

Aus der Klinik für Audiologie und Phoniatrie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Neue Aspekte in der objektiven Stimmanalyse zur Gewinnung
gesangspädagogisch relevanter Erkenntnisse

*New aspects in objective voice analysis for generating
knowledge relevant to vocal pedagogy*

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum medicinalium (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Matthias Müller
aus Stuttgart

Datum der Promotion: 26. Juni 2022

Inhaltsverzeichnis

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	2
Abkürzungsverzeichnis	2
1. Abstract in Deutsch	3
2. Abstract in Englisch.....	5
3. Manteltext	6
3.1. Einleitung und gesangspädagogischer Hintergrund	6
3.2. Methodik und Datenmaterial	10
3.3. Das Merkmal Vibrato: Gesangspädagogische Erkenntnisse und Ergebnisse der Vibratoanalysen	13
3.3.1. Eine Besonderheit der Bassstimmen.....	16
3.3.2. Eine Besonderheit der Baritonstimmen	17
3.4. Diskussion zu Fragen der Stimmfachklassifikation.....	17
3.4.1. Stimmfachfragen in Gesangsausbildung und sängerischem Berufsleben....	18
3.4.2. Entwicklung eines objektiven Systems zur Stimmfacheinschätzung.....	19
3.5. Erörterung und Ausblick zur objektiven Analyse von Resonanzstrategien	21
3.6. Literaturverzeichnis.....	25
4. Eidesstattliche Versicherung	29
5. Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation	31
6. Auszug Journal Summary List (ISI Web of KnowledgeSM)	33
7. Druckexemplar der Publikation.....	35
M. Müller, T. Schulz, T. Ermakova, and P. P. Caffier, „Lyric or Dramatic - Vibrato Analysis for Voice Type Classification in Professional Opera Singers,“ <i>IEEE/ACM Transaction on Audio, Speech and Language Processing</i> , vol 29, pp. 943–955, 2021.	
8. Lebenslauf.....	48
9. Publikationsliste	49
10. Danksagung	50

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

- | | |
|---|-------|
| 1. Tabelle 1: Ergebnisse der Vibratoanalysen | S. 14 |
| 2. Abbildung 1: Vergleich Vibrato vs. Triller (Länge jeweils 926 ms). | S. 16 |

Abkürzungsverzeichnis

Hz	Hertz (Anzahl der Schwingungen pro Sekunde)
ISS	Institut für Signalverarbeitung und Systemtheorie, Universität Stuttgart
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
PHE	Position of half energy
SD	Standardabweichung
SF	Sängerformantbereich
VE	Vibratoamplitude (engl.: vibrato extent)
VR	Vibratofrequenz (engl.: vibrato rate)

1. Abstract in Deutsch

Die Möglichkeiten der objektiven Stimmanalyse haben sich in den letzten Jahren rasant entwickelt. Im Gegensatz dazu kann festgestellt werden, dass die Gesangspädagogik die meist computergestützten Analysemöglichkeiten der Gesangsstimme vergleichsweise langsam für sich auswertet und gewinnbringend in eine moderne Pädagogik integriert.

In dem hier vorgestellten interdisziplinären Forschungsprojekt wurde eine Datenbank mit 1723 Klangbeispielen aus 30 Opern, einem Oratorium und 73 Gesangsübungen zusammengestellt. Die Klangsequenzen aus den Opern und dem Oratorium wurden veröffentlichten Gesamtaufnahmen entnommen, die 73 Gesangsübungen wurden von professionellen Opernsängerinnen live für die Stimmanalyse eingesungen. Alle Beispiele können einem typisch dramatischen oder einem typisch lyrischen Stimmfach in den Stimmlagen Sopran, Tenor, Bariton und Bass zugeordnet werden. Jedes Beispiel dieser umfangreichen Datenbank enthält einen Ton mit einer Mindestlänge von 6 Sekunden, der ohne oder mit nur sehr wenig Orchesterbegleitung zu hören ist. Damit sind die Voraussetzungen erfüllt, um sowohl in der Zeit-Domäne als auch in der Frequenz-Domäne differenzierte Analysen durchzuführen. In einer für die Datenbank bereitgestellten Matlab-Umgebung wurden Merkmale entwickelt, mit denen innerhalb jeder Stimmlage eine Klassifizierung in die Stimmstruktur lyrisch und dramatisch vorgenommen werden kann. In der vorliegenden Ausarbeitung des Projekts wird das Vibrato als ein wertvolles Merkmal für die Klassifikation von Opernstimmen vorgestellt. Die in die Matlab-Umgebung implementierten Algorithmen berechnen die Vibrato-Frequenz (VR) und die Vibrato-Amplitude (VE).

In den Stimmlagen Sopran und Tenor konnte gezeigt werden, dass VE in den dramatischen Stimmfächern größer ist und VR kleiner ist als in den lyrischen Stimmfächern. Bei den Baritonstimmen ergab sich eine unerwartete Besonderheit: VE war bei den lyrischen Stimmen signifikant größer als bei den dramatischen. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die höheren Stimmlagen eine geringfügig größere VR haben als die tieferen. Durch Untersuchungen in der Frequenz-Domäne konnte gezeigt werden, dass eine Klassifizierung mit dem hier vorgestellten Ansatz in der Stimmlage Bass wissenschaftlich nicht nachvollziehbar ist. Im Kontext der gesamten Matlab-Umgebung lassen sich auf der Basis dieser Ergebnisse gesangspädagogisch wertvolle Hinweise für die Stimmfachbeurteilung ableiten. Da zu jedem Klangbeispiel auch das

Datum der Aufnahme in der Datenbank abgelegt wurde, ermöglicht die Auswertung der Ergebnisse auch Aussagen über intraindividuelle Entwicklungen der Sängerpersönlichkeiten und über eine allgemeine stilistische Entwicklung im Laufe der Zeit. Zusätzlich konnte als methodischer Ansatz eine Modellmethode mit synthetisch manipulierten Dateien entwickelt werden, die auf den Analysen der Datenbank basiert.

2. Abstract in Englisch

The possibilities of objective voice analysis have developed rapidly in recent years. In contrast, it can be stated that vocal pedagogy has been comparatively slow in evaluating the mostly computer-aided analysis possibilities of the singing voice for itself and profitably integrating them into a modern pedagogy.

In the interdisciplinary research project presented here, a database of 1723 sound samples from 30 operas, one oratorio, and 73 vocal exercises was compiled. The sound sequences from the operas and the oratorio were taken from published complete recordings, and the 73 vocal exercises were sung live by professional opera singers for vocal analysis. All examples can be assigned to a typically dramatic or a typically lyric voice type in the soprano, tenor, baritone and bass vocal register. Each example in this extensive database contains a single tone with a minimum length of 6 seconds, which can be heard without or with very little orchestral accompaniment. This fulfills the prerequisites for performing differentiated analyses in both the time domain and the frequency domain. In a Matlab environment provided for the database, features were developed to classify into the voice structure lyric and dramatic within each vocal register. In this elaboration of the project, vibrato is presented as a valuable feature for the classification of operatic voices. The algorithms implemented in the Matlab environment calculate the vibrato rate (VR) and vibrato extent (VE).

In the soprano and tenor vocal registers, VE was shown to be larger and VR smaller in the dramatic voice type compared to the lyric voice type. In the baritone voices, an unexpected special feature emerged: VE was significantly larger in the lyric voices than in the dramatic ones. Overall, it was shown that the higher vocal registers had a slightly larger VR than the lower registers. By investigations in the frequency domain it could be shown that a classification with the approach presented here is not scientifically comprehensible in the bass vocal register. In the context of the entire Matlab environment, valuable indications for the evaluation of voice types can be derived on the basis of these results. Since the recording date was also stored in the database for each sound sample, the evaluation of the results also allows statements to be made about intraindividual developments of the singers' personalities and about a general stylistic development over time. In addition, as a methodological approach, it was possible to develop a model method with synthetically manipulated files based on the analyses of the database.

3. Manteltext

3.1. Einleitung und gesangspädagogischer Hintergrund

Gesangspädagogik ist traditionell deutlich geprägt von subjektiven Erfahrungen der Lehrerinnen und Lehrer, die insbesondere in der Hochschulausbildung häufig erfolgreiche Künstlerpersönlichkeiten sind oder waren. Da man die Entstehung des Tons im Gesang nicht beobachten kann, basieren viele Beschreibungen der Tonentstehung auf einem subjektiven Erleben.

In der Kommunikation zwischen lehrender und lernender Person werden die Ebenen der subjektiven Wirklichkeit und einer allgemeingültigen Beschreibung der physischen und akustischen Prozesse beim Singen häufig nicht unterschieden. Jan Hammar spricht von einem Wissenstransfer, der „zu einem erheblichen Teil durch eine nicht wissenschaftlich formulierte Blumen-Gefühlssprache übertragen“ wird [1, p. 147]. In vielen Fällen stört diese unausgesprochene Vermischung zweier verschiedener Kommunikationsebenen den Lernprozess, die Vermittlung des „praktischen Wissens“ nicht [1, p. 225]. Die Fähigkeit, die eigene Stimme den vielfältigen Ansprüchen der klassischen Musik entsprechend einzusetzen, wird trotz dieser Vermischung erfolgreich vermittelt. Im Lernprozess folgt den Schilderungen der subjektiven Wirklichkeit dann häufig ein Nachahmungsprozess, den Anselm Ernst als „Modellmethode“ beschrieben hat [2, p. 81–82]. Das Prinzip des Nachahmens ist im Menschen tief verwurzelt und insbesondere im Gesang ist die Modellmethode sehr beliebt und verbreitet.

In den vergangenen Jahren haben sich die Möglichkeiten der objektiven Darstellung von Tonentstehungsprozessen rasant weiterentwickelt. 1998 stellte Don Miller das Computerprogramm VoceVista bei den internationalen Stuttgarter Stimmtagen zum ersten Mal einem breiten Fachpublikum in Deutschland vor. Damit war der Weg geebnet, um „Resonanzstrategien“ in Echtzeit objektiv analysieren zu können [3, p. 125], [4, p. 213], [5, p. 84]. Das gesangspädagogisch fundierte Wissen, um die spektralen Analysen der Singstimme für eine objektive, nachvollziehbare, differenzierte Darstellung verschiedener Resonanzstrategien zu benutzen, hat sich deutlich langsamer entwickelt als die dafür benötigte Hard- und Software. Im Jahr 2012 schreibt der renommierte Gesangspädagoge Jan Hammar: „Durch akustische und physikalische Messungen haben Wissenschaftler wie Johann Sundberg, Harm Schutte und Donald Miller, Ingo Tietze – um nur einige zu

nennen – in den letzten Jahren den Erkenntnisstand über stimmliche Vorgänge deutlich erweitert.“ [1, p. 18] In neuester Zeit kommen weitere Möglichkeiten, die Entstehung eines Gesangstones objektiv darzustellen, hinzu. Die DVD „Die Stimme“ [6], die am Freiburger Institut für Musikermedizin entwickelt wurde und 2017 erschienen ist, gibt einen lebendigen Eindruck davon, wie präzise heute beispielsweise der Larynx und die Resonanzräume während der Tonproduktion in einer Magnetresonanztomographie (MRT) dargestellt werden können. Es existiert heute ein sehr hohes Niveau an objektiv darstellbarem Wissen über das Singen, mit dem man einerseits die subjektiven Beschreibungen gesanglicher Prozesse ergänzen, überprüfen und gegebenenfalls korrigieren kann. Andererseits kann aus den akustischen Messungen Wissen generiert werden, mit dem Lernziele objektiv darstellbar formuliert werden können. In diesen Fällen hängt die Kommunikation zwischen lernenden und lehrenden Personen nicht mehr in dem hohen Maße von den subjektiv geprägten Schilderungen der erfolgreich singenden Persönlichkeit ab, sondern kann mit objektiven Beobachtungen abgeglichen werden. In einigen Fällen ist es sogar möglich, Lernziele ganz konkret zu formulieren, indem man die gemessenen Parameter einer aktuellen Resonanzstrategie erfasst, sie mit einer *idealisierten Form* dieser Resonanzstrategie abgleicht und daraus ein konkretes Lernziel für die lernende Person entwickelt. Mit der im Ausblick vorgestellten Modellmethode mit synthetisch manipulierten Klangbeispielen wird man auch dem oben erwähnten Prinzip des Nachahmens in gewisser Weise gerecht.

Das zentrale Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Möglichkeiten der modernen Stimmanalyse so einzusetzen, dass konkret verwertbare Ergebnisse für die Gesangspädagogik formuliert werden können und Fehlentwicklungen frühzeitig erkannt und verhindert werden können. Gleichzeitig soll mit den gewonnenen Erkenntnissen eine Möglichkeit geschaffen werden, die Kommunikation innerhalb der Gesangspädagogik zeitgemäßer zu gestalten. Denn immer noch hängt der synergetische Prozess, der aus den stimmanalytischen Ergebnissen moderner Messmethoden und den subjektiven Erfahrungen der sängerischen und der gesangspädagogischen Praxis entwickelt werden kann, dem theoretischen Wissen aus der Sicht des Autors weit hinterher. Mit zwei Beispielen soll verdeutlicht werden, dass häufig eine Brücke fehlt zwischen dem subjektiven sängerischen Instinkt und einem theoretischen allgemeingültigen Wissen über Gesang:

Beispiel 1:

In den „Workshops zum Thema Spektralanalyse mit VoceVista“ [5, p. 25] werden häufig die Resonanzstrategien der berühmten Tenöre Placido Domingo und Luciano Pavarotti verglichen. Zu Beginn des Workshops werden die Teilnehmer (vorwiegend professionelle Gesangspädagogen und Gesangspädagoginnen bzw. Sängerinnen und Sänger) gebeten, mit ihren eigenen Worten den Unterschied der beiden Stimmen zu beschreiben. Es gab fast immer eine Gruppe von Teilnehmern, die Pavarotti „mehr Obertöne“ zuschrieb, deshalb würde die Stimme eben „heller“ klingen. Mit genau den gleichen Worten „mehr Obertöne“ hob eine andere Gruppe die Eigenart Domingos hervor. Bei Domingo würden „mehr Obertöne“ zu einem besonderen „Körperklang“ oder ähnlich formulierten Eigenschaften führen. Mit der Begrifflichkeit „mehr Obertöne“ beschreibt eine Gruppe den Unterschied von A zu B und eine andere Gruppe den Unterschied von B zu A. Mit diesem Widerspruch wird deutlich, dass die subjektive Vorstellung von Klangproduktion und -wahrnehmung für eine Kommunikation unter verschiedenen professionell singenden Persönlichkeiten deutlich begrenzt ist. Es wird eine weitere Sprachebene mit allgemeingültigen Begrifflichkeiten benötigt, um über den Unterschied der verschiedenen subjektiven Sichtweisen kommunizieren zu können. Es sind tatsächlich die Obertöne, welche die unterschiedliche Charakteristik der beiden berühmten Sänger verursachen, aber nicht „mehr“ oder „weniger“, sondern unterschiedliche Frequenzbänder, innerhalb derer eine besondere Verstärkung stattfindet. In der Beschreibung der beiden Resonanzstrategien „*Dominanz des Sängerformanten*“ [5, p. 85–91] und „*Formanttuning mit dem zweiten Vokalformanten*“ [5, p. 91–96] wird das dazu notwendige Wissen vermittelt.

Beispiel 2:

Der Phoniater Matthias Echternach berichtet immer wieder in seinen Vorträgen von renommierten professionellen Sängerinnen oder Sängern, die scheinbar genau beschreiben können, was sie physiologisch tun, um in bestimmten Tonlagen den hohen Anforderungen des Opernrepertoires gerecht zu werden. In einer Untersuchung am Freiburger Institut für Musikermedizin stellt sich dann häufig heraus, so berichtet Echternach, dass diese Vorstellung nicht dem tatsächlichen Geschehen entspricht. Im Dezember 2014 wurde ein ausführlicher Bericht einer solchen Untersuchung veröffentlicht [7]. Eine international erfolgreiche Opernsängerin, die als lyrische Mezzosopranistin ihre Bühnenkarriere begann, später ins dramatische Sopranfach

wechselte und schließlich als Professorin für Gesang an einer deutschen Hochschule unterrichtete, stellte sich für eine Untersuchung in dem hochmodernen Freiburger Labor zur Verfügung. Die Probandin konnte in einem Vorgespräch Fragen stellen und wurde informiert über das, was in ungewohnter Umgebung auf sie zukommen würde. Im MRT wurde sie gebeten, zunächst Registerbrüche zu demonstrieren, die sie auf der Bühne stets erfolgreich vermeidet. Mit dieser Untersuchung kann man die einzelnen Registerphänomene objektiv beschreiben. Schließlich wurde sie gebeten mit ihrer Bühnenstimme in der hohen Stimmlage zu singen. Auch diese Aufgabe konnte sie routiniert umsetzen. *„Wie haben Sie das gemacht?“* wurde sie gefragt. *„Bei hohen Tönen hebe sie das Gaumensegel an, ..., und gebe zugleich leichten Druck im Unterbauch – mache sozusagen eine Gegenbewegung zu den aufsteigenden Tönen. Auf dem MRI-Bild ist deutlich das genaue Gegenteil zu sehen: Das Gaumensegel klappt zur Zunge herunter.“* [7]

Da sich erfolgreiche Künstlerpersönlichkeiten in der Praxis ständig beweisen müssen, sind sie im Falle einer erfolgreichen Karriere natürlich überzeugt von der Art und Weise, wie sie singen, und der Vorstellung, die sie sich von dem machen, was sie tun. Die zuhörenden Persönlichkeiten sind geneigt, der Beschreibung der erfolgreich ausführenden Persönlichkeit Glauben zu schenken; sie erkennen ein Vorbild. Wenn die differenzierte Beschreibung (der hochangesehen ausführenden künstlerischen Persönlichkeit) einer qualitativ hochwertigen sängerischen Umsetzung in deutlichem Widerspruch zum naturwissenschaftlich nachweisbaren, objektiv darstellbaren physiologischen Ablauf dieser sängerischen Umsetzung steht, dann ist aus der Sicht des Autors die Notwendigkeit einer akademischen Aufarbeitung dieser komplexen Situation indiziert. Ein Bestandteil dieser Komplexität besteht auch darin, dass die oben erwähnte prominente Probandin zum Schluss dieser Untersuchung feststellte: *„...das Wissen über die Physiologie der Stimme helfe ihr beim Singen nicht: ‚Ich kann doch auf der Bühne nicht überlegen, welchen Muskel ich als nächstes betätigen soll!‘, so die Sängerin, die sich als Professorin ... selbst intensiv mit Stimmphysiologie beschäftigt hat.“* [7]

Beide Beispiele belegen eindrucksvoll, wie notwendig die Unterscheidung zwischen einer subjektiven Wahrnehmung und einer allgemeingültigen, objektiv nachvollziehbaren Beschreibung gesanglicher Prozesse für eine effektive und zeitgemäße Kommunikation innerhalb der Gesangspädagogik ist. Die konkrete Benennung von Resonanzstrategien kann dazu einen wesentlichen Beitrag leisten, indem sie eine Brücke schlägt von der

„Blumen-Gefühlssprache“ [1, p. 147] zu einer die Wirklichkeit abbildenden Aussage über einen akustischen Prozess. Damit wäre dem Wunsch „*Selbstverständlich wäre es wünschenswert, wenn die Wahl der Bilder/Vorstellungen sowie der gewählte Sprachschatz sich nicht allzu weit von der wissenschaftlichen Realität entfernen würde.*“ [1, p. 147] nicht nur genüge getan, sondern der dahinterstehende Gedanke wird weiterentwickelt. Einerseits darf die Blumen-Gefühlssprache ganz dem individuellen Ziel der lernenden Person untergeordnet werden – und hat damit sehr gute Voraussetzungen, das praktische Wissen, die individuelle Fähigkeit, die eigene Singstimme den Anforderungen entsprechend optimal einzusetzen, erfolgreich zu vermitteln. Andererseits verfügt die Lehrperson dann über die sprachliche Möglichkeit, den akustischen Prozess im entsprechenden Kontext mit allgemeingültigen Begriffen zu beschreiben. Es entsteht eine Gesangspädagogik, die sich einer zeitgemäßen Kommunikation bedient, in der nicht akzeptiert werden muss, dass subjektive Wahrnehmung mit einem objektiv darstellbaren akustischen Geschehen verwechselt wird.

In einem interdisziplinären Prozess mit Unterstützung des Instituts für Signalverarbeitung und Systemtheorie (ISS) der Universität Stuttgart konnte ein System zur Stimmfunktionsklassifizierung entwickelt werden, das für die Gesangspädagogik wertvolle Erkenntnisse liefert. Im Rahmen der Vibrato-Untersuchungen waren unsere Haupthypothesen: (1.) Die Vibrato-Amplitude ist größer, und (2.) die Vibrato-Frequenz ist kleiner bei dramatischen im Vergleich zu lyrischen Stimmen [8, pp. 943-944]. Im Folgenden werden die Methodik, Ergebnisse und die Bedeutung von Vibratoanalysen im Kontext der entwickelten Analyse-Umgebung für die Gesangspädagogik differenzierter dargestellt. Außerdem werden in einem Ausblick Resonanzstrategien vorgestellt, die eine objektive Beschreibung von Lehr- und Lernzielen ermöglichen, sowie die Entwicklung eines neuen methodischen Ansatzes skizziert, der auf den Ergebnissen der Stimmanalysen basiert.

3.2. Methodik und Datenmaterial

Es wurde eine Datenbank mit insgesamt 1723 Klangbeispielen für die Stimmlagen Sopran, Tenor, Bariton und Bass zusammengestellt. Die Klangbeispiele setzen sich aus 30 Opern, einem Oratorium und 73 Gesangsübungen zusammen. Die Klangsequenzen aus den Opern und dem Oratorium wurden veröffentlichten Gesamtaufnahmen entnommen, während die 73 Gesangsübungen von professionellen Opernsängerinnen

live für die Stimmanalyse eingesungen wurden. Jedes Beispiel hat eine zeitliche Länge zwischen 6 und 15 Sekunden und kann einem typisch dramatischen oder einem typisch lyrischen Stimmfach in den Stimmlagen Sopran, Tenor, Bariton und Bass zugeordnet werden. Als Referenzen für die Zuordnung einer Opernpartie in die jeweilige Klasse wurden der renommierte Opernführer von Kloiber [9] und eine Studie [10] zum deutschen Stimmfachsystem benutzt. Die Überprüfung der Zuordnung anhand dieser Quellen verlief widerspruchsfrei. Die Klangbeispiele wurden in eine Matlab-Umgebung implementiert, in der verschiedene Analysen automatisiert für eine bestimmte Auswahl der Klangbeispiele durchgeführt werden können. Die Benennung der Beispiele wurde so konstruiert, dass folgende Parameter automatisch in das System eingelesen werden:

- 1) die Stimmlage und Stimmstruktur, das Eingangslabel
(S → Sopran; T → Tenor; B → Bariton; L → Bass; 1 → dramatisch; 2 → lyrisch)
- 2) die Identität der Sängerpersönlichkeit
(mxxx → männlich; wxxx → weiblich; xxx → dreistellige Ziffer)
- 3) die Abkürzung für die Partie (vier Schriftzeichen)
- 4) die Vokalfarbe des zu analysierenden Tons (ein Schriftzeichen)
- 5) die Tonhöhe der zu analysierenden Stelle aus der Partitur (deutsche Notation)
- 6) eine Indizierung pro Tonhöhe und gleicher Vokalfarbe

Hier ein Beispiel für einen Ton aus der Partie Tamino aus Mozarts Zauberflöte:
„T2-m014-Tami-A-g1-1“

Für jedes Klangbeispiel ist eine Informationsdatei mit dem gleichen Namen in der Datenbank hinterlegt, die folgende Informationen enthält:

- Jahr der Aufnahme
- Verweis auf die entsprechende Stelle in der Partitur
- Anfang und Ende des Untersuchungsintervalls
- Identifikationsnummer des Klangbeispiels

Für die Berechnung des Alters der Künstlerpersönlichkeiten zum Zeitpunkt der Aufnahme wurden die dafür notwendigen Daten in einer weiteren Datei zusammengefügt. In einer Benutzeroberfläche mit dem Namen VibratoGUI werden für jedes Klangbeispiel folgende Einstellungen festgelegt:

- 1) die Länge des Untersuchungszeitraums
- 2) eine manuelle Auswahl für die Vibrato-Berechnung
(relevant, falls automatischer Ausschluss vorliegt)
- 3) ein manueller Ausschluss von der Vibrato-Berechnung
- 4) eine manuelle Auswahl der Harmonischen für die Vibrato-Berechnung
(automatisch wird immer die stärkste gewählt)
- 5) die Wahl verschiedener Visualisierungsmodi für den Untersuchungszeitraum

Weitere Details zu 1) bis 5) sind in Kapitel 7 beschrieben [8, p. 945]. Außerdem kann in der VibratoGUI neben dem Untersuchungszeitraum, der sich jeweils auf eine Tonhöhe mit einem Vokal beschränkt (eine Note aus der Partitur), auch die Gesamtlänge des Klangbeispiels angehört werden, um einen Eindruck vom musikalischen Kontext zu erhalten. Nach der Festlegung des Untersuchungszeitraums werden in dieser GUI u.a. die automatisch berechneten Werte für die Vibrato-Frequenz (VR), die Vibrato-Amplitude (VE) und den für die objektive Beschreibung einer von der Vokalfarbe unabhängigen Stimmfarbe entwickelten Parameter „*Position of half energy*“ (PHE) angezeigt [11, pp. 30-31]. Der PHE gibt den energetischen Schwerpunkt innerhalb des Sängerformantbereichs (SF) für jede Stimmlage an. Er lässt sich prozentual oder als absolute Frequenz angeben. In der VibratoGUI kann eine graphische Darstellung der Energieverteilung innerhalb des SF ausgewählt werden.

Die in der Matlab-Umgebung entwickelten Merkmale wurden benutzt, um eine möglichst effektive automatische Klassifikation in die Klassen „lyrisch“ und „dramatisch“ pro Stimmlage zu erreichen. Dazu wurden verschiedene Klassifikationsverfahren, die in Matlab ausgeführt werden können, getestet. In einem weiteren Schritt wurde in Python ein System entwickelt, in dem Klassifikationen mit effektiveren Methoden durchgeführt werden können. Um die in der Matlab-Umgebung erhaltenen Merkmale der Tonbeispiele in Python aufrufen zu können, wurde ein Exportieren von dem Matlab-Format in das CSV-Format implementiert [12, p. 31]. In Python wurde eine Benutzeroberfläche aufgebaut, in der u.a. der Stacked-Random-Forest Klassifikator aufgerufen werden kann [12, p. 38–43].

3.3. Das Merkmal Vibrato: Gesangspädagogische Erkenntnisse und Ergebnisse der Vibratoanalysen

Das Vibrato ist ein zentraler, integraler Bestandteil des klassischen Gesangs und wurde in vielen Studien nach unterschiedlichen Kriterien untersucht. Meistens werden die Frequenz (VR in Hz) und das Maß der Abweichung von der mittleren Grundtonschwingung, der Extent (VE in Cent) bestimmt. Schon 1934 schreibt W.T. Bartholomew, dass eine gute Stimmqualität „*untrennbar verbunden sei mit einem sanften und gleichmäßigen Vibrato*“ [13]. Die Frequenz dieses Vibratos beschreibt er mit „*ungefähr 6 bis 7 Hz*“. Fast 70 Jahre später wird mit modernen Methoden der Ingenieurstechnik und einer relativ kleinen Anzahl von Klangbeispielen der Hinweis belegt, dass eine möglichst geringe Variabilität des VR und des VE als ein Qualitätsmerkmal für ein gutes Vibrato angesehen werden kann [14]. In den Studien über das Vibrato entfernen sich die obere und untere Grenze der beiden Parameter VR und VE im Laufe der Zeit immer weiter voneinander. Manfredi hat in Ihrer Studie [15] über akustische Parameter die Grenzen für VR zwischen 4,2 – 8,1 Hz sowie (mit Bezug auf Ferrante [16]) die Grenzen für VE bei den männlichen Beispielen zwischen 38 – 130 Cent und bei den weiblichen zwischen 17 – 145 Cent festgelegt. Aus der Sicht des Autors ist es bemerkenswert, dass sich trotz der offenbar großen Bedeutung des Vibratos und der oben beschriebenen Beobachtung über die Entwicklung der beiden Parameter, die Auffassung „*Das Vibrato des Sängers entsteht im Laufe der Gesangsausbildung im allgemeinen von selbst, ...*“ [17] sehr lange gehalten hat und seiner Beobachtung nach immer noch weit verbreitet ist. Der renommierte Gesangspädagoge Gerhard Faulstich schreibt im Jahr 2000: „*Eine konsequente methodische Verwertung der gewonnenen Erkenntnisse [über das Vibrato, Anm. d. Verf.] schlägt meines Wissens zum ersten Mal P. M. Fischer vor. Bei ihm gilt das Vibrato sogar ,als Grundlage funktionaler Technik‘*“ [18, p. 112]. Bei Fischer heißt es am Ende einer komplexen Analyse des Vibratos: „*Die in den Vibratoformen auftretenden Bewegungsrhythmen sind in hohem Maße schulungsfähig.*“ [19, p. 278]

Die breite Datenbasis unserer Studie stellt aussagekräftige Vibratowerte bereit, die eine pädagogische Neubewertung des Merkmals Vibrato ermöglichen. Die gemessenen VR aller Beispieltöne lagen zwischen 4,16 und 8,98 Hz. Die gemessenen VE aller Klangbeispiele schwankten zwischen 12,8 und 204,0 Cent. Damit war die Schwankungsbreite beider Parameter deutlich größer als in vergleichbaren Studien [15, 16, 20, 21], wobei anzumerken ist, dass in einigen Veröffentlichungen Werte außerhalb

bestimmter Grenzen von der Berechnung ausgeschlossen wurden. In der vorliegenden Untersuchung wurde kein Beispiel aufgrund der Über- oder Unterschreitung eines Grenzwertes ausgeschlossen. Auch im intraindividuellen Vergleich konnten größere Schwankungsbreiten der beiden Parameter VR und VE bestimmt werden, als in einer vergleichbaren Studie [22]. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die traditionelle Sicht, das Vibrato *entwickelt sich von selbst*, kritisch diskutiert werden muss, denn es gibt immer mehr Hinweise auf die Erlernbarkeit des Vibratos bzw. auf beeinflussende Parameter. Im Bereich der populären Musikstile beispielsweise gilt das Vibrato als ein zu erlernender Effekt, der gezielt eingesetzt werden kann [23]. Tabelle 1 zeigt eine kompakte Zusammenfassung aller Vibratoanalysen und exemplarisch die individuellen Werte zweier Sänger.

Tabelle 1: Ergebnisse der Vibratoanalysen.

Stimmtyp/ Interpret	VR in Hz		VE in Cent		Anzahl der Vibratobeispiele
	Mean	SD	Mean	SD	
Sopran gesamt	6,26	0,82	88,69	28,43	752
Sopran dramatisch	6,16	0,66	99,07	34,07	409
Sopran lyrisch	6,38	0,82	76,30	28,43	343
Tenor gesamt	6,13	0,6	79,15	23,97	387
Tenor dramatisch	6,00	0,54	83,23	21,29	188
Tenor lyrisch	6,25	0,64	75,30	25,72	199
Bariton gesamt	6,04	0,57	95,39	31,73	291
Bariton dramatisch	5,97	0,51	82,83	27,82	142
Bariton lyrisch	6,11	0,61	107,35	30,67	149
Bass gesamt	6,10	0,83	80,65	28,79	127
Bass dramatisch	6,07	0,68	80,59	29,56	98
Bass lyrisch	6,23	0,69	80,83	24,48	29
Placido Domingo	6,24	0,43	72,72	17,81	49
Mario Cassi	5,84	0,39	130,10	25,73	21

VR: Vibrato-Frequenz (Rate); VE: Vibrato-Amplitude (Extent); Mean: Mittelwert; SD: Standardabweichung (Tabelle vom Autor erstellt)

Mit Ausnahme der nachfolgend beschriebenen Besonderheiten bei den Bariton- und den Bassstimmen konnten die eingangs formulierten Hypothesen bestätigt werden: Innerhalb einer Stimmlage ist bei den dramatischen Stimmen einerseits VE größer und andererseits VR kleiner als bei den lyrischen Stimmen. Die Zahlen in Tabelle 1 geben auch einen Hinweis darauf, dass höhere Stimmen ein schnelleres Vibrato haben als tiefere. Dieser Unterschied ist allerdings sehr klein und kann für die Bässe nicht bestätigt werden, was vermutlich auf die im Verhältnis zu den anderen Stimmlagen geringe Anzahl der Daten zurückzuführen ist. Der Hinweis bestätigt den diesbezüglichen Höreindruck des Autors aus seiner gesangspädagogischen und allgemeinen Hörerfahrung.

Da sowohl die Aufnahmedaten als auch das Alter der Ausführenden in der Datenbank erfasst wurden, können individuelle Entwicklungen der Singenden und allgemeine stilistische Entwicklungen aufgezeigt werden [8, p. 950]. Aus der Sicht der Lehrkräfte können Daten dieser Art eine hilfreiche Unterstützung bieten.

Der Vergleich der Standardabweichungen belegt, dass die Schwankungsbreite beim VE deutlich größer ist als beim VR. Diese Beobachtung liefert u.a. einen wertvollen Hinweis für die gesangspädagogische Frage, mit welchen Methoden man die Ausführung eines Trillers erlernen kann. Bei den lyrischen Sopranen gibt es einige Klangbeispiele mit einem VE von etwas mehr als 100 Cent und einer VR mit mehr als 6 Hz (die meisten anderen Klangbeispiele mit mehr als 100 Cent haben eine kleinere Frequenz). Das spektrale und auditiv-perzeptive Abbild dieser Beispiele sind dem eines Trillers um einen Halb- oder Ganzton sehr ähnlich. Damit kann die Aussage über „*vibratoähnliche Tonhöhenmodulationen, wie beispielsweise Tremolo und Triller ...*“ [24] deutlich präzisiert werden. Rein akustisch ist feststellbar, dass ein Triller um einen Halb- oder Ganzton und ein Vibrato mit den oben genannten Kenngrößen nahezu identisch sind. Lediglich in der Frequenzdomäne erkennt man in dem in Abbildung 1 gezeigten Beispiel einen deutlichen Unterschied im Frequenzbereich des SF. Die Abbildung vergleicht das Klangbeispiel S2-w046-Nori-O-ges2-1 mit dem spektralen Abbild eines Trillers zwischen f2 und g2 aus der gleichen Partie, gesungen ebenfalls von der Sängerin w046. Die Energie im Bereich des SF ist im Klangbeispiel mit dem gemessenen Vibrato deutlich größer als in dem Beispiel mit dem Triller. Der Vergleich ist intraindividuell; damit ist sichergestellt, dass die Sängerin beide Klangerscheinungen herstellen kann. Den dargestellten Unterschied erkennt man nur, wenn man sowohl in der Zeit-Domäne als auch in der Frequenz-Domäne untersucht [8, p. 953].

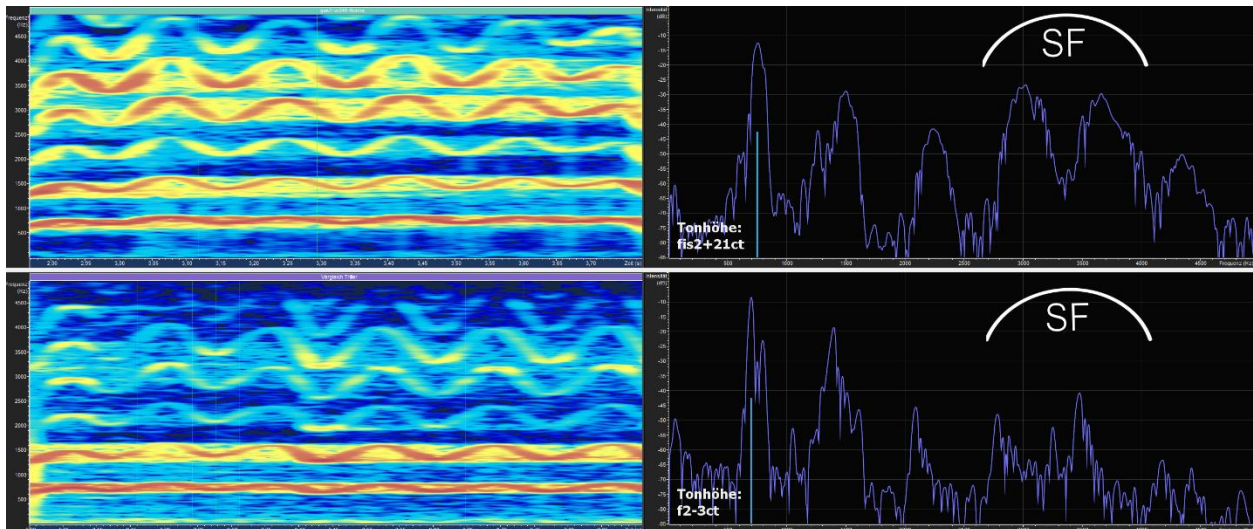


Abbildung 1: Vergleich Vibrato vs. Triller (Länge jeweils 926 ms). Links Spektrogramm, rechts Spektrum von 0 bis 5000 Hz. Oben: Vibrato mit VR = 6,02 Hz, VE = 126,3 Cent; Tonhöhe fis2 (750 Hz). Unten: Triller f2 (697 Hz) /g2 (784 Hz). (Abbildung vom Autor erstellt, benutzte Software: VoceVista Video Pro Ver. 5.4, www.sygyt.com)

3.3.1. Eine Besonderheit der Bassstimmen

„Stimmklang und Stimmcharakter betreffend, sind besonders Stimmtiefe und dunkle Färbung die Hauptmerkmale des Seriösen Basses. Diese müssen in der Stimmstruktur bereits vorhanden sein.“ [10, p. 27] Gleichzeitig ordnet Ling in seinem Lösungsvorschlag zur Neuordnung der Stimmfächer den seriösen Bass sowohl der „Bühnenkategorie“ „Dramatischer Bass“ als auch der Kategorie „Lyrischer Bass“ zu [10, p. 260]. Damit wird deutlich, dass der oben erwähnte Parameter PHE, ein Indikator für die Stimmfarbe, keinen Beitrag zur Unterscheidung der Stimmstruktur (lyrisch oder dramatisch) in der von Ling beschriebenen Neuordnung leisten kann. Auch die Ergebnisse der Vibratoanalysen deuten darauf hin, dass die Unterscheidung in die Stimmstruktur lyrisch und dramatisch innerhalb der Stimmlage Bass nicht möglich ist.

Kloiber hingegen verwendet die Begriffe „lyrisch“ und „dramatisch“ bei der Beschreibung der Fächer für die Bassstimme nicht. Er schreibt einerseits, dass die Gliederung in die Kategorien „Lyrisches Fach – Zwischenfach – Heldenfach¹“ „in allen Stimmlagen durchgeführt werden“ kann [9, p. 925]. Andererseits werden die Begriffe „lyrisch“ und „dramatisch“ bei der konkreten Benennung der Stimmfächer innerhalb der Stimmlage Bass – im Gegensatz zu allen anderen Stimmlagen – nicht genannt. Für die Stimmlage

¹ Die Begriffe *Heldenfach* und *dramatisches Fach* werden synonym verwandt.

Bass werden dort: „*Spielbaß*“, „*Schwerer Spielbaß*“, „*Seriöser Baß*“ genannt. Die von Ling in dramatisch und lyrisch unterschiedenen Partien aus der hier vorgestellten Datenbank werden bei Kloiber alle dem „*seriösen Bass*“ zugeordnet. Aus der Sicht des Autors wird Kloiber mit dieser Sonderbehandlung der notwendigerweise dunklen Färbung aller Fächer in der Stimmlage Bass gerecht.

3.3.2. Eine Besonderheit der Baritonstimmen

Die größte Überraschung der gesamten Untersuchung stellt aus der Sicht des Autors der hohe VE bei den lyrischen Baritonstimmen dar. Die Hypothese, dass bei dramatischen Stimmen innerhalb einer Stimmlage der VE des Vibratos höher ist als bei lyrischen Stimmen, entspricht der allgemeinen und der gesangspädagogischen Hör-Erfahrung. Die Ausnahme bzw. Besonderheit bezüglich der Baritonstimmen wirft viele Fragen auf. Gibt es eine physiologische Begründung für dieses Phänomen? Wird sich unser ästhetisches Empfinden des typisch lyrischen Klangs verändern, wenn wir dieses Phänomen bewusst verarbeitet haben? Wie wird sich das „*prophetische Hören*“ [1, p. 69] der Gesangsfachkräfte verändern, wenn dieses Phänomen adaptiert wurde? Oder wird es zum Auslöser einer Kritik an der innerhalb der letzten Jahrzehnte nachgewiesenen Entwicklung des Vibratos? In der vorliegenden Untersuchung konnte nachgewiesen werden, dass VE in den Jahren 1948 bis 2013 innerhalb der Stimmlagen beider Geschlechter angestiegen ist. Diese Entwicklung gilt auch innerhalb der Klassen lyrisch und dramatisch über alle Stimmlagen gemeinsam. [8, p. 950 linke Spalte] In einer anderen Untersuchung von Sopranstimmen konnte in einem Vergleich einer Phrase der Tosca aus der gleichnamigen Oper von Giacomo Puccini nachgewiesen werden, dass der VE durchschnittlich um etwa 56 Cent/Jahrhundert gestiegen ist [16]. Gibt es einen Zusammenhang dieser allgemeinen Entwicklung zu der hier beschriebenen Besonderheit?

3.4. Diskussion zu Fragen der Stimmfachklassifikation

Die Stimmfachfrage stellt sich in der Gesangspädagogik immer wieder und hat für Sängerinnen und Sänger häufig einen existenziellen Charakter. Aus diesem Grunde beschäftigen sich auch Phoniater immer wieder mit der Frage, was die wesentlichen

Unterschiede zwischen den Anforderungen einer lyrischen bzw. einer dramatischen Partie sind [25], [26, pp. 110-115].

Das von Kloiber ausführlich beschriebene deutsche Stimmfachsystem wird seit einigen Jahren gelegentlich infrage gestellt. Ling hat es 2008 als anachronistisch bezeichnet und für die männlichen Stimmfächer eine Neuordnung vorgestellt. In dieser neuen Klassifikation der Stimmfächer wird u.a. die „*Stimmstruktur*“ [10, pp. 27-29, 66] bzw. der „*Stimmtyp*“ [10, pp. 257-258] als Informationsquelle benutzt. Er schreibt in seinem Lösungsansatz: *„Die Unterscheidung von lyrischen und dramatischen Fächern beispielsweise könnte bestehen bleiben, weil sie primär Stimmtypen beschreibt, zu denen auch Partien problemlos zugeordnet können.“* [10, p. 258] Die vorliegende Untersuchung klassifiziert genau nach dieser Kategorie, dem Stimmtyp, der als notwendige Voraussetzung für die Bewältigung eines entsprechenden Stimmfach angesehen werden kann. Auch die Herausgeber der neuesten Ausgabe des renommierten Opernführers von Kloiber haben 2016 entschieden, das kritisch diskutierte „Kloiber-System“ in das ausführliche Kapitel über Fachpartien und Besetzungsfragen wieder mit aufzunehmen und damit der Unterscheidung zwischen lyrischen und dramatischen Fächern wieder eine zentrale Aufmerksamkeit gegeben. *„Der bequemere Weg wäre gewesen, im Verzicht auf die Bestimmung der Stimmfächer nur noch über die Stimmlagen Auskunft zu geben. Dennoch haben wir uns entschlossen, das Kloiber-System trotz dieser Bedenken beizubehalten. Den Lesern hätten wir nämlich sonst eine interessante zusätzliche Information über das Profil der jeweiligen Partien vorenthalten. Die Fragestellung heutiger Interpreten nach den für eine Gesangspartie charakteristischen Merkmalen orientiert sich nämlich weniger an den historischen Ausprägungen, vielmehr an den gesangstechnischen Anforderungen, die eine Partie stellt.“* [9, p. IX]

3.4.1. Stimmfachfragen in Gesangsausbildung und sängerischem Berufsleben

Häufig wird die Stimmfachfrage schon während der Ausbildung intensiv diskutiert. Zunächst stellt sich zumindest die Frage, in welche Stimmlage die Studentin oder der Student einzuordnen ist. Die Lehrfachkräfte stellen dann im Laufe der Ausbildung schon mit der Auswahl der Unterrichtsliteratur bestimmte Weichen. Welche Beschaffenheit hat die auszubildende Stimme, welche Stimmstruktur liegt vor? Welche stimmlichen

Anforderungen kann sie leichter erfüllen? In der Ausbildungspraxis werden die Opernarien zunächst immer mit Klavierbegleitung gesungen, die Lehrperson muss dabei den Aufbau des Orchesters im Blick haben, das in der Aufführungspraxis zum Einsatz kommt. Wird die Stimme geeignet sein, sich über ein großes Orchester hinwegzusetzen, wie es in einer typisch dramatischen Partie etwa von dem Komponisten Richard Strauss der Fall ist? Die Schalldruckpegel, die von einem ganzen Orchester erzeugt werden, sind deutlich höher als die eines Klaviers oder Flügels, auf dem innerhalb der Ausbildung zur Begleitung gespielt wird [27]. In einer dramatischen Partie sind dabei häufig über lange Strecken hohe Lautstärken mit großer Durchschlagskraft gefordert. In einer typisch lyrischen Partie ist der Lautstärkepegel des begleitenden Orchesters durchschnittlich gesehen tiefer; der Fokus liegt eher auf einer besonderen Ästhetik des Klangs, häufig auf einer hohen Beweglichkeit der Stimme. Immer wieder gibt und gab es Fälle, in denen ein Weg nach schmerzlichen Erfahrungen korrigiert werden musste. Eine Art „*prophetischen Hörens*“ [1, p. 69] ist für diesen Prozess notwendig. Die Auswahl der Literatur wird sich entwickeln und gegen Ende der Ausbildung sollte sie, wenn das Ziel die Oper sein soll, in die Befähigung führen, den Anforderungen bestimmter Gesangspartien gerecht werden zu können.

Die berufliche Existenz einer Opernsängerin oder eines Opernsängers kann bedroht sein, wenn es Anzeichen einer persistierenden stimmlichen Erschöpfung gibt [28, 29]. Die Erschöpfung kann funktionell oder organisch bedingt sein und im Zusammenhang mit den ausgewählten Partien auf akute oder chronische Überlastungen zurückzuführen sein [30]. Das Angebot, bestimmte Partien zu singen hängt von vielen sehr unterschiedlichen Faktoren ab und kann hier nur skizziert werden, um einen Eindruck der Komplexität zu bekommen. Folgende Faktoren können eine Rolle spielen: Alter, Erscheinungsbild, darstellerische Fähigkeiten, persönlicher Wunsch, finanzielle Gründe, Marktlage. Schnell kann eine gewisse Abhängigkeit von bestimmten Angeboten entstehen. Bevor man eine bereits getroffene Entscheidung rückgängig macht, sollte hinsichtlich der Abklärung von laryngealer Konstitution und Belastbarkeit ein Austausch mit einem spezialisierten Gesangsphoniater erfolgen [31, 32].

3.4.2. Entwicklung eines objektiven Systems zur Stimmfacheinschätzung

Theoretisch ist es möglich, Klangbeispiele hinsichtlich der Stimmfachzugehörigkeit automatisiert von unserem entwickelten System bestimmen zu lassen [12], womit eine

Art objektive Empfehlung vorliegt. Einerseits besitzt dieses System eine hohe Wertigkeit, denn die Auswertung der zuletzt durchgeführten Stimmfachklassifikation ergab Erkennungsraten von bis zu 80% [12, p. 65]. In Anbetracht der relativ niedrigen Trennschärfe zwischen „lyrisch“ und „dramatisch“ und der Existenz von sogenannten „Zwischenfächern“ [9, p. 925] ist dieser Wert als sehr gut einzuschätzen. Andererseits kommt dieses Ergebnis für die Gesangsfachkräfte aus einer Art „Black-Box“, denn ein großer Teil der hier zur Anwendung kommenden Operationen aus Signalverarbeitung und „Ensemble-Learning“ [12, p. 15] sind für sie nicht mehr nachvollziehbar. Außerdem ist der Prozess für die Bestimmung ungelabelter² Klangbeispiele derzeit noch sehr aufwendig und soll in einem weiteren Schritt benutzerfreundlicher gestaltet werden. Aus diesem Grund wird hier exemplarisch gezeigt, wie die erarbeiteten Daten bezüglich gesangspädagogisch nachvollziehbarer Parameter für eine Stimmfachbestimmung gewinnbringend herangezogen werden können. Die konstruktive Darstellung dieser Datenauswertung wird aus der Sicht des Autors auch das Vertrauen in eine Empfehlung der „Black-Box“ positiv beeinflussen.

Mit dem Vergleich der Stimmen des spanischen Tenors Placido Domingo und des italienischen Baritons Mario Cassi kann beispielhaft demonstriert werden, wie die ermittelten Daten als Orientierung in der Stimmeurteilung benutzt werden können. Die beiden Stimmen wurden ausgewählt, weil der Tenor Domingo mit einer vergleichsweise dunklen Stimmfärbung, „*durchaus einem lyrischen Bariton vergleichbar*“ [33, p. 167] singt, und der Bariton Cassi – gemessen an seinem Repertoire – einen typisch lyrischen Bariton verkörpert. Diese Beobachtung ist gesangspädagogisch essentiell, weil man intuitiv gerne davon ausgeht, dass die dunklere Stimme auch der tieferen Stimmlage zuzuordnen ist [4, p. 87]. Es ist also wichtig, den Klang möglichst differenziert zu analysieren. Erneut zeigt sich, dass hierfür Untersuchungen sowohl in der zeitlichen als auch in der spektralen Domäne notwendig sind [8, p. 953 linke Spalte]. Das dunkle Timbre kann mit dem in der Matlab-Umgebung implementierten Merkmal PHE abgebildet werden. Dieser liegt für Domingo tiefer als für Cassi. Gesangspädagogisch wichtig ist hierbei die Unabhängigkeit vom Vokal, es ist der Gesamtklang der Stimme [5, pp. 69, 74], der eine dunklere Farbe hat. Eine Beobachtung, die zur Hinterfragung der Stimmlage führen kann. Vergleicht man die Vibratowerte der beiden Stimmen, so bestätigt das schnellere Vibrato Domingos die höhere Stimmlage und der ausgesprochen hohe VE

² Klangbeispiel, dem kein Eingangslabel für die Stimmstruktur zugeordnet ist (siehe 3.2)

Cassis kann – den neuen Erkenntnissen entsprechend – als typisches Merkmal eines lyrischen Baritons gewertet werden. Die Zahlen können helfen, die Stimmfacheinteilung zu bestätigen bzw. zu verstehen. Gleichzeitig stellt die getrennte Beobachtung der beiden Vibratoparameter eine horzonterweiternde Herausforderung für die Gesangslehrkräfte dar. Im ersten Schritt ist es eine Art Hörtraining, die beiden Parameter gut zu unterscheiden, im zweiten können die Ergebnisse – den neuen Erkenntnissen entsprechend – differenziert interpretiert werden.

Die Beobachtung eines baritonales Timbres bei einer Stimme, die der Stimmlage Tenor zugeordnet wurde, gibt es immer wieder und kann essentielle Fragestellungen erzeugen. Einen eindrucksvollen Beleg dafür liefert das Interview mit dem weltberühmten deutschen Tenor Jonas Kaufmann vom 12. August 2013. Er schildert die hier dargestellte Problematik von der anderen Seite. Seine Stimme hätte nicht immer so geklungen wie heute. *„Ich habe lange mit einer ganz anderen Farbe gesungen und das hat mir gar nicht gutgetan. Ich hab halt einen typischen hellen, leichten deutschen Tenor imitiert und meine Stimme hat immer mehr gestreikt. Bis ein Lehrer kam, der sagte probier's doch mal anders ...“*. [34] Er berichtet weiter, dass er zunächst erschrocken sei über die neue Farbe, aber es wäre das gewesen, *„was eben natürlich vorhanden war“*. Der „Lehrer“, von dem Kaufmann berichtet, verfügte offensichtlich in diesem Fall über das oben erwähnte *„prophetische Hören“* und konnte ihm den Weg zu seiner Stimme, seinem Timbre zeigen.

3.5. Erörterung und Ausblick zur objektiven Analyse von Resonanzstrategien

In der spektralen Darstellung eines Gesangstons können verschiedene Charakteristika eines Klangs objektiv beschrieben werden. Schon 1999 erörterte Don Miller, der Erfinder des Computerprogramms VoceVista, den Unterschied der Resonanzstrategien von Placido Domingo und Luciano Pavarotti [35, p. 204]. 2015 veröffentlichte der Autor erstmals eine ausführliche Beschreibung dieser Resonanzstrategien in deutscher Sprache [5, pp. 84-96]. Die konkrete Benennung der Strategien erleichtert, wie in der Einleitung beschrieben (Beispiel 1), die Kommunikation innerhalb der Gesangspädagogik.

Mit Hilfe der in dieser Dissertationsschrift vorgestellten Datenbank kann gezeigt werden, dass die Strategie der Dominanz des SF von verschiedenen Interpreten - auch in anderen

Stimmlagen - realisiert wird. In der ausführlichen Darstellung dieser Strategie werden neben den Klangbeispielen von Placido Domingo auch Aufnahmen der dramatischen Baritone George London und Franz Crass, der Bassisten Kurt Moll, Gottlob Frick und Josef Greindl und des Tenors Mario del Monaco analysiert [5, pp. 85-91]. Außerdem werden zwei Beispiele von Studenten diskutiert, die ebenfalls die Strategie der Dominanz des SF erkennen lassen. Mit der auditiven und visuellen Wahrnehmung dieser Resonanzstrategie kann die Gesangslehrkraft den spezifischen Klangcharakter erfassen und damit ihr Beurteilungsvermögen bereichern, insbesondere in Abgrenzung zu der von Luciano Pavarotti praktizierten Strategie. Außerdem wird eine Möglichkeit geschaffen, die fachliche Kommunikation über außergewöhnliche Stimmen wie etwa die von George London mit allgemeingültigen Begriffen zu führen. Die sonst üblichen Formulierungen wie *große volltönende Stimme, baritonale dämonische, kernige, unverkennbare, männlich temperierte Stimme, oder der metallische, ganzkörperliche, durchschlagende, tragfähige Klang seiner Stimme* geben zwar auch Auskunft über den Charakter eines Klangs, bieten aber nicht die Möglichkeit einer technisch differenzierten Analyse, wie es mit der konkreten Benennung der Resonanzstrategien möglich wird.

Eine weitere resonanzstrategische Beobachtung liefert die Überlappung der Harmonischen durch einen entsprechend großen VE des Vibratos. Bei einigen Beispielen der dramatischen Sopranstimmen konnten relative Maxima in einem von der Sängerin offensichtlich bevorzugten Frequenzband festgestellt werden. Liegen Teiltöne innerhalb dieses Frequenzbandes werden sie besonders verstärkt und treten im Spektrum als relatives Maximum hervor. Liegt kein Teilton in diesem individuell bevorzugten Frequenzband, dann sorgt die Überlappung der darüber- und darunterliegenden Harmonischen dafür, dass die Sängerin trotzdem ein relatives Maximum innerhalb dieses Frequenzbandes herstellen kann [5, pp. 161-165]. Es wird zu klären sein, ob die Sängerin instinktiv diesen resonatorischen Effekt herbeiführt. Eine systematische Untersuchung dieses Phänomens könnte hilfreiche Aspekte für die gesangspädagogische Beurteilung des Vibratos bringen.

Abschließend soll ein praktischer Ausblick auf die vom Autor entwickelte Modellmethode mit synthetisch manipulierten Klangbeispielen erfolgen. Don Miller benutzte die Möglichkeiten der spektralen Analyse u.a. um zu demonstrieren, wie die Sopranstimmen im klassischen Gesang den Übergang in die Hohe Lage bewältigen [35, pp. 198-200]. Der Autor beschreibt diese „H1-Strategie“ im Jahr 2015 in deutscher Sprache sehr

ausführlich [5, pp. 97-103]. Die hier vorgestellte Datenbank liefert viele Klangbeispiele, mit denen diese Resonanzstrategie nachvollzogen bzw. demonstriert werden kann. Das einfache Charakteristikum dieser Strategie besteht in einer absoluten Dominanz der ersten Harmonischen innerhalb des Untersuchungszeitraums. Der Tonbereich, ab dem diese Strategie praktiziert wird, ist individuell verschieden und liegt durchschnittlich zwischen d_2 und fis_2 . Oberhalb dieses hohen Registerübergangs verfolgen im klassischen Gesang *alle* Stimmen die H1-Strategie. Es ist ein immer wieder erstaunliches Ergebnis, wenn man exponierte Töne oberhalb dieses Übergangs aus der Opernliteratur extrahiert und auditiv sowie spektral analysiert: Die Bilder sehen alle sehr ähnlich aus und man kann die Vokalfarben nicht mehr in der gewohnten Weise unterscheiden. Die Grundschiwingung ist zu hoch ($g_2 \sim 788$ Hz) und „*die Teiltöne sind ... weit voneinander entfernt*“ [4, p. 88]. Ähnlich wie bei Richter wird in der Literatur meistens von den in der hohen Lage zunehmenden Schwierigkeiten gesprochen, insbesondere die hellen oder ganz dunklen Vokale noch darzustellen.

Insgesamt steht zweifelsfrei fest, dass man die Beherrschung der H1-Strategie als eine notwendige Voraussetzung für den professionellen klassischen Gesang einer Sopranstimme betrachten kann [5, p. 99]. Diese strukturelle Einfachheit – im Vergleich zur Vielfalt der Resonanzstrategien innerhalb der Männerstimmen – vereinfacht die Vision für eine Korrektur einer unzureichend ausgeführten H1-Strategie. Aus diesen Gedanken heraus entstand die Idee der Modellmethode mit synthetisch manipulierten Klangbeispielen. *„Das Lernziel ist objektiv formulierbar. In manchen Fällen kann man mit einem einfachen Wave-Editor diese Vision – dieses Lernziel – synthetisch realisieren. Der Ton mit der unzureichend ausgeführten Resonanzstrategie wird gezielt manipuliert und dient dann der lernenden Person als Vorbild. Sie hört, wie ihre eigene Stimme klingen könnte. Sie hört Klangfarben in ihrer eigenen Stimme, die sie u. U. so noch nie erzeugt hat. Dies kann – in gewisser Hinsicht auch im Sinne Tomatis – die Tür zu einem differenzierteren Umgang mit der eigenen Stimme öffnen.“* [5, p. 166]

Die Altistin und Gesangsprofessorin Marion Eckstein (Musikhochschule Stuttgart) stellte zwei ihrer Gesangsstudentinnen für eine Arbeitsphase mit dieser Methode zur Verfügung. Beide Probandinnen erhielten durch die Arbeit mit den manipulierten Dateien einen deutlich positiven Impuls in ihrer stimmlichen Entwicklung. Eine Probandin schilderte, dass der Vergleich der manipulierten Datei mit der real gesungenen ein „*starkes Körpergefühl*“ in ihr auslöste. Sie konnte einige Manipulationen sofort sehr gut imitieren.

Auch die Hauptfachlehrerin der beiden bestätigte den positiven Einfluss auf die Entwicklung der Studentinnen durch diese Arbeit. Sicher ist die Entwicklung eines Körpergefühls aufgrund des Höreindrucks eines Klangbeispiels sehr vom Lerntyp der lernenden Person abhängig. Es wird zu überprüfen sein, für welche Personen diese Modellmethode besonders hilfreich sein kann. Weiter wird zu untersuchen sein, welche theoretischen Informationen zu der generierten Veränderung des Klangs für die Vermittlung des o.g. „*praktischen Wissens*“ hilfreich sind. Die Möglichkeit der objektiven Darstellung von Lehr- und Lernzielen wurde von allen Beteiligten als sehr hilfreich wahrgenommen. Überraschenderweise zeigte sich auch in diesem Experiment die herausragende Rolle des Vibratos im klassischen Gesang. Da sich die Manipulationen nur auf die gezielte Veränderung der Resonanzen in bestimmten Frequenzbändern bezog, musste das Vibrato in einer dem Entwicklungsstand der Studentin angemessenem Zustand vorhanden sein. Die Messung des studentischen Vibratos und ein Abgleich mit Referenzwerten aus der präsentierten Datenbank waren dabei sehr hilfreich. Es stellte sich heraus, dass neben der für die hohe Tonlage angepassten Einstellung des Vokaltrakts auch die Beibehaltung eines regelmäßigen Vibratos in der hohen Tonlage ein zentrales Problem war. Das erst genannte Teilproblem wird durch die synthetische Manipulation im klanglichen Abbild optimiert. Das Vibrato allerdings bleibt in der manipulierten Klangdatei in seiner ursprünglichen Form erhalten. Verändert die Probandin bei der Aufnahme des Ausgangsmaterials in der hohen Lage VR und VE auf eine für ihre Stimme unangemessene Art und Weise, dann wird das manipulierte Klangmodell nur beschränkt nachahmenswert sein. Aus diesem Grund wurden nur Ausgangdateien mit einem angemessenen, regelmäßigen Vibrato benutzt.

Perspektivisch wäre es aus der Sicht des Autors wünschenswert und zeitgemäß, wenn die für die Analysen der Resonanzstrategien notwendigen akustischen Grundlagen in der gesangspädagogischen Ausbildung und Lehre verankert würden.

3.6. Literaturverzeichnis

- [1] J. Hammar, *Gesang lehren und lernen im Spannungsfeld zwischen Instinkt und Wissenschaft*, Augsburg, Deutschland: Wißner, 2012.
- [2] A. Ernst, *Lehren und Lernen im Instrumentalunterricht*, Mainz, Deutschland: Schott Music, 2012.
- [3] W. Seidner und J. Wendler, *Die Sängerstimme*, Berlin, Deutschland: Henschel, 1997.
- [4] B. Richter, *Die Stimme*, Leipzig, Deutschland: Henschel, 2013.
- [5] M. Müller, *Hören - Sehen - Verstehen; Stimmanalyse mit VoceVista im Gesangsunterricht - eine praxisorientierte Einführung*, Augsburg, Deutschland: Wißner, 2015.
- [6] B. Richter, M. Echternach, L. Traser, M. Burdumy, und C. Spahn, *Die Stimme; Einblicke in die physiologischen Vorgänge beim Singen und Sprechen*, [DVD], Esslingen, Deutschland: Helbling, 2017.
- [7] H. Rietz, „Arien für die Wissenschaft,“ *Neue Züricher Zeitung*, pp. 60–61, 24. Dezember 2014.
- [8] M. Müller, T. Schulz, T. Ermakova, and P. P. Caffier, „Lyric or Dramatic - Vibrato Analysis for Voice Type Classification in Professional Opera Singers,“ *IEEE/ACM Transaction on Audio, Speech and Language Processing*, vol 29, pp. 943–955, 2021.
- [9] R. Kloiber, W. Konold, und R. Maschka, *Handbuch der Oper*, 14. grundlegend überarbeitete Auflage, Kassel, Deutschland: Bärenreiter, 2016.
- [10] P. A. Ling, *Stimme, Stimmfach*, Fachvertrag, Augsburg, Deutschland: Wißner, 2008.
- [11] M. Labitzke, "Untersuchung der Stimmstruktur einer professionellen Sopranstimme mit digitaler Signalverarbeitung," Unveröffentlichte Diplomarbeit; ISS Universität Stuttgart, Stuttgart, 2013.

- [12] Z. Wang, "Klassifikation der Sängerstimmen in der Oper mithilfe von Stacked-Random-Forest," Unveröffentlichte Masterarbeit; ISS Universität Stuttgart, Stuttgart, 2019.
- [13] W. T. Bartholomew, „A Physical Definition of "Good Voice-Quality" in Male Voice,“ *The Journal of the Acoustical Society of Amerika*, Bd. 6, 1934.
- [14] J. A. Diaz and H. B. Rothman, „Acoustical Comparison Between Samplas of Good and Poor Vibrato singers,“ *Journal of Voice*, vol. 17, no.2, pp. 179–184, 2003.
- [15] C. Manfredi, D. Barbagallo, G. Baracca, S. Orlandi, A. Bandini, and P. H. Dejonckere, „Automatic Assessment of Acoustic Parameters of the Singing Voice: Application to Professional Western Operatic and Jazz Singers,“ *Journal of Voice*, vol. 29, no. 4, pp. 517.e1–517.e9, 2015.
- [16] I. Ferrante, „Vibrato rate and extent in soprano voice: A survey on one century of singing,“ *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 130, no. 3, pp. 1683–1688, 2011.
- [17] G. Habermann, *Stimme und Sprache*, Stuttgart, Deutschland: Georg Thieme, 1978.
- [18] G. Faulstich, *Singen lehren - Singen lernen*, Augsburg, Deutschland: Wißner, 2000.
- [19] P.-M. Fischer, *Die Stimme des Sängers*, Stuttgart, Deutschland: J. B. Metzler, 1993.
- [20] D. Mürbe, T. Zahnert, E. Kuhlisch, and J. Sundberg, „Effects of professional singing education on vocal vibrato - A longitudinal study,“ *Journal of Voice*, vol. 21, no. 6 pp. 683–688, 2007.
- [21] L. Johnson-Read L. Johnson-Read, A. Chmiel, E. Schubert, and J. Wolfe, „Performing Lieder: Expert Perspectives,“ *Journal of Voice*, Vol. 29, No. 5, 2015, pp. 645.e15–645.e32, 2015.
- [22] E. Prame, „Measurements of the vibrato rate of ten singers,“ *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 96, no. 4, pp. 1979–1984, 1994.
- [23] A. Gelhausen, „Stimmvibrato im populären Gesang,“ *Vox Humana*, Heft 3, 2010, pp. 33–40, 2010.

- [24] H. J. Schultz-Coulon und R. D. Battmer „Die quantitative Bewertung des Sängervibratos,“ *Folia Phoniatica et Logopaedia*, vol. 33, no. 1, pp. 1–14, 1981.
- [25] W. Seidner, „Dramatische Opernstimmen zwischen Sein und Nichtsein – physiologische und pathophysiologische Aspekte,“ *Musikphysiologie und Musikermedizin*, vol. 21, no. 2, p. 104, 2014.
- [26] M. Echternach und B. Richter, „Stimmphysiologische Unterschiede zwischen lyrischen und dramatischen Tenorstimmen,“ in *Dokumentation 24. Jahreskongress des BDG 2012*, pp. 110–115, 2012.
- [27] I. O'Brien, W. Wilson, and A. Bradley, „Nature of orchestral noise,“ *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 124, no. 2 pp. 926–939, 2008.
- [28] R. T. Sataloff, „Professional voice users: the evaluation of voice disorders,“ *Occupational medicine (Philadelphia, Pa.)*, vol. 16, no. 4, pp. 633–647, 2001.
- [29] M. D. M. Roper Rendón, T. Ermakova, M.L. Freymann, A. Ruschin, T. Nawka, and P.P. Caffier, „Efficacy of Phonosurgery, Logopedic Voice Treatment and Vocal Pedagogy in Common Voice Problems of Singers,“ *Advances in Therapy*, vol. 35, no. 7, pp. 1069–1086, 2018.
- [30] B. Richter and M. Echternach, „Stimmärztliche Betreuung und Behandlung von Sängern,“ *HNO*, vol. 59, no. 6, pp. 547–555, 2011.
- [31] R. Sataloff, „Evaluation of professional singers,“ *Otolaryngologic Clinics of North America*, vol. 33, no. 5, pp. 923–956, 2000.
- [32] M. Faure, A. R. Perouse, and B. Coulombeau, „Therapeutic choices for curing dysodia?...three clinical cases,“ *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)*, vol. 131, no. 1, pp. 59–60, 2010.
- [33] A. C. Mecke, M. Pfeleiderer, B. Richter, und T. Seedorf, *Lexikon der Gesangsstimme: Geschichte, Wissenschaftliche Grundlagen, Gesangstechniken, Interpreten*, 2. Auflage., Lilienthal, Deutschland: Laaber, 2018.
- [34] B. Rett, "Salzburger Festspielgespräche mit Jonas Kaufmann", *ORF III* [Interview], Salzburg: August 2012.

- [35] G. Nair, *Voice–Tradition and TECHNOLOGY; A Stat-of-the-Art Studio*, San Diego, USA: Singular Publishing Group, 1999.
- [36] P. Goutier, *WaveLab Elements Version 7.00*, [Software] Steinberg Media Technologies GmbH, 1995–2010.

4. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Matthias Müller, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Neue Aspekte in der objektiven Stimmanalyse zur Gewinnung gesangspädagogisch relevanter Erkenntnisse“; „New aspects in objective voice analysis for generating knowledge relevant to vocal pedagogy“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe *Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation*). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an der ausgewählten Publikation zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der obenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

5. Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Publikation:

M. Müller, T. Schulz, T. Ermakova and P. P. Caffier, "Lyric or Dramatic - Vibrato Analysis for Voice Type Classification in Professional Opera Singers," *IEEE/ACM Transaction on Audio, Speech and Language Processing*, vol 29, p. 943–955, 25 Januar 2021.

Beitrag im Einzelnen:

Konzeption des Forschungsprojekts: Die Zusammenarbeit mit dem Institut für Systemtheorie und Signalverarbeitung der Universität Stuttgart für das interdisziplinäre Projekt wurde vom Promovenden initiiert.

Konstruktion und Aufbau der umfangreichen Datenbank sowie die präzise Formulierung der Zielsetzung für die Entwicklung der verschiedenen Merkmale zur Stimmfachklassifikation wurden vom Promovenden durchgeführt. An der Entwicklung und Programmierung der Merkmale hatten Thilo Schulz, Michael Labitzke und Michael Romanov den Hauptanteil. Für den Import der Klangbeispiele in die entwickelte Matlab-Umgebung und die Festlegung des Untersuchungszeitraums jeder Klangdatei war der Promovend verantwortlich.

Literaturrecherche: Der Promovend hat eine ausführliche Literaturrecherche in den etablierten medizinischen Datenbanken und der gesangspädagogischen Fachliteratur selbstständig durchgeführt und alle thematisch relevanten Publikationen identifiziert. Die Recherche wurde von Philipp P. Caffier unterstützend begleitet.

Erstellung der Publikation: Für den Export der Ergebnisse der Vibratoanalyse aus der Matlab-Umgebung und die Bereitstellung dieser Daten für die Publikation war der Promovend verantwortlich.

Die statistische Auswertung der Daten sowie die Erstellung der Abbildungen 5 – 9 übernahm Tatiana Ermakova.

Den ingenieursspezifischen methodischen Teil der Vibrato-Analyse [Teil B] sowie die Abbildungen 1 – 4 erstellte Thilo Schulz.

Die anderen Teile der Publikation (Einleitung, Material und Methoden [Teil A], Ergebnisse, Relevanz für die Gesangspädagogik, Schlussfolgerungen) verfassten hauptsächlich der Promovend als Erstautor und Philipp P. Caffier als Letztautor.

Die Erstellung der Tabellen I und II erfolgte durch den Promovenden in Abstimmung mit Philipp P. Caffier.

Überarbeitung des Manuskripts im Rahmen des Peer-Review-Prozesses: Der Promovend erstellte federführend zusammen mit Philipp P. Caffier ein sehr ausführliches Antwortschreiben an die Reviewer. Die Kommentare und Fragen, welche den ingenieursspezifischen Teil der Vibratoanalyse betrafen, wurden an Thilo Schulz weitergeleitet und von ihm beantwortet. Eine Frage nach den Violin-Plots wurde von Tatiana Ermakova beantwortet. Die abschließende Kontrolle des überarbeiteten Manuskripts geschah in enger Abstimmung mit den Koautoren.

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers

Unterschrift und Datum des Doktoranden

6. Auszug Journal Summary List (ISI Web of KnowledgeSM)

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2019** Selected Editions: SCIE,SSCI
 Selected Categories: '**ACOUSTICS**' Selected Category Scheme: WoS
Gesamtanzahl: 32 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	ULTRASONICS SONOCHEMISTRY	19,708	6.513	0.020980
2	ULTRASOUND IN OBSTETRICS & GYNECOLOGY	13,078	5.571	0.018050
3	ULTRASCHALL IN DER MEDIZIN	2,185	4.966	0.002530
4	JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION	38,071	3.429	0.026960
5	IEEE-ACM Transactions on Audio Speech and Language Processing	3,463	3.398	0.009210
6	ULTRASONICS	7,808	3.065	0.008930
7	IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS FERROELECTRICS AND FREQUENCY CONTROL	10,911	2.812	0.007650
8	ULTRASOUND IN MEDICINE AND BIOLOGY	10,763	2.514	0.011520
9	APPLIED ACOUSTICS	6,824	2.440	0.007370
10	JOURNAL OF VIBRATION AND ACOUSTICS-TRANSACTIONS OF THE ASME	4,074	2.343	0.003780
11	JOURNAL OF VIBRATION AND CONTROL	5,084	2.169	0.007500
12	JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA	47,141	1.780	0.024000
13	JOURNAL OF ULTRASOUND IN MEDICINE	6,931	1.759	0.008340
14	JOURNAL OF LOW FREQUENCY NOISE VIBRATION AND ACTIVE CONTROL	733	1.701	0.000500
15	ULTRASONIC IMAGING	1,028	1.571	0.000620
16	WAVE MOTION	2,520	1.563	0.003290
17	Medical Ultrasonography	887	1.553	0.001600

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
18	JOURNAL OF COMPUTATIONAL ACOUSTICS	508	1.471	0.000440
19	SPEECH COMMUNICATION	3,170	1.417	0.002530
20	SHOCK AND VIBRATION	3,682	1.298	0.006000
21	EURASIP Journal on Audio Speech and Music Processing	360	1.289	0.000520
22	International Journal of Aeroacoustics	544	1.203	0.000890
23	Acoustics Australia	269	1.100	0.000400
24	PHONETICA	672	1.000	0.000210
25	ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA	2,583	0.959	0.002110
26	Journal of Theoretical and Computational Acoustics	44	0.850	0.000110
27	JOURNAL OF THE AUDIO ENGINEERING SOCIETY	1,166	0.790	0.000630
28	ACOUSTICAL PHYSICS	896	0.782	0.000770
29	JOURNAL OF CLINICAL ULTRASOUND	2,018	0.764	0.001440
30	International Journal of Acoustics and Vibration	290	0.729	0.000350
31	Archives of Acoustics	474	0.618	0.000430
32	NOISE CONTROL ENGINEERING JOURNAL	516	0.453	0.000450

Copyright © 2020 Clarivate Analytics

7. Druckexemplar der Publikation

<https://doi.org/10.1109/TASLP.2021.3054299>

8. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

9. Publikationsliste

M. Müller, T. Schulz, T. Ermakova, and P.P. Caffier, „Lyric or Dramatic - Vibrato Analysis for Voice Type Classification in Professional Opera Singers,“ *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, vol. 29, pp. 943–955, Januar 2021, doi: 10.1109/TASLP.2021.3054299.

C. Müller, F. Caffier, T. Nawka, **M. Müller**, and P.P. Caffier, „Pathology-Related Influences on the VEM: Three Years' Experience since Implementation of a New Parameter in Phoniatic Voice Diagnostics,“ *BioMed Research International*, vol. 2020, 2020:5309508, pp. 1–11, Dezember 2020, doi: 10.1155/2020/5309508.

M. Müller, „Stimmanalyse mit VoceVista im Gesangsunterricht – eine praxisorientierte Einführung; Eine Buchvorstellung,“ *Vox Humana*, Heft 4, 2016, pp. 58–63, Dezember 2016.

M. Müller, *Hören - Sehen - Verstehen; Stimmanalyse mit VoceVista im Gesangsunterricht - eine praxisorientierte Einführung*, Augsburg: Wißner Verlag, Oktober 2015.

M. Müller, „Hören - Sehen - Verstehen; Eine Bilanz nach mehr als 10 Jahren VoceVista im Gesangsunterricht,“ *VOX HUMANA*, Heft 3, 2014, pp. 27–30, Oktober 2014.

M. Müller, „VoceVista. Endlich sehen, was ich schon immer hören wollte,“ *Üben & Musizieren*, Heft 2, pp. 16–23, April/Mai 2001.

10. Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Erstbetreuer Prof. Dr. Philipp P. Caffier bedanken. In der gemeinsamen vierjährigen Tätigkeit im Vorstand des Bundesverbandes Deutscher Gesangspädagogen (BDG) entwickelte sich auch eine Zusammenarbeit bezüglich stimmwissenschaftlicher Fragen. Mit der vorliegenden Promotion gab mir Herr Caffier die Gelegenheit, meiner wissenschaftlichen Arbeit einen neuen wertvollen Impuls zu geben. Während seiner kenntnisreichen und stets hilfsbereiten Betreuung meiner Arbeit erhielt ich einen für mich wertvollen Einblick in die Vielfalt seiner verantwortungsvollen Tätigkeit. Angesichts dieses Einblicks bin ich für die engagierte Betreuung ganz besonders dankbar.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Bin Yang, den Leiter des Instituts für Signalverarbeitung und Systemtheorie der Universität Stuttgart, bedanken. Herr Yang schenkte mir für die Initiierung des interdisziplinären Forschungsprojekts *Analyse und Klassifizierung der Stimmstruktur professioneller Gesangsstimmen* sein Vertrauen und war stets für weiterführende Ideen, die sich in seinem Institut verorten ließen, offen.

Zum Schluss möchte ich mich – in memoriam – bei Herrn Dr. Donald Gray Miller (1933 – 2020) bedanken. Ich hatte das Glück, Don Miller 1998 bei der Präsentation des Computerprogramms VoceVista in Stuttgart kennen zu lernen. Die Begegnung mit diesem freundlichen, klugen und weitsichtigen Menschen war für mich wegweisend. Seine Leidenschaft für eine möglichst objektive Darstellung des wunderbaren Phänomens Gesangsstimme hat mich tief beeindruckt. „Wenn man genügend viel Fragen hat, dann kommen auch die Antworten“, gab er mir vor vielen Jahren mit auf meinen Weg. Mit der hier vorliegenden Arbeit konnte ich einige Fragen beantworten und damit sind – ganz im Sinne Don Millers – wieder viele neue Fragen entstanden. Vielen Dank Dr. Donald Gray Miller.