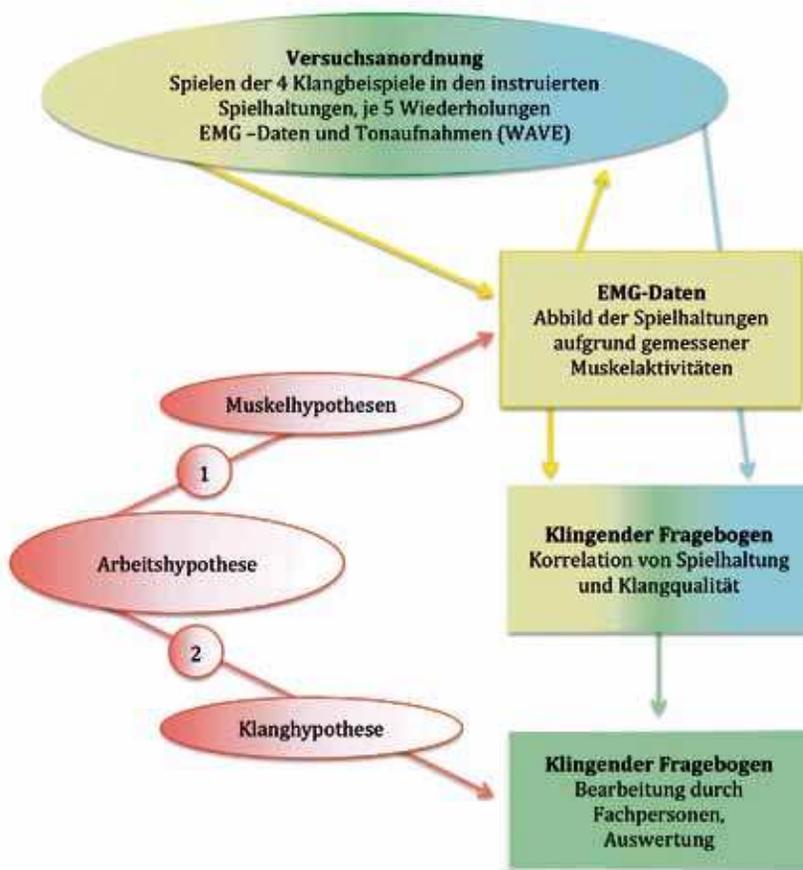


Abbildung 7: Versuchsplanung und Projektplanung. Die verschiedenen Themenkreise sind in folgenden Farben dargestellt: Spielhaltung gelb, Klangqualität blau, Korrelation von Spielhaltung und Klangqualität grün, Hypothesen rot.

- Ambitus der Dynamik,
- Flexibilität der dynamischen Gestaltung,
- Flexibilität und Lebendigkeit der Tonführung.

Im Zentrum der Versuchsplanung standen zeitgleiche Aufzeichnungen von EMG-Daten und Tonaufnahmen der vier Klangbeispiele in den unterschiedlichen Spielhaltungen. An den Messungen, durchgeführt im Labor des ZOA,<sup>9</sup> nahmen 21 Probanden teil. Diese Anzahl entspricht den statistischen Standards und erlaubt es, sicherzustellen, dass die erzielten Ergebnisse nicht vom einzelnen Probanden abhängen, sondern zumindest für eine Mehrheit der Klarinettenisten gelten.

Die Probanden (19- bis 56-jährig) waren: 14 Lehrpersonen (1w, 13m), 5 hauptberuflich in Berufsorchestern tätige Musiker (2w, 3m) sowie drei Studierende (2w, 1m). Alle konnten durch persönliche Anfrage für die Teilnahme gewonnen werden und sind sowohl künstlerisch wie pädagogisch tätig. Die Probanden wurden vorgängig über die Art der Messungen, insbesondere über die Applikation der Elektroden, informiert. Sie wussten, dass es um ein DORE-Projekt und um das Erforschen des Zusammenhangs zwischen Spielhaltung und Klangqualität ging, die Hypothesen wurden jedoch erst im zweiten praktischen Teil

vorgelegt (siehe unten). Nach einer kurzen Instruktion zur Umsetzung der Spielhaltung eF – sie war den meisten Probanden grundsätzlich vertraut – folgte die Einspielung der vier Klangbeispiele. Um zufällige Schwankungen von systematischen Änderungen der Muskelaktivierung unterscheiden zu können, wurden pro Haltung je fünf Wiederholungen der vier Klangbeispiele aufgezeichnet. Nach einem Training, das die Probanden in der bis anhin nicht bekannten Spielhaltung aF schulte – diese war allen Probanden neu –, erfolgte noch einmal die Aufzeichnung derselben Klangbeispiele im selben Modus. Es wurde darauf geachtet, dass bei allen Durchgängen der Abstand zum Mikrophon gleich gross war. Instrument, Blatt und Mundstück durften nicht gewechselt werden (zur Versuchsplanung vgl. Abbildung 7).

Bei allen fünf Wiederholungen der vier Klangbeispiele in eF- und aF-Spielhaltung wurden die Muskelaktivierungen durch EMG-Messungen quantifiziert. Die zeitlich hochaufgelösten elektrischen Signale wurden entsprechend geltenden Standards vorverarbeitet und über die Spieldauer robust gemittelt, um ein Mass für die Aktivierung der Muskeln während des Spielens zu bekommen. Die Elektroden wurden beim Wechsel der Spielhaltung nicht abgenommen oder verschoben, so dass

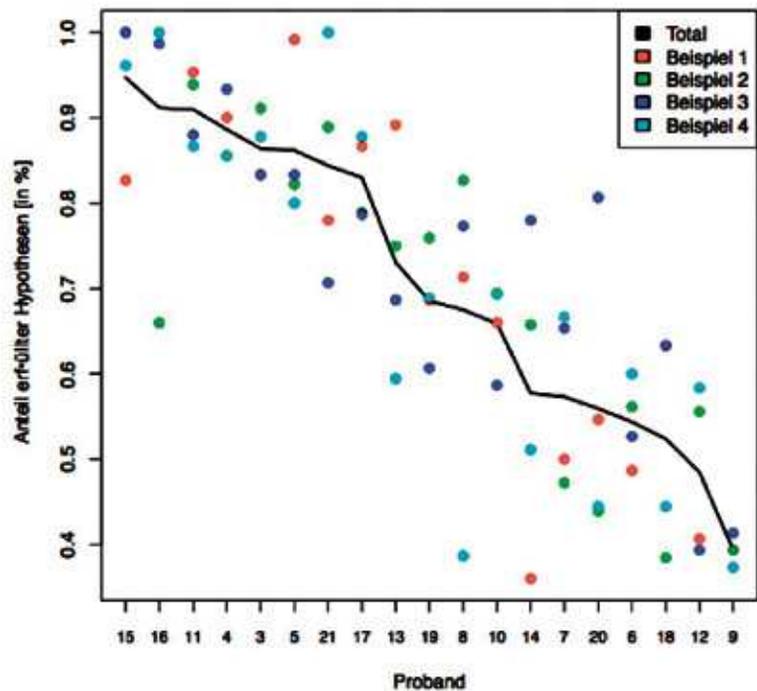


Abbildung 8: Muskelhypothesenüberprüfung in den Klangbeispielen 1 bis 4, alle Wiederholungen berücksichtigend.

eine Änderung des Signals direkt auf eine Änderung der Muskelaktivität zurückgeführt werden konnte. Durch Überprüfen der Muskelhypothesen anhand der EMG-Messungen wurden diejenigen 13 Beispielpaare identifiziert, bei denen die aF/eF-Spielhaltungen am besten umgesetzt wurden (vgl. in Abbildung 7 gelbes Feld / roter Pfeil 1).

Um zu untersuchen, ob für geschulte Hörer eine Differenz der Klangqualität zwischen eF und aF zu erkennen ist, wurden – der oben beschriebenen Selektion folgend – die gleichzeitig aufgenommenen 13 Klangbeispiele ausgeschnitten (gelber Pfeil) und im Format MP3<sup>10</sup> in einen klingenden Fragebogen eingeleitet (blauer Pfeil). Der klingende Fragebogen ist online offen zugänglich.<sup>11</sup> Es waren alle vier Klangbeispiele vertreten (dreimal Klangbeispiel 1, dreimal Klangbeispiel 2, dreimal Klangbeispiel 3, viermal Klangbeispiel 4), und sie wurden von acht verschiedenen Probanden gespielt.

13 Frageblöcke wurden zusammengestellt, von denen jeder jeweils ein Hörbeispiel beinhaltet, zusammengesetzt aus einem Sample a und eine Sample b. Die Samples wurden pro Frageblock immer von derselben Person gespielt und repräsentierten die unterschiedlichen Spielhaltungen. Mal wurde die aF-Variante als Sample a vorgespielt, mal die eF-Variante, die Hörer konnten also nicht wissen, welches Sample welche Spielhaltung repräsentierte.

## AUSWERTUNG UND DISKUSSION

Bei der Überprüfung der Muskelhypothesen wurden diejenigen Probanden ermittelt, die gemäss den EMG-Werten die Spielhaltungen aF und eF korrekt umsetzen konnten.<sup>12</sup> Zuerst wurden die Probanden identifiziert, die die meisten der Muskelhypothesen erfüllt haben. Als Grundlage dafür dienten die robust gemittelten Signale über die gesamte Spielzeit eines Klangbeispiels. Da jeder Proband für jedes der vier Klangbeispiele sowohl in der eF- als auch in der aF-Spielhaltung fünf Wiederholungen zu spielen hatte, gab es für jeden aF/eF-Vergleich zehn EMG-Scores, die in eine Rangfolge gebracht werden konnten. Zur Bestätigung der Muskelhypothesen war zu erwarten, dass die fünf EMG-Scores der aF-Spielhaltung die oberen fünf Ränge belegen würden. Die Muskelhypothesen wurden also mit dem Wilcoxon-Rangsummen-Test überprüft, der auf dieser Idee beruht und sonst keine Voraussetzung an die Verteilung der Werte stellt. Damit konnte für jeden Probanden und jedes der vier Klangbeispiele bestimmt werden, wie viele und welche Muskelhypothesen erfüllt wurden.

Ausgehend vom Vorprojekt, wo in der Spielweise aF eine deutlich geringere Aktivität der Bauchmuskulatur gemessen wurde, postulierten die Muskelhypothesen bei Aktivierung der hinteren Unter- und Oberschenkel- sowie der breiten Rücken-

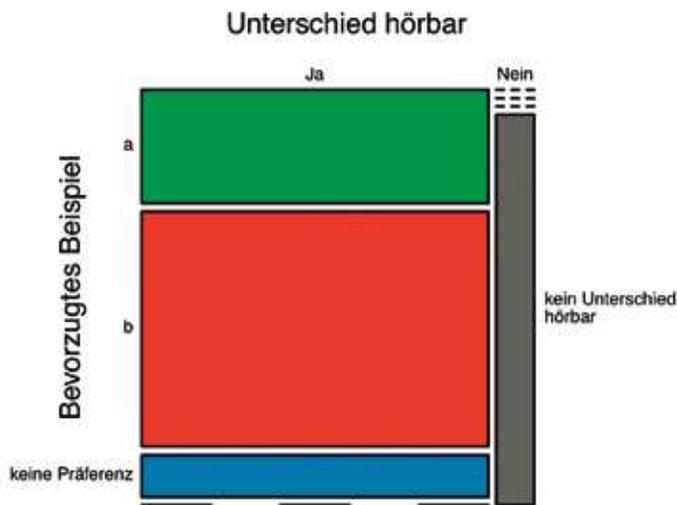


Abbildung 9: Struktur der graphischen Darstellung der Auswertung des klingenden Fragebogens:

- a steht für Sample a.
- b steht für Sample b.
- Das Verhältnis der grünen zur roten Fläche gibt Aufschluss darüber, wie oft aF (in allen Hörbeispielen grün) gegenüber eF (in allen Hörbeispielen rot) bevorzugt wurde.
- Das Verhältnis der Fläche des waagrechten blauen Streifens (unten) zur Gesamtfläche zeigt an, welcher Anteil der Hörer zwar einen Unterschied hörte, aber dennoch keine Präferenz zwischen den beiden Klangbeispielen bestimmen konnte.
- Das Verhältnis der Breite des rechten vertikalen Streifens in Anthrazit zur Gesamtbreite gibt an, welcher Anteil der Hörer die Frage «Ist ein Unterschied zwischen den beiden Klangbeispielen hörbar?» mit «Nein» beantwortet hat.

muskulatur eine Relaxation der oberen Anteile der geraden Bauchmuskulatur (Rectus). Das Training für die Spielweise aF strebte möglichst entspannte obere Anteile des Rectus an, um dem Zwerchfell eine optimale Bewegungsfreiheit zu gestatten. Die Überprüfung der Muskelhypothesen hat hier jedoch überraschende Ergebnisse ergeben: Die EMG-Daten unserer Versuchsanordnung zeigten in beiden Spielpositionen deutliche Aktivierungen des Rectus. Die Aktivierungen der Bein- und der breiten Rückenmuskulatur schienen also in keiner Weise eine Aktivierung des Rectus zu verhindern.

So wie die Aktivierung des Rectus nicht als charakteristisch für die Spielhaltung eF gelten konnte, so konnte die Relaxation des Rectus nicht typisches Merkmal der Spielhaltung aF sein. Es liess sich in dieser Versuchsanordnung aber nachweisen, dass die Aktivierung des Rectus zu einer Abnahme der Klangqualität führt, wenn er ohne gleichzeitige Aktivierung von Bein- und breiter Rückenmuskulatur als *Agonist* tätig wird. Die Hypothese bestätigte sich aber nicht, dass der Bauchmuskel beim Einsatz der Bein- und breiten Rückenmuskulatur als *Antagonist* zu arbeiten aufhört oder zumindest seine Aktivierung stark gebremst wird. Derselbe Zusammenhang ergab sich zwischen dem sehr breiten Rückenmuskel und dem Kapuzenmuskel. Der Bauchmuskel und der Kapuzenmuskel wurden folglich aus der Hypothesenformulierung ausgeschlossen.

Mit den drei mal zwei (für links und rechts) verbliebenen Muskelhypothesen, die aus fachlicher Sicht als plausibel angenommen wurden, ergab sich ein relativ klares Bild (vgl. Abbildung 1), das heisst, es war leicht möglich, diejenigen Probanden zu selektionieren, welche die im Training instruierten Muskelaktivierungen und Relaxationen willentlich umsetzen konnten, und zwar in allen Klangbeispielen.

Pro Proband und Klangbeispiel wird in Abbildung 8 der Anteil erfüllter Muskelhypothesen gegen die Nummer des Probanden abgetragen. Probanden nahe der y-Achse erfüllen die Muskelhypothesen besser als weiter entfernt liegende. Aus den von

diesen Probanden gespielten Beispielpaaren wurden dann diejenigen 13 aF/eF-Hörbeispiele für den klingenden Fragebogen ermittelt, bei denen die Haltungen gemäss EMG-Daten am besten umgesetzt wurden - in diesen Fällen wurden 80 bis 100% der Muskelhypothesen signifikant.

Auswertung des klingenden Fragebogens: Die 203 Personen, welche die klingenden Fragebögen beantworteten, sind Musiker, Musikstudenten, fortgeschrittene Schüler oder zumindest Musikliebhaber. Neben Lehrpersonen der Praxispartner konnten Musiker aus dem Orchester der Oper Zürich (ab 2012 Philharmonia Zürich), Studierende und Dozierende der Musikhochschulen Luzern, Basel, Bern, Lausanne und Zürich für die Mitwirkung gewonnen werden. Ferner ist es gelungen, weitere Interessierte in Deutschland und in den USA einzubeziehen. Jedes Hörbeispiel wurde von 50 bis 80 Hörern beurteilt. Im klingenden (und elektronischen) Fragebogen waren die Links zu den Hörbeispielen so eingearbeitet, dass sie mehrmals abgehört werden konnten.<sup>13</sup> Im ersten allgemeinen Frageblock wurden die Teilnehmenden über die verwendete Abhörtechnik (Kopfhörer, externe Boxen oder Laptop-Lautsprecher)<sup>14</sup> befragt, und es wurden demographische und musikbiographische Daten erhoben; es ergaben sich jedoch keine unterschiedlichen Präferenzmuster je nach künstlerischem Schwerpunkt, Hauptinstrument, beruflicher Haupttätigkeit, Muttersprache oder Alter (17 bis 70). Die Hörer hatten bei jedem Hörbeispiel zuerst anzugeben, ob sie einen Unterschied zwischen den Samples a und b hörten (in der obenstehenden Graphik vertikal als «bevorzugtes Beispiel» bezeichnet), und wenn ja, welches der beiden Samples sie bevorzugten. Als Sample a wurden etwa gleich häufig die Varianten aF und eF eingesetzt.

Anhand der eingereichten Fragebögen konnte für jedes der 13 Hörbeispiele berechnet werden, welcher Prozentsatz der Hörer die aF-Variante bevorzugt hat.

Die Auswertung wurde gemäss der in Abbildung 9 erläuterten Struktur graphisch dargestellt und ergab, dass bei allen

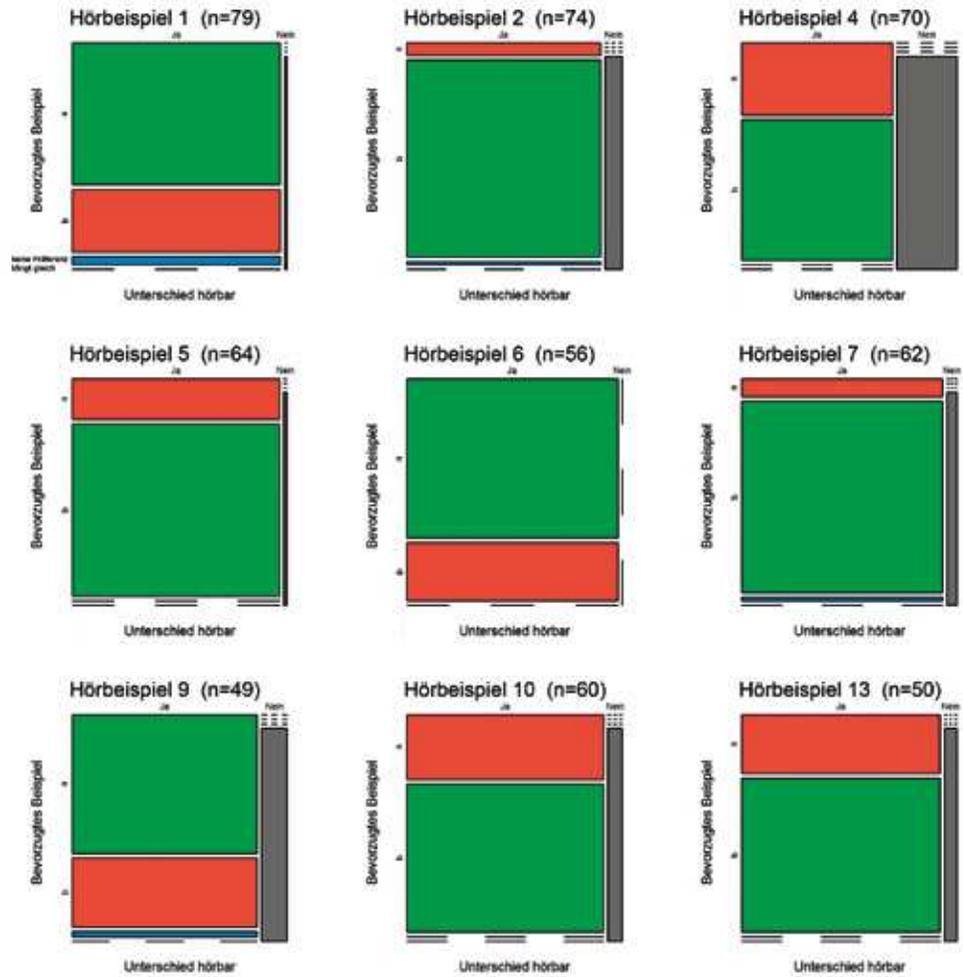


Abbildung 10: Auswertung der Hörbeispiele, bei denen aF signifikant häufiger als eF favorisiert wurde. P-Wert liegt global unter 0.05.  
 Hörbeispiele Nr. 1, 6 und 10 = Klangbeispiel 1; Hörbeispiele Nr. 2, 7 und 11 = Klangbeispiel 2;  
 Hörbeispiel Nr. 4 = Klangbeispiel 3; Hörbeispiele Nr. 5, 9 und 13 = Klangbeispiel 4.

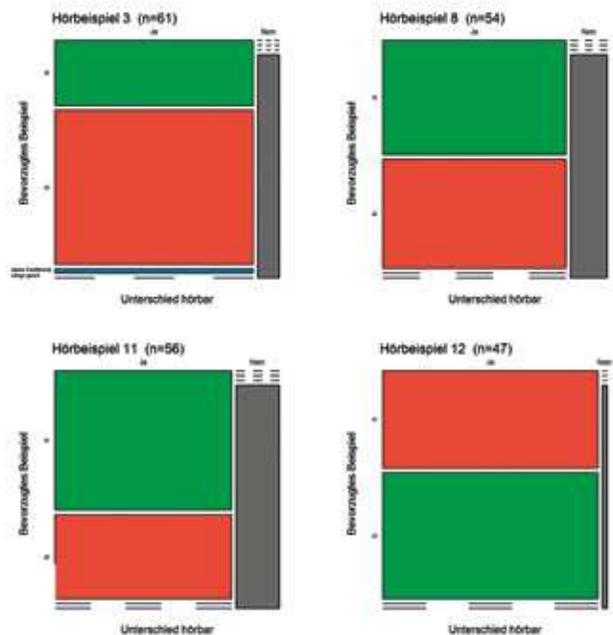


Abbildung 11: Auswertung der Hörbeispiele, bei denen kein signifikanter Unterschied zwischen aF und eF sichtbar bzw. eF favorisiert wurde (letzteres trifft für Nr. 3 zu).  
 Hörbeispiele Nr. 3 und 11 = Klangbeispiel 2;  
 Hörbeispiele Nr. 8 und 12 = Klangbeispiel 3.

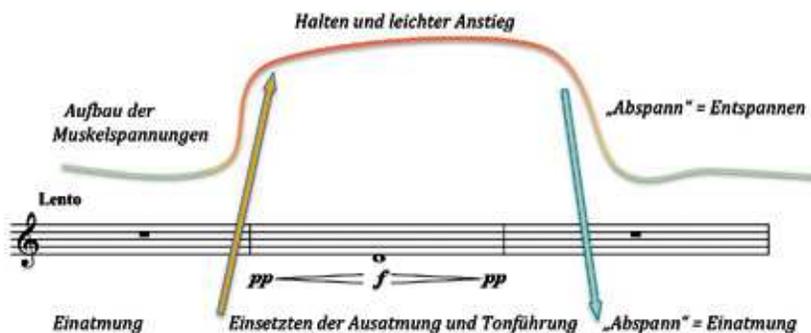


Abbildung 12: Spannungsverlauf der Muskelaktivierungen in der Spielhaltung af während der Tonübung «Messa di Voce». Der Verlauf der Spannungskurve zeigt modellhaft an, dass sich die Intensität des Luftstromes (traditionell durch die cresc./dim.-Gabeln dargestellt) und die Spannungen der Muskelaktivierungen nicht parallel verhalten.

Hörbeispielen eine grosse Mehrheit der Hörer einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Spielhaltungen af und ef feststellte. Anhand eines statistischen Tests (exakter Binomial-Test) über alle Fragebogenergebnisse liess sich zeigen, dass mit hoher Signifikanz die Hypothese angenommen werden kann, dass af gegenüber ef bevorzugt wird.<sup>15</sup> Konkret konnte bei 9 von 13 Beispielpaaren die Arbeitshypothese mit hoher Signifikanz nachgewiesen werden (P-Wert < 0.05), bei drei weiteren Beispielpaaren war diese Tendenz zwar sichtbar, aber nicht statistisch signifikant, und nur bei einem der dreizehn Beispielpaare wurde ef gegenüber af von einer Mehrheit der Hörer bevorzugt (vgl. Abbildungen 10 und 11).

### FAVORISIERTE SPIELHALTUNG IM PRAXISTEST

In mehreren Workshops mit den Lehrpersonen der Praxispartner wurde ein Übungsrepertoire für die angenommene klangoptimierende Spielweise erarbeitet, das in der Lehrtätigkeit wie in der eigenen instrumentalen Praxis zur Anwendung kommen sollte. Kern dieses Übungsrepertoires bilden einfache Körperübungen, welche ein bewusstes Aktivieren der beschriebenen Muskelgruppen schulen und mit Übungen der Tonbildung zu kombinieren sind. Wichtiges Prinzip dieser Übungen ist die Kombination der Muskelaktivierungen mit der Klangproduktion gemäss dem in Abbildung 12 gezeigten Spannungsverlauf. Die geschwungene Kurve entspricht dem Spannungsverlauf der Muskelaktivierungen. Wichtig ist, dass die Spannung bereits vor der klangauslösenden Ausatmung auf dem für die Klangproduktion erforderlichen Niveau ist. Das Loslassen der für af charakteristischen Muskelspannungen – sie können auch als Stützspannungen bezeichnet werden – muss reflexartig die Einatmung auslösen.

Die Koordination von Körperarbeit, Luftführung und musikalischer Gestaltung, dargestellt anhand der Übung «Messa di Voce» (vgl. Abbildung 12), kann modellhaft auf viele weitere Tonübungen übertragen werden. So können verschiedene

Tonhöhen (Fingerbewegungen), verschiedene Registerlagen (Anpassen der Resonanzräume) und verschiedene Artikulationen (Zungenform, -position und -bewegung) in diese Grundübung integriert werden. Das detaillierte Beschreiben weiterer Tonübungen sowie das Training zur isoliert gesteuerten Aktivierung der drei Muskeln Gastrocnemius, Hamstrings und Latissimus würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen. Ein Lehrmittel, in dem dies ausführlich dargestellt und mit weiteren Aspekten der Tonbildung kombiniert wird, ist in Vorbereitung.

Bevor die Lehrpersonen das Übungsprogramm im Unterricht anwendeten, wurde ein Workshop zur Vertiefung der Körperarbeit angeboten. Nach einem Semester erfolgte durch Fragebogen die Evaluation des Übungsprogramms in der Üb-, Konzert- und Unterrichtspraxis. Eine Kontrollgruppe von Schülern hatte Tonübungen ohne begleitende Körperübungen auszuführen. An der Befragung nahmen die Lehrpersonen und die Schüler teil. Die Auswertung der Fragebögen zeigte, dass Lehrpersonen in der relativ kurzen Zeit von zwei Monaten theoretisch und praktisch in die Projektidee eingeführt und geschult werden konnten. Sie profitierten sowohl als ausübende Musikerinnen und Musiker wie auch in ihrer pädagogischen Tätigkeit vom Gelernten.<sup>16</sup> Auch die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler der Anfänger- und Fortgeschrittenenstufe profitierten allesamt und kontrastierten zur Kontrollgruppe.

### INTERPRETATION UND AUSBLICK

Die vorliegende Studie lässt den Schluss zu, dass sich die beobachteten Muskelaktivierungen von Musculus gastrocnemius, Musculus ischiocruralis (Hamstrings) und Musculus latissimus dorsi in einer weiteren kinetischen Kette fortsetzen, die sich über den Beckenbereich zur Wirbelsäule und bis in die obere Rumpf- sowie in die Hals- und Kopfregion zieht. Hier findet der direkte Kontakt mit dem Instrument statt und führt zu einer intersubjektiv als besser beurteilten Klangqualität. Die

ursprüngliche Annahme, dass die Bauchmuskulatur bei dieser Spielhaltung entspannt bleibt, hat sich als Irrtum erwiesen. Tatsächlich bleibt die Bauchmuskulatur bei dieser Spielhaltung nicht entspannt, sondern wirkt als Antagonist zur sehr breiten Rückenmuskulatur.<sup>17</sup> Ausgehend von Erfahrungen des Vorprojektes dürften sich jedoch bei längerem, konsequent durchgeführtem Training in der Spielweise aF gezielt nur die unteren Anteile der Bauchmuskulatur verstärkt als Antagonist einsetzen lassen; das ist wünschenswert, weil dadurch eine grössere Bewegungsfreiheit des Zwerchfelles erreicht wird.

Im Vergleich dazu resultiert aus einer Spielhaltung, bei welcher der Musculus rectus (gerade Bauchmuskulatur) und der Musculus trapezius (Kapuzenmuskel) bewusst eingesetzt werden, ohne Musculus gastrocnemius, Musculus ischiocruralis (Hamstrings) und Musculus latissimus dorsi bewusst zu aktivieren, eine schlechtere Klangqualität. Da dieser Effekt unabhängig von instrumentalspezifisch wichtigen Faktoren festgestellt wurde,<sup>18</sup> darf angenommen werden, dass die nachgewiesene Klangrelevanz «ansatzferner» Muskeln auch bei anderen Blasinstrumenten einen positiven Einfluss auf die Klangqualität ausübt. Weitere die beschriebenen Muskelaktivierungen überlagernde Bewegungen, die sich aus dem musikalischen Verlauf ergeben, müssen keineswegs ausgeschlossen bleiben.

Die Ergebnisse der Praxisphase und der empirischen Tests versprechen eine lohnende Auseinandersetzung mit der favorisierten «Spielweise mit aktiviertem Fussgewölbe» aF von der Anfänger- bis zur professionellen Stufe. Grössere Effizienz beim Üben und eine Steigerung der instrumentalen Kompetenzen im Bereich der Tonbildung sind damit verbunden. Das Üben, die Probe- und Konzertpraxis sowie die Methodik des Instrumentalunterrichtes sind die gegebenen Anwendungsgebiete.

etwas Statischem verbunden werden. Der Prozess der Klangproduktion muss immer dynamisch sein: Beim Blasinstrument ist dies primär durch Wechsel von Spannung und Entspannung im Zusammenhang mit der Atmung gegeben; siehe auch den Abschnitt «Die favorisierte Spielhaltung im Praxistest».

- 4 Z. B. der Musculus latissimus (sehr breiter Rückenmuskel) und sein Gegenspieler, der Musculus rectus abdominis (gerade Bauchmuskulatur).
- 5 Siehe die bibliographischen Hinweise im Anhang auf S. 99.
- 6 Bei den Messungen wurden die Elektroden auf der Haut über den Muskeln appliziert. Es konnten keine tieferliegende Muskeln gemessen werden.
- 7 PRISMA ist ein «Klangfarben-Stimmgerät für Musiker und Instrumentenbauer», entwickelt von Franz Bachmann, Michael Bernhard und Hans-Christof Maier im Rahmen eines DORE-Projekts, Zürich/Burgdorf 2005 ([www.prisma-music.ch](http://www.prisma-music.ch)).
- 8 Dies ist eine zufällige Anordnung; Hörer und Spieler werden die Priorität der Parameter dem musikalischen Zusammenhang entsprechend festlegen.
- 9 Zentrum für Organisations- und Arbeitswissenschaften (ZOA) der ETH Zürich.
- 10 Um den Fragebogen online schalten zu können, musste das Format MP3 gewählt werden. Zur Qualität dieses Audioformates siehe auch Anm. 14.
- 11 [https://elearning.hslu.ch/ilias/repository.php?ref\\_id=800155&cmd=view](https://elearning.hslu.ch/ilias/repository.php?ref_id=800155&cmd=view) (20. April 2012).
- 12 Wenn zusätzlich das während der Versuchsanordnung aufgenommene musikphysiotherapeutische Protokoll weitgehend mit dieser Auswahl übereinstimmte, wurden für die Korrelationen von Spielhaltung und Klangqualität ausschliesslich EMG-Daten herangezogen.
- 13 Link zum deutsch und englisch verfassten Fragebogen in Anm. 11.
- 14 Der Einfluss der Qualität der Klangbeispiele beim Abhören kann relativiert werden, da die Auswertung der Frage nach einem hörbaren Unterschied in allen Beispielpaaren einen hohen, statistisch relevanten Ja-Anteil ergab.
- 15 Die Arbeitshypothese wurde nachgewiesen, indem die Nullhypothese, dass nämlich aF nicht zu einem besseren Klang führt als eF, auf einem Signifikanzniveau von 0.05 verworfen werden konnte.
- 16 Es wäre zu prüfen, wie lange der Elan nach solchen Workshops anhält bzw. wann der Alltag seinen Tribut zu fordern beginnt, in dem Routine zu Ermüdungserscheinungen führt. Im Projekt konnte die Langzeitwirkung nicht evaluiert werden.
- 17 Siehe auch den bionischen Ansatz für ein transkutanes Dosierungssystem, Folie 7: Trunk Stability unter [www.poh.ethz.ch/kit\\_works/p\\_tomatis](http://www.poh.ethz.ch/kit_works/p_tomatis) (20. April 2012).
- 18 Z. B. Ansatzformung, Kieferposition, Einsatz der Kiefermuskulatur, Vokalformung durch Zungenposition und -form, Ausformung der Mundhöhle, Rachenöffnung und Kehlkopfstellung.



Ein Fernsehbeitrag zu diesem Forschungsprojekt wurde vom Schweizer Fernsehen in der Sendung *Einstein* am 17.11.2011 ausgestrahlt und ist über [www.dissonance.ch/fwd/118hsm1.html](http://www.dissonance.ch/fwd/118hsm1.html) zugänglich.



Kommentierte bibliographische Hinweise im Anhang auf S. 99.

- 1 Das zwischen 2007 und 2011 realisierte, vom Schweizerischen Nationalfonds finanzierte Forschungsprojekt erfolgte in Zusammenarbeit des Instituts für Musikpädagogik der Hochschule Luzern – Musik (Heinrich Mätzner, Projektleiter; Hans-Christof Maier, Marc-Antoine Camp, Olivier Senn), des Instituts für Datenanalyse und Prozessdesign der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (Beate Sick, Co-Projektleitung), der Zürcher Hochschule der Künste (Johanna Gutzwiller, Co-Projektleitung) und des Zentrums für Organisations- und Arbeitswissenschaften der ETH Zürich (Laura Tomatis). Als Praxispartner waren beteiligt die Kantonsschule Pfäffikon & Nuolen, das Konservatorium Winterthur, die Musikschule Region Obermarch und das Zürich Konservatorium Klassik und Jazz.
- 2 Die hier erwähnten Parameter des Klanges werden nachfolgend im Begriff «Klangqualität» zusammengefasst.
- 3 Der im Wort «Spielhaltung» enthaltene Begriff «Haltung» darf nicht mit