HOGESCHOOL ZUYD

Faculteit Gezondheid & Techniek

Opleiding Logopedie

Bachelorthesis

"Unterschiede der Vokalartikulation beim Singen und Sprechen"

Student: Jacco Venhuis (2056036)

Begleiter:

Coach: Diana Houben

Michelle Lacroix

Auftraggeber, externer Begleiter: Prof. Dr. Bernd J. Kröger

(RWTH Aachen, Klinik für Phoniatrie, Pädaudiologie und Kommunikationsstörungen)

Abgabedatum: 06. Juni 2011

© Alle Rechte vorbehalten. Nichts aus dieser Arbeit darf in irgendeiner Form, sei es elektronisch oder mechanisch, durch Fotokopien, Aufnahmen oder auf irgendeine andere Weise vervielfältigt, gespeichert oder veröffentlicht werden ohne die vorherige ausdrückliche Genehmigung der Hogeschool Zuyd.

Danksagung

Zum Gelingen meiner Bachelorarbeit haben viele Leute beigetragen.

Meiner Freundin Stephanie Heine schulde ich grundsätzlich großen Dank, vor allem für ihre Hilfe mit der deutschen Sprache und Grammatik sowie das Korrekturlesen der Arbeit. Auch Julia Harjes hat dabei einen Beitrag geleistet.

Ich möchte selbstverständlich auch Diana Houben und Prof. Dr. Bernd J. Kröger für ihre fachliche Begleitung und Geduld danken.

Bedankt sei zudem die Unterstützung meiner ehemaligen Studienkollegen Guido van Dam, Christel Gorissen und Diana Stihl, meiner Familie und meiner Freunde.

Inhaltsverzeichnis

Samenvatting..... i
Zusammenfassung..... ii

1. Einleitung..... 1

2. Theoretischer Hintergrund..... 3
2.1. Mechanismus der Spracherzeugung…..... 3
2.1.1. Anatomie..... 3
2.1.2. Physiologie..... 7
2.2. Sprachsynthese..... 8
2.2.1. Methoden der Sprachsynthese..... 9
2.2.2. Der 'Articulatory Speech Synthesizer' von Prof. Dr. B. J. Kröger und Dr. P. Birkholz.…. 9
2.2.3. Artikulatorische Synthese des Singens.....10
2.3. Sprechen und Singen.....11

3. Methode..... 13
3.1. Fragestellung..... 13
3.1.1. Formulierung PICO-Frage..... 13
3.1.2. Definierung der Begriffe..... 13
3.2. Literaturrecherche..... 14
3.2.1. Bestimmung des Untersuchungsgegenstandes..... 14
3.2.2. Recherche..... 15
3.2.2.1. Einleitung..... 15
3.2.2.2. Ein- und Ausschlusskriterien..... 15
3.2.2.3. Suchhilfen..... 18
3.2.2.4. Suchbegriffe..... 18
3.2.2.5. Suchstrategie..... 19
3.2.2.6. Literatursuche..... 19
3.2.3. Bewertung, Lektüre und Ordnen der gefundenen Literatur..... 21
3.2.3.1. Einleitung..... 21
3.2.3.2. Bewertung der gefundenen Literatur..... 21
3.2.3.3. Lektüre und systematisches Ordnen der gefundenen Literatur.....21

4. Resultate 26
4.1. Beschreibung der Studien 26
4.1.1. VPO (Velopharyngeal Opening) 27
4.1.2. Kiefersenkung 32
4.1.3. Resonance Tuning / Fs (Singing Formant) 32
4.1.4. Vocal Tract Shape 42
4.1.5. Pharyngeale Weite 46

5. Diskussion der Studien 48
5.1. Einleitung 48
5.2. Diskussion 48
5.2.1. Diskussion VPO 48
5.2.2. Diskussion der pharyngealen Weite 51
5.2.3. Diskussion der Kiefersenkung 52
5.2.4. Diskussion der Lippenposition 54
5.2.5. Diskussion der Zungenposition 55
5.2.6. Diskussion der Larynxposition 56
5.2.7. Diskussion der epilaryngealen Verengung 58
5.3. Limitationen 58
5.4. Beantwortung der Fragestellung 59
5.5. Zukünftige Studien 60
5.6. Grenzen dieser Bachelorarbeit 61

6. Literaturliste 63

7. Anlagen 70
Anlage 1: Suchstrategie 70
Anlage 2: Critical Review Formular 72
Anlage 3: Suchstrategien und Ergebnisse 74
Anlage 4: Chronologische Auflistung der vorliegenden Studien 87
Anlage 5: Tabelle der Messinstrumente und Studienresultate 88

Tabelle 1: Evidenzlevel nach dem Deutschen Cochrane Zentrum 17
Tabelle 2: Evidenzlevel und Beweisniveau der vorliegenden Studien 23
Tabelle 3: Hauptthemen der Studien 26

Samenvatting

Verschillen in de klinkerarticulatie bij klassiek zingen en spreken

Door de steeds verder voerende ontwikkeling in computertechniek ontstaan op allerlei gebieden instrumenten die als ondersteuning bij therapie of training kunnen dienen. Dit is ook het geval bij de spreek- en zangstem, waar de articulatie van klanken in computeranimaties aanschouwelijk gemaakt kan worden. Om een waarheidsgetrouw beeld te kunnen geven moeten deze computerprogramma's gebruik maken van precieze informatie over articulatorische bewegingen.

Door middel van een literatuuronderzoek werd in deze thesis gezocht naar informatie over verschillen in de articulatie van klinkers in klassiek zingen en spreken. Met deze informatie zouden de articulatorische parameters van het zangstemgeluid van een zangstemsythesizer geoptimeerd kunnen worden zodat deze kunstmatige stem meer als een klassieke zangstem klinkt.

Door het gebrek aan studies met een sterke bewijskracht, meetinstrumenten die niet goed voldoen en elkaar deels tegensprekende of ontbrekende resultaten konden echter geen duidelijke conclusies worden getrokken. Bovendien betreft het hier een zeer complex proces dat moeilijk meetbaar is. Door meer onderzoek met grotere groepen proefpersonen en een verdere ontwikkeling van meetinstrumenten kan in de toekomst meer en betere informatie over de articulatie van gezongen klinkers worden verkregen.

Steutelwoorden: klassiek zingen, spreken, klinkers, vocalen, articulatie.

Zusammenfassung

Unterschiede der Vokalartikulation beim Singen und Sprechen

Die immer weiter führende Entwicklung der Computertechnik führt in vielen Bereichen zum Entstehen neuartiger Instrumente, die sich als Unterstützung bei Therapie oder Training einsetzen lassen. So können inzwischen auch die artikulatorischen Abläufe der Sprech- und Singstimme visuell dargestellt werden.

Für eine wirklichkeitsgetreue Darstellung brauchen derlei Computerprogramme genaue Informationen über die artikulatorischen Bewegungen. Mittels einer Literaturrecherche wurden in dieser Arbeit Informationen über Unterschiede der Vokalartikulation beim klassischen Singen und Sprechen gesucht.

Mit diesen Informationen könnten die artikulatorischen Parameter eines Singstimmsynthesizers optimiert werden, so dass diese synthetische Stimme einer klassisch geschulten Singstimme ähnlicher werden würde.

Aufgrund des Mangels an Studien mit einer starken Beweiskraft und durch nicht optimale Messinstrumente und sich teilweise widersprechende oder gar fehlende Resultate konnten jedoch keine klaren Schlüsse gezogen werden. Zudem handelt es sich hier um einen komplexen Prozess, der schwierig messbar ist.

Weitere Studien mit größeren Probandengruppen und eine Weiterentwicklung der Messinstrumententechnik könnten in Zukunft zu besseren Informationen über die Vokalartikulation vor allem der gesungenen Vokale führen.

Schlüsselwörter: Klassischer Gesang, Singen, Sprechen, Vokale, Artikulation.

1. Einleitung

Die immer weiter führende Entwicklung der Computertechnik sorgt dafür, dass mehr und mehr auch Aufgaben, die bis dato von Menschen durchgeführt wurden, ganz oder teilweise von Computern übernommen werden können. Selbst im Bereich der Sprache - und daraus resultierend in dem der Sprachstörungen – ist dies schon der Fall (Beeker & Artelt, 1998; Birkholz, 2005; Kröger, 2010).

Auf dem Computer basierende visuelle Aussprachetrainingshilfen sind auf Grund der schnellen Entwicklung der Signalanalyse und erzieherischer, interaktiver Technologie im Spracherwerb Hörbehinderter immer wichtiger geworden (Beeker & Artelt, 1998).

Mit ihren ganz oder teilweise künstlich hergestellten Stimmen findet auch die Sprachsynthese immer mehr Anwendung im kommerziellen Bereich (Birkholz, 2005). Sie kann, kombiniert mit einer visuellen Darstellung der artikulatorischen Abläufe in einer Computeranimation, nicht nur im Fremdsprachenerwerb, sondern auch im Bereich des Aussprachetrainings Hörbehinderter und sprachgestörter Kinder in der Logopädie eingesetzt werden (Kröger, 2010).

Auch gibt es ein Computerprogramm, welches auf künstliche Art und Weise die Singstimme produziert, während gleichzeitig die Animation eines mediosagittalen Querschnitts eines Kopfes gezeigt wird, welcher die artikulatorischen Bewegungen der Stimme imitiert (Kröger, 2003; Birkholz, 2007). Auf diese Weise kann die Physiologie des Artikulierens beim Singen nicht nur akustisch, sondern auch visuell demonstriert werden.

Dieses Programm ist von Prof. Dr. B. J. Kröger der RWTH Aachen, Fakultät Phonetik und Dr. P. Birkholz der Universität Rostock entwickelt worden. Ziel dieser artikulatorischen Synthese des Singens war die künstliche Darstellung einer klassisch geschult klingenden Stimme. Mit klassisch ist dabei gemeint: Im Sinne der aus Europa stammenden, westlichen Tradition des Kunstgesanges. (Seidner & Wendler, 1997).

Die Vokale der Synthese jedoch klangen trotz einer Abhängigkeit der Vokalartikulation von der Tonhöhe nicht wie klassisch gesungene, sondern eher wie gesprochene Vokale. Um die Vokale mehr klassisch geschult klingen zu lassen, müssten die Synthesizerparameter der Vokale angepasst werden, so Prof. Dr. B. J. Kröger. Hierfür werden Informationen darüber gebraucht, wie klassisch gesungene Vokale genau geformt werden und inwiefern sich die Vokalformung beim normalen Sprechen davon unterscheidet. Mit Antworten auf diese Frage

könnte die Vokalartikulation des Synthesizers verbessert werden und somit eine klassisch klingende Stimme Ergebnis der Synthese sein. Die Veranschaulichung artikulatorischer Bewegungsabläufe und genauere Kenntnis der Vokalformung könnten Sängern in ihrer Stimmentwicklung helfen.
Und genau diese noch ausstehenden Antworten nimmt die hier vorliegende Bachelorarbeit zum Anlass, sich mit den Unterschieden der Vokalartikulation beim Singen und Sprechen auseinander zu setzen und somit mittels einer Literaturrecherche ihren Teil zu den noch fehlenden Informationen beizutragen.
Die hier vorliegende Arbeit möchte zudem auf neue Entwicklungen und Möglichkeiten der Sprach- und Singstimmtherapie hinweisen und soll so das Wissen des Logopäden erweitern sowie einen Beitrag zur Singstimmtherapie im Allgemeinen und multidisziplinärer Arbeit mit Gesangspädagogen im Besonderen leisten.

Zum Schluss dieser Einleitung eine kurze Übersicht über die Gliederung der vorliegenden Bachelorarbeit:
In Kapitel 2 werden der Mechanismus der Spracherzeugung sowie die Sprachsynthese an sich beschrieben und erklärt. Auch wird grundsätzlich auf die Unterschiede zwischen Singen und Sprechen eingegangen.
Anschließend folgt in Kapitel 3 die Erläuterung der Methode der Fragestellung und des Vorgehens bei der Literaturrecherche.
Kapitel 4 beinhaltet dann die Beschreibung, die Limitationen und die Untersuchungsergebnisse der relevanten gefundenen Studien.
Abschließend folgt Kapitel 5, in dem die Diskussion der Limitationen und Ergebnisse der Studien und die Beantwortung der zugrunde liegenden Fragestellung im Zentrum stehen.

2. Theoretischer Hintergrund

Das Thema dieser Arbeit ist “Unterschiede der Vokalartikulation beim Singen und Sprechen“. In diesem Kapitel werden daher zuerst die Anatomie und Physiologie des Sprechens und Singens, die Vokalartikulation sowie grundlegende Unterschiede zwischen Sprechen und Singen beschrieben.
Unterschiede in der Vokalartikulation kann man einerseits aus physiologischer Sicht beschreiben, andererseits durch Spektralanalyse des Stimmschalls auch akustisch darstellen (Seidner & Wendler, 1997; Sundberg, 1997). Aus diesem Grund werden auch die akustischen Phänomene der Stimme erklärt.
Da der Ausgangspunkt für diese Arbeit die Vokalartikulation der artikulatorischen Singstimmsynthese ist, werden auch Sprachsynthese und der artikulatorische Synthesizer von Prof. Dr. B. J. Kröger und Dr. P. Birkholz (2005) beschrieben.

2.1. Mechanismus der Spracherzeugung

2.1.1. Anatomie

Sprache kann man als das akustische Endprodukt kontrollierter Bewegungen des menschlichen Sprechapparats bezeichnen (Birkholz, 2005). Der Sprechapparat wird in diesem Zusammenhang als das gesamte System aus Lunge, Bronchien, Luftröhre und Stimmlippen sowie dem Rachen-, Mund- und Nasenraum definiert. Dieses System kann in ein subglottales und ein supraglottales System geteilt werden. Die Stimmlippen, bzw. die durch sie begrenzte Stimmritze (Glottis) bilden die Grenze zwischen beiden (Sundberg, 1997; Seidner & Wendler, 1997; Birkholz, 2005).

Das subglottale System ist aus Strukturen unterhalb der Stimmlippen aufgebaut: Der Lunge, den Bronchien und der Luftröhre. Das supraglottale System besteht aus Strukturen oberhalb der Stimmlippen: Dem Rachen-, Mund- und Nasenraum (Birkholz, 2005).
Das supraglottale System wird auch als Ansatzrohr oder Vokaltrakt bezeichnet. Hier findet die Artikulation statt, und das Ansatzrohr und dessen Aufbau und Wirkung sind deshalb ein

wichtiger Bestandteil der artikulatorischen Sprachsynthese und dieser Arbeit über Vokalformung.

Das Ansatzrohr wird in der Literatur unterschiedlich definiert. Laut Birkholz und auch Sundberg (Birkholz, 2005; Sundberg, 1997) bilden der Rachen und der Mundraum zusammen den Vokaltrakt. Habermanns Definition von Ansatzrohr ist:

> *"Der Raum von den Stimmlippen bis zu den Mundlippen und Nasenöffnungen."*
> (Habermann, 2003, S. 50)

In dieser Definition gehören Rachenraum, Mundhöhle und der Nasenraum also zum Ansatzrohr.

Seidner und Wendler (1997) definieren das Ansatzrohr ähnlich, nämlich als:

> *"Die Gesamtheit der Räume, die oberhalb der Stimmlippenebene gelegen sind."*
> (Seidner & Wendler, 1997, S. 109)

Der Einfluss der Nasennebenhöhlen als Resonanzraum und Artikulationsraum wird als unwesentlich angesehen.

Für die deutschen Vokale wird die stimmhafte Schallquelle hauptsächlich durch den Rachen- und Mundraum gefiltert, während das Velum den Nasenraum abschließt (Birkholz, 2005). Der Nasenraum kann dann als Seitenzweig des Vokaltrakts angesehen werden, welcher aber für Nasallaute oder nasale Vokale (wie z.B. im Französischen) an der Artikulation beteiligt ist (Kröger, 2007; Pfister & Kaufmann, 2008).

Birkholz definiert Vokaltrakt und Nasenraum zusammen als Sprechtrakt (Birkholz, 2005).

2.1.2. Physiologie

Klangerzeugung und Vokale

Der Sprechtrakt kann durch Schallquellen angeregt werden und so Klänge erzeugen. Dazu bedarf es immer eines Luftstroms. Dieser Luftstrom wird folgendermaßen erzeugt: Subglottisch entsteht durch Kontraktion bestimmter Brust- und Bauchmuskulatur ein Überdruck in der Lunge. Der Luft bleibt keine andere Möglichkeit als supraglottisch durch den Sprechapparat hinweg zu fließen (Birkholz, 2005).

Die erste mögliche Schallquelle sind die Stimmlippen, die in Schwingung gebracht werden können. Da Form und Querschnitt des Ansatzrohres insbesondere im Rachen- und Mundraum sehr stark veränderlich sind, bilden die beweglichen Artikulatoren Zunge, Velum, Lippen, Unterkiefer und Kehlkopf bei der Schallbildung an bestimmten Stellen des Ansatzrohres Konstriktionen aus und fungieren so als Schallquelle (Birkholz, 2005).
Die Veränderung der Form des Ansatzrohres durch die Stellung der Artikulatoren führt dann zu verschiedenen Klängen (Seidner & Wendler, 1997). Schließlich wird das Endprodukt des Schalls an der Mund- und/oder Nasenöffnung in die Umgebung abgestrahlt (Birkholz, 2005).

Abhängig von der Art der Anregung und der Form des Sprechtrakts unterscheidet man verschiedene Lautklassen. Die Hauptklassen sind Vokale und Konsonanten (Pfister & Kaufmann, 2008). Da das Thema dieser Arbeit die Unterschiede in *Vokal*formung bei klassischem Singen und normalem Sprechen ist, sind für die vorliegende Arbeit nur die Vokale von Bedeutung. Konsonanten werden dennoch kurz erläutert, um den genauen Unterschied zu Vokalen zu erklären und auch so Vokale deutlicher zu definieren.

Vokale werden stimmhaft angeregt, das heißt sie entstehen bei anfangs geschlossenen Stimmlippen. Die Stimmlippen werden von dem aus der Lunge kommenden Luftstrom auseinander gedrückt. Ein komplexes Zusammenspiel zwischen diesem Luftstrom und dem Gewebe der Stimmlippen sorgt dafür, dass die Stimmlippen in Schwingung versetzt werden und sich die Glottis in schneller Abfolge öffnet und schließt. So fließt eine Folge kurzer Luftpulse in den Sprechtrakt und breitet sich dort als akustische Wellen aus (Birkholz, 2005). Dieser Prozess wird als Phonation bezeichnet (Birkholz, 2005). Das akustische Signal, auch Primärschall genannt (Sundberg, 1997), besteht also aus mikroskopisch kleinen und schnellen Veränderungen des Luftdrucks. Wenn diese Veränderungen periodisch sind und die Stimmlippen gleichmäßig schwingen, entsteht ein Ton mit einer bestimmten Frequenz. Die Phonationsfrequenz, also die Tonhöhe, wird durch den Luftüberdruck in der Lunge (subglottischer Druck) und die Kehlkopfmuskulatur kontrolliert, welche Länge, Spannung und schwingende Masse der Stimmlippen bestimmt (Sundberg, 1997).
Die Klangfarbe der Vokale hängt vor allem von der Stellung des Zungenrückens und der Lippen ab. Bezüglich der Lippenstellung werden dabei gerundete und ungerundete Vokale unterschieden (Pfister & Kaufmann, 2008).

Ein weiteres Merkmal der Vokale ist, dass der Vokaltrakt bei der Vokalformung eine durchgängig offene Passage bildet und die Atemluft ungehindert durch den Mund, bzw. bei nasalisierten Vokalen durch Mund und Nase ausströmt. Die beweglichen Artikulatoren (Zunge, Velum, Lippen, Unterkiefer, Kehlkopf) dürfen keine zu engen Stellen im Vokaltrakt bilden, weil in diesem Fall keine Vokale mehr klingen, sondern Konsonanten (Pfister & Kaufmann, 2008).

Bei Konsonanten wird die ausströmende Luft durch eine Verengung im Vokaltrakt behindert oder durch einen Verschluss während einer gewissen Zeit gestoppt (Pfister & Kaufmann, 2008). Dabei entstehen aufgrund von Reibung Turbulenzen. Diese Turbulenzen erzeugen ein breitbandiges Rauschen, was heißt, dass sich ihre Energie auf breite Frequenzbereiche verteilt, die sich dann als Schallwellen im Vokaltrakt ausbreiten (Birkholz, 2005; Sundberg, 1997).

Resonanz und Formantfrequenzen

Man könnte den Sprechapparat als ein verzweigtes Rohrsystem darstellen, in dem die Lunge als Kompressor und die Stimmlippen als Oszillator, also als ein schwingungsfähiges System wirken und ein akustisches Signal erzeugen (Birkholz, 2005; Sundberg, 1997). Das Ansatzrohr wirkt als Resonator, der den Primärschall zum Stimmschall umformt (Sundberg, 1997).

Dies verhält sich folgendermaßen: Jeder Resonator hat eine charakteristische Eigenfrequenz, die durch seine physikalischen Eigenschaften bestimmt ist. Wenn auf einen Resonator eine Schwingung mit dieser Eigenfrequenz einwirkt, so wird der Resonator zum Mitschwingen angeregt. Dieses Mitschwingen wird Resonanz genannt. Luftgefüllte Hohlräume, so wie die menschlichen supraglottalen Räume, können auf diese Weise auch als Resonatoren wirken. Die Eigenfrequenz hängt von ihrem Volumen, ihrer Form, ihre Länge und von ihrer Öffnung ab (Seidner & Wendler, 1997). Sundberg spricht in diesem Zusammenhang nur von der Form und der Länge des Ansatzrohres (Sundberg, 1997).

Primärschallspektrum und Formantfrequenzen

Im Vokaltrakt gibt es vier bis fünf Eigenfrequenzen, die als Formantfrequenzen bezeichnet werden (Sundberg, 1997). Birkholz spricht in diesem Zusammenhang von vier bis sechs Formanten im wichtigen Frequenzbereich bis 5 kHz (Birkholz, 2005).

Die Formantfrequenzen bestimmen den Stimmschall. Es ist wichtig zu wissen, dass der Primärschall nicht nur aus einem Ton aufgebaut ist, sondern aus einem Spektrum von Tönen, welches für uns aber klingt wie ein einziger Ton. Der tiefste Ton heißt Grundton; die anderen Töne werden Obertöne genannt. Ihre unterschiedlichen Frequenzen bilden eine harmonische Reihe und sind ganzzahlige Vielfache der Frequenz des Grundtons. Ein Ton von 100 Hz hat also Obertöne von 200, 300, 400, usw. Hz (Seidner & Wendler, 1997).

Das ganze Spektrum des Primärschalls fließt durch das Ansatzrohr zu dessen offenem Ende, der Mundöffnung. Die Teiltöne mit Frequenzen, die einer Formantfrequenz am nächsten liegen, werden im Vokaltrakt verstärkt. Dies ergibt typische Energiemaxima in diesen Frequenzbereichen, die Formanten genannt werden. Andere Teiltöne mit Frequenzen, die einer Formantfrequenz am meisten entfernt liegen, werden dagegen abgeschwächt. Diese Energieminima im Spektrum werden Antiformanten genannt (Birkholz, 2005). Das Ansatzrohr funktioniert so als Filter für den Primärschall der Stimmquelle und bestimmt durch seine Form - und dadurch also auch durch bestimmte Formantfrequenzen - einen Großteil von Stimmfarbe und Vokalqualität. Auch die Stimmfarbe wird teilweise durch den Primärschall bestimmt (Seidner & Wendler, 1997; Sundberg, 1997).

Formanten und Artikulatoren

Wie bereits erwähnt, werden die Formantfrequenzen durch die Form des Ansatzrohres bestimmt. Das heißt, dass Veränderungen in der Position der Artikulatoren, also in der Form des Ansatzrohres, Veränderungen der Formantfrequenzen, beziehungsweise des Klanges bewirken.

Die Stellung des Zungenrückens und der Lippen, die die Klangfarbe der Vokale ausmachen, unterliegen bei der Zunge folgenden Parametern: vorne ↔ hinten, hoch ↔ tief; bei den Lippen den Parametern: ungerundet ↔ gerundet (Birkholz, 2005; Pfister, Kaufmann, 2008).

Jeder Vokal wird also mit einer unterschiedlichen Position der Artikulatoren geformt und hat daher auch charakteristische Formanten (Birkholz, 2005).

Die beiden unteren Formanten (F1, F2) bestimmen hauptsächlich die Vokalfarbe. Kiefersenkung führt z. B. zu F1-Erhöhung (z.B. [ə] nach [a]). Vorverlagerung des Zungenrückens führt zu F2-Erhöhung (z.B. [u] nach [i]) (Kröger, 2007).

2.2. Sprachsynthese

Definition

> *"Sprachsynthese beschäftigt sich mit der maschinellen Transformation der symbolischen Repräsentation einer Äußerung in ein akustisches Signal, welches von einem menschlichen Sprecher als der menschlichen Sprache hinreichend ähnlich anerkannt wird."* (Möbus, 2005, S. 105)

Anwendungen

Die Sprachsynthese wird heutzutage auf vielerlei Arten angewendet: Birkholz (2005) nennt zum Beispiel das automatische Vorlesen von geschriebenen Texten (textgesteuerte Sprachsynthese (text-to-speech, TTS)) sowie automatische Dialogsysteme von telefonischen Bestell-Hotlines. Es soll laut ihm außerdem immer mehr Übersetzungssysteme für gesprochene Sprache geben; und auch die natürliche Kommunikation zwischen Menschen und Servicerobotern könnte in Zukunft von Sprachsynthese profitieren.

Brinckmann (1999) nennt auch Fremdsprachenerwerb und Forschung, um unter anderem Erkenntnisse über den Sprachproduktionsprozess oder die akustischen Eigenschaften der Sprache zu erlangen. Möbius (2001) weist auch auf den Computerarbeitsplatz für Blinde oder Sehbehinderte und die künstliche Stimme für Sprechbehinderte als wichtige Anwendungen hin.

Eine weitere Anwendung der Sprachsynthese sind Computerprogramme, in denen die Sprechstimme durch Sprachsynthese nicht nur akustisch, sondern anhand einer Computeranimation, in welcher die artikulatorischen Bewegungsabläufe sichtbar gemacht werden, auch visuell erfahrbar ist (Kröger, 2010). Dies kann von erheblichem Nutzen für das Training der Aussprache sein und ist daher auch von großer logopädischer Relevanz.

Die erfolgreichste Verwendung der Sprachsynthese im kommerziellen Bereich ist bisher jedoch die konkatenative Synthese. Dies ist die Verbindung einzelner aufgenommener Phoneme zu Wörtern und Sätzen und wird zum Beispiel für Telefonauskunft, sprachlich automatisierten Kundenservice und Durchsagen, wie wir sie auch aus Bus und Bahn kennen, genutzt (Birkholz, 2010).

2.2.1. Methoden der Sprachsynthese

Folgt man Birkholz (2005), kann man die Methoden zur Sprachsynthese in parametrische (regelbasierte) Verfahren einerseits und datenbasierte (konkatenative) Verfahren andererseits gliedern.

Bei konkatenativen Synthesesystemen wird das synthetische Sprachsignal direkt aus Bausteinen zusammengesetzt, die vorher aus natürlichen Sprachaufnahmen herausgeschnitten wurden. Die Bausteine sind also nicht synthetisch erzeugt worden (Birkholz, 2005).

Parametrische Synthese geschieht vor allem durch Formantsynthese und artikulatorische Synthese (Birkholz, 2005).

Die Formantsynthese modelliert die wesentlichen akustischen Merkmale des Sprachsignals: Den Primärschall, die stimmlose Anregung des Sprechtraktes, die Formanten und Antiformanten (Birkholz, 2005). Hier stellt man sich die Frage: Wie hört sich menschliche Sprache an?

Bei der artikulatorischen Synthese geht es darum, wie der Mensch Sprache produziert. Dazu braucht man ein physikalisches Modell von Sprachlauten und ihren Übergängen, basierend auf der Physiologie der Sprachproduktion und der Physik der Lauterzeugung im Vokaltrakt (Brinckmann, 1999). Die bei der Sprachproduktion ablaufenden Prozesse werden also direkt mit Hilfe eines Modells des Sprechapparats, eines Verfahrens für die akustische Simulation und eines Konzepts für die Steuerung der artikulatorischen Bewegungsabläufe simuliert (Birkholz, 2005).

Der ’Articulatory Speech Synthesizer’ von Prof. Dr. B. J. Kröger und Dr. P. Birkholz ist ein Beispiel dieser artikulatorischen Synthese (Birkholz, 2005).

2.2.2. Der ’Articulatory Speech Synthesizer’ von Prof. Dr. B. J. Kröger und Dr. P. Birkholz

Prof. Dr. B. J. Kröger und Dr. P. Birkholz hatten schon vor der Synthese des Singens ein vergleichbares Modell für Sprechsynthese entwickelt. Dieser ’Articulatory Speech Synthesizer’ basiert auf einem geometrischen 3D-Modell des Vokaltraktes, einem aerodynamisch-akustischen Simulationsverfahren und einem Steuermodell für die Generierung der artikulatorischen Bewegungsabläufe (Birkholz, 2005). Der Sprechapparat wird als ein verzweigtes Rohrsystem modelliert, das aus Teilen für die Lunge und Luftröhre, die Stimmritze und den Rachen-, Mund- und Nasenraum zusammengesetzt ist. Das Steuermodell basiert auf dem Konzept der artikulatorischen Geste und ermöglicht in einfacher

Weise die Simulation koartikulatorischer Phänomene. Jede Äußerung wird als eine Abfolge von Gesten definiert und vom Steuermodell in die Zeitfunktionen der artikulatorischen Parameter überführt (Birkholz, 2005; Birkholz et al., 2006). Eine Geste kann definiert werden als

> *"eine koordinierte Bewegung einer artikulatorischen Funktionseinheit mit dem Ziel der Ausbildung einer linguistisch relevanten Enge- oder Verschlussbildung im Vokaltrakt."* (Kröger, 2010, S. 1)

Ziel dieser Entwicklung war eine hohe Text-to-speech-Qualität und die Einsatzmöglichkeit des Synthesizers in ein neuronales Sprachproduktionsmodell (Kröger, 2006). Am Anfang basierte die Anatomie und Artikulation des Vokaltraktmodells auf Röntgenanrissen ausgehaltener Phoneme eines russischen Sprechers (Fant, 1970). Diese Daten waren aber für eine genaue Reproduktion der Anatomie und der Artikulation des Sprechers nicht ausreichend. Die lateralen Vokaltraktdimensionen und die Koartikulation der Phoneme konnten nur geschätzt werden, was eine genaue Evaluation des Synthesizers erschwerte (Birkholz, 2005).
Um dieses Problem zu lösen, wurden in einer späteren Studie (Birkholz & Kröger, 2006a) die Anatomie und die Artikulation des Vokaltraktmodells mit Hilfe von Magnetresonanztomographie (MRT, MRI) und Computertomographie (CT) einem neuen Sprecher angepasst. So konnten Parameter für die Nachbildung aller deutschen Vokale und Konsonanten festgestellt werden und Vokaltraktparameter für koartikulierte Vokale vorausgesagt werden.

2.2.3. Die artikulatorische Synthese des Singens

Zur Artikulatorischen Synthese des Singens (Birkholz, 2007), die in der Einleitung erwähnt wurde und deren Vokalqualität Anlass dieser Bachelorarbeit ist, wurde der 'Articulatory Speech Synthesizer' (Birkholz, 2005; Birkholz, 2006; Birkholz & Kröger, 2006) in vielerlei Hinsicht erweitert. Der wichtigste Punkt war die Umsetzung einer Musikpartitur in Artikulationsbewegungen. Auch wurde eine tonhöheabhängige Artikulation der Vokale durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Erweiterungen wurden in der Synthese des Kanons *Dona nobis pacem* demonstriert. Mit den gleichen artikulatorischen Modellen und der gleichen Musikpartitur wurden zwei Stimmen erzeugt, die von der Stimmlage eine Oktave auseinander lagen und eine Männer- und eine Frauenstimme darstellten (Birkholz, 2010a).

2.3. Sprechen und Singen

Die Bildung der Stimme beim Singen und beim Sprechen erfolgt mit denselben Organen und auch nach den gleichen physiologischen Prinzipien (Seidner & Wendler, 1997). Es gibt aber auch Unterschiede im Gebrauch des Instrumentes (Seidner & Wendler, 1997; Sundberg, 1997). Unterschiede, beispielsweise in der Atmung, die mit der Vokalformung nicht direkt zu tun haben, werden hier nicht weiter beachtet, weil es sich in dieser Arbeit lediglich um die Vokalformung an sich handelt.
Die zur Vokalbildung relevanten Unterschiede kann man einerseits aus physiologischer Sicht beschreiben, andererseits durch Spektralanalyse des Stimmschalls auch akustisch darstellen (Seidner & Wendler, 1997; Sundberg, 1997).

Zusammenfassend gibt es also laut Seidner & Wendler (1997) und Sundberg (1997) folgende Unterschiede zwischen Singen und Sprechen, die die Vokalformung direkt oder indirekt beeinflussen:
Der Sänger versucht nahezu konstante Einstellungen der Ansatzräume beizubehalten, damit die Vokale ein einheitliches Timbre haben (Vokalausgleich) und der Stimmklang so wenig wie möglich unterbrochen wird.
Die Verständlichkeit ist beim Singen generell schlechter als beim Sprechen (Seidner & Wendler, 1997; Sundberg, 1997). An dieser Stelle sollen diesbezüglich vor allem die folgenden zwei Punkte Beachtung finden: Die Vokalqualität leidet erstens unter der Notwendigkeit, unter allen Umständen einen tragfähigen Stimmklang zu formen. Zweitens fehlt bei hohen Tönen der erste Formant (Seidner & Wendler, 1997), es sei denn, die Artikulation wird so angepasst, dass der erste Formant steigt und höher bleibt als die Grundtonhöhe (Sundberg, 1997). Das geschieht vor allem indem die Mundöffnung vergrößert wird (Kröger, 2007), was dazu führt, dass enge und runde Vokale ihren Vokalcharakter verlieren (Joliveau et al., 2004a).
Im Spektrum der Singstimme gibt es je nach Stimmgattung einen Gipfel bei 2000 – 3500 Hz, bei normalem Sprechen nicht. Dieser Gipfel wird Sängerformant genannt und ist für die Durchsetzungsfähigkeit der Singstimme (Stimmsitz) wichtig (Seidner & Wendler, 1997). Sie besteht aus einer Annäherung des dritten, vierten und fünften Formanten (Sundberg, 1997).

Bei ausgebildeten Sprechstimmen kann es auch zu einem sogenannten Sprecherformanten kommen, dem Pendant zum Sängerformanten (Seidner & Wendler, 1997).
Eine andere Besonderheit sängerischer Klangbildung ist eine leichte Abdunklung der Vokale in höheren Tonlagen, um einen zu hellen und flachen Klang zu vermeiden. Dies wird als Decken bezeichnet und erfolgt unter Tiefstellung des Kehlkopfs und gleichzeitiger Erweiterung der Ansatzräume (Seidner & Wendler, 1997).

3. Methode

3.1. Fragestellung

Die Fragestellung dieser Bachelorarbeit war: Welche Unterschiede gibt es in der Vokalartikulation zwischen klassischem Singen und Sprechen?

Das Ziel der Arbeit war es, eine Antwort auf diese Fragestellung zu erhalten.
Das Mittel war eine Literaturrecherche (ein Systematic Review), mit Hilfe derer mehr über die Unterschiede in der Vokalartikulation zwischen klassischem Singen und Sprechen herausgefunden werden sollte.

3.1.1. Formulierung PICO-Frage

Die Formulierung einer PICO-Frage ist eine gute Art, ein klinisches Problem zu beschreiben und eine Suchstrategie zu ermöglichen, die alle Aspekte des Problems berücksichtigt (Loveren & Aartman, 2007).

In der hier thematisierten Fragestellung wurden die folgenden PICO-Elemente unterschieden:

P (Population):	Artikel / Informationen über Vokale
I (Intervention):	Klassisch gesungene Vokale
C (Comparison):	Gesprochene Vokale
O (Outcome):	Unterschiede

3.1.2. Definierung der Begriffe

Die Fragestellung bezüglich der Unterscheidung von klassisch gesungener und gesprochener Vokalartikulation führte weiterhin zu folgenden Fragen:

1. Wie wird klassischer Gesang in dieser hier vorliegenden Arbeit definiert?
   Als Klassischer Gesang wird der westliche, aus Europa stammende Kunstgesang bezeichnet (Seidner & Wendler, 1997).

2. Wie wird Sprechen hier definiert?

   "Das Sprechen ist der Vorgang des vorwiegend auf zwischenmenschliche Interaktion ausgerichteten Gebrauchs der menschlichen Stimme, wobei artikulierte Sprachlaute erzeugt werden." (Martinetz, 2005, S. 7)

3. Wie wird Artikulation hier definiert?

   "Artikulation nennt man die Vorgänge zur Einstellung der jeweiligen Form des Ansatzrohres während der Phonation, welche mit Hilfe der Artikulatoren Lippen, Zunge, Unterkiefer, Gaumensegel und Kehlkopf realisiert werden."
   (Sundberg, 1997, S. 129)

4. Wie werden Vokale hier definiert?

   "Vokale sind Laute, bei denen die Stimmlippen im Kehlkopf schwingen und die Atemluft ungehindert durch den Mund bzw. durch Mund und Nase (bei nasalisierten Vokalen) ausströmt." (Pfister & Kaufmann, 2008, S. 14)

3.2. Literaturrecherche

Mittels einer Literaturrecherche kann eine aktuelle, wissenschaftliche und deswegen tragfähige Wissensbasis geschaffen werden, die zur Beantwortung der Fragestellung dieser Arbeit angewandt werden kann (Kleibel & Mayer, 2005).

Der Prozess der Literaturrecherche kann laut Kleibel & Mayer (2005) grob in drei Phasen eingeteilt werden:

Phase 1: Bestimmung des Untersuchungsgegenstandes

Phase 2: Recherche

Phase 3: Bewertung, Lektüre und Kritik

3.2.1. Bestimmung des Untersuchungsgegenstandes

In der ersten Phase der Literaturrecherche wird der Untersuchungsgegenstand bestimmt (Kleibel & Mayer 2005). Diese Phase umfasst im Allgemeinen die Wahl des Themas, eine Grobrecherche in zur Verfügung stehender Literatur und das Einlesen in das Gebiet. Zum Schluss werden Thema und eine genaue Fragestellung festgelegt.

Das Thema dieser Bachelorarbeit wurde durch das Anführen der Problematik unterschiedlicher Vokalartikulation beim Singen und Sprechen durch Prof. Dr. B. J. Kröger angeregt.
Vor der Grobrecherche wurde gemäß Zielhuis (2002) aus vorhandener Literatur und anhand von Expertenbefragung eine Liste relevanter Suchbegriffen zusammengestellt. Diese Suchbegriffe konnten dann zur Grobrecherche eingesetzt werden, bei welcher festgestellt wurde, dass es relevante Literatur gab. Diese Literatur wurde daraufhin für das Einlesen und die Erweiterung der Suchbegriffliste verwendet. Außerdem wurde sie für die ersten zwei Kapitel dieser Arbeit, die Fragestellung und die Definition der Begriffe benutzt.

3.2.2. Recherche

3.2.2.1. Einleitung

Ziel der zweiten Phase der Literaturrecherche ist es, mit geeigneten Suchhilfen (z.B. Datenbanken) und den passenden Suchbegriffen relevante Literatur zu finden. Mit Ein- und Ausschlusskriterien kann die Suche erweitert und/oder eingeschränkt werden. Ein Suchprotokoll dient zur Dokumentation dieser Prozesse. Die Literatur soll dann geordnet und beschaffen werden (Kleibel & Meyer, 2005).

3.2.2.2. Ein- und Ausschlusskriterien

Nachfolgende Ein- und Ausschlusskriterien wurden bei der Auswahl der Artikel in Hinblick auf die Fragestellung der Bachelorarbeit festgesetzt:

- Das Kernthema dieser Bachelorarbeit waren Studien zu den Unterschieden in der Vokalartikulation beim Sprechen und Singen. Inhalte, die von diesem Thema abweichen, waren für diese Arbeit nicht relevant.
- Auf Grund dessen, dass eine Übersicht über den aktuellen Forschungsstand (in Anlehnung an die Problembeschreibung) erarbeitet werden sollte, wurde in dieser Arbeit vorrangig Primärliteratur (Fachzeitschriften und deren Artikel) gesucht und ausgewertet. Sekundärliteratur wie Bücher wurde somit ausgeschlossen.
- Die Artikel mussten frei verfügbar sein oder käuflich erworben werden können, da ohne Vorliegen des gesamten Artikels keine Bewertung stattfinden konnte.

- Sprachen: English, Deutsch und Niederländisch

  Da die bedeutendsten Zeitschriften und Datenbanken, die Artikel aufnehmen, heutzutage englischsprachig sind und die meisten anderssprachigen Artikel auch ins Englische übersetzt erscheinen, wurden englischsprachige Artikel gesucht. Weil der Autor auch die deutsche und niederländische Sprache beherrscht, wurden dennoch auch Artikel in diesen Sprachen gesucht.
- Zeit: 2001 und danach

  Bei einer Literaturrecherche wird, damit man so viel wie möglich den aktuellen, auf den neuesten Forschungsergebnissen basierenden Wissensstand benutzten kann, nur bis zu zehn Jahren in der Vergangenheit gesucht; so also auch hier.
- Da es aus diversen Gründen nicht möglich war, Datenbanken in mehreren Städten zu durchsuchen (vor allem durch fehlenden Zugang in die Bibliotheken), wurde die Literatursuche auf die zugänglichen Datenbanken der Hogeschool Zuyd beschränkt.
- In den Datenbanken mussten die Abstracts zu den erhaltenen Treffern vorhanden sein, um sich für oder gegen die Bedeutsamkeit eines Artikels entscheiden zu können.
- Durch ein Abstract erhält der Leser einen schnellen Überblick über den Inhalt der vorliegenden Arbeit, in dem Hintergrund, Methode, Resultate und Diskussion zusammenfassend dargestellt werden. So sollte in diesem Fall aus dem Abstract hervorgehen, dass es sich um Vokalformung bei Singen und/oder Sprechen handelt, um zu entscheiden, ob der Artikel zur Beantwortung der Fragestellung bedeutsam sein konnte und angefordert werden sollte.
- Evidenzstufen

  Um möglichst hochwertige Informationen über die Vokalformung zu finden und gleichzeitig einen umfangreichen Überblick über die aktuelle Forschung im Bereich des Bachelorarbeitsthemas zu gewährleisten, wurden Artikel mit der Evidenzstufe I-III nach dem Deutschen Cochrane Zentrum (2011) einbezogen (siehe unten).
- Erwachsene und Kinder, Männer und Frauen

  Der Hauptunterschied zwischen den Vokaltrakten von Männern, Frauen und Kindern ist die Größe. Dieser Unterschied führt zu unterschiedlich hohen Formantfrequenzen, die aber proportional zur Vokaltraktgröße vergleichbar sind (Sundberg, 1997).

- Gut ausgebildete Singstimmen

  Laienstimmen weisen keine oder weniger stark ausgeprägte Merkmale des klassischen Singens auf (Sundberg, 1997). Da es sich in dieser Arbeit um die Vokalformung des klassischen Singens handelt, konnten nur Singstimmen, die diese stark ausgeprägten Merkmale vorweisen, miteinbezogen werden.

- Keine vorliegende Stimmstörungen

  Stimmstörungen, seien sie organisch oder funktionell bedingt, können den Stimmklang und also auch den Vokalklang negativ beeinflussen. Verspannungen im Halsbereich und in den Artikulatoren, die sowohl Ursache als auch Folge von Stimmstörungen sein können (De Bodt, 2009), können zu Abweichungen in der Vokalformung und zu falschen Ergebnissen führen. Aus diesem Grund wurden in dieser Arbeit gesunde Stimmen miteinander verglichen und gestörte Stimmen nicht miteinbezogen.

Tabelle 1: Evidenzlevel

Stufe	Evidenz-Typ
Ia	wenigstens ein systematisches Review auf der Basis methodisch hochwertiger kontrollierter, randomisierter Studien (RCTs)
Ib	wenigstens ein ausreichend großer, methodisch hochwertiger RCT
IIa	wenigstens eine hochwertige Studie ohne Randomisierung
IIb	wenigstens eine hochwertige Studie eines anderen Typs quasi-experimenteller Studien
III	mehr als eine methodisch hochwertige, nichtexperimentelle Studie
IV	Meinungen und Überzeugungen von angesehenen Autoritäten (aus klinischer Erfahrung); Expertenkommissionen; beschreibende Studien

(Deutsches Cochrane Zentrum, 2011)

3.2.2.3. Suchhilfen

> *"Untersuchungen von Datenbanken wie Medline, Cinahl, usw. haben ergeben, dass die Ergebnisse zu einer Suchfrage unterschiedlich sind. In jeder Datenbank können einzigartige Literaturzitate gefunden werden, Überschneidungen in den Ergebnissen sind sehr unterschiedlich. Für eine seriöse Suche nach dem derzeitigen Wissensstand bezüglich eines bestimmten Problems müssen deshalb alle verfügbaren Datenbanken durchsucht werden."* (Kleibel & Meyer, 2005, p. 29)

Für die Literaturrecherche wurden die folgenden Online-Datenbanken benutzt:

Englisch:	Pubmed, ScienceDirect, Cochrane Library, Wiley Online Library, Cinahl, Ovid Medliner, Google Scholar
Niederländisch:	Google Scholar, Picarta, DocOnline, HBO Kennisbank
Deutsch:	Google Scholar, Medpilot

3.2.2.4. Suchbegriffe

Für jeden Teil der PICO-Frage wurde eine Liste von relevanten Suchbegriffen aufgestellt, die mit Hilfe in der Literatur gefundener Begriffe, Synonyme und Flexionsformen erweitert wurde (Kleibel & Mayer, 2005). Diese Liste wurde in drei Sprachen (englisch, deutsch und niederländisch) erstellt (siehe Anlage 1, S. 70 für die englische Fassung).

Für „Population" wurden Suchbegriffe zum Hauptbegriff *Vokale* gesucht.

Für „Intervention" und „Comparison" gab es zwei Hauptbegriffe, zu denen Suchbegriffe gesucht wurden: *Klassisch Singen* und *Sprechen*. Die Unterschiede („Outcome") zwischen Vokalen beim Singen und Sprechen treten in den unterschiedlichen Positionen und/oder Bewegungen der Artikulatoren hervor, zum Beispiel der Position des Kehlkopfes. Daher wurden die Artikulatoren als Basis für Suchbegriffe genommen. Auch der *Vokaltrakt*, in dem sich alle Artikulatoren befinden und dessen Form durch die Artikulationsbewegungen verändert wird, wurde als Suchbegriff verwendet. Schließlich wurden zu (Änderungen in) Resonanz und Stimmspektrum, die aufgrund der Physiologie artikulatorbedingt sind, Suchbegriffe gesucht.

Für die Suche in Pubmed wurden diese Begriffe in die MeSH-Database in Pubmed eingeführt. MeSH bedeutet Medical Subject Heading; die MeSH-Database ist aus Standardsuchbegriffen pro Thema aufgebaut. So werden alle Artikel indexiert und so kann eine effiziente Suche stattfinden. MeSH-Wörter, die zwar gefunden wurden, für diese Arbeit aber irrelevant waren, z.B. alaryngeal speech, also das Sprechen nach einer Laryngektomie oder das Singen der Wale, wurden nicht in die definitive Treffwörtertabelle aufgenommen.

Alle gefundenen Suchbegriffe wurden in einer Tabelle aufgelistet (siehe Anlage 1, S. 70).

3.2.2.5. Suchstrategie

Mit den gefundenen Suchbegriffen wurde mittels einer Suchstrategie (siehe Anlage 1, S. 70) in Online-Datenbanken nach Literatur gesucht.

Es gab verschiedene Möglichkeiten, die Suche zu spezifizieren (Kleibel & Meyer, 2005):

- Trunkierung und Maskierung
- Verknüpfen von Suchbegriffen mit Operatoren AND (UND, EN), OR (ODER, OF) und NOT (NICHT, NIET)
- Suche im Feld Autor
- Suche im Titel und/oder Abstract und/oder unter Schlagwörtern

Eine weitere Möglichkeit, an Literatur zu kommen, war es, den in den bereits gefundenen Artikeln neu aufgetauchten Schlagwörtern und/oder den beigefügten Literaturangaben nachzugehen.

3.2.2.6. Literatursuche

Im Zeitraum vom 18. bis 24. April 2011 wurde nach oben beschriebener Vorgehensweise in den aufgeführten Datenbanken nach Artikeln gesucht. In Anlage 3 (S.74) werden die benutzten Suchstrategien sowie die jeweiligen Treffer in einer Tabelle detailliert dargestellt.

Zu Beginn der Literaturrecherche wurde mit dem PC – Programm „Endnote“ gearbeitet. Bei diesem Programm sind verschiedene Datenbanken aufgelistet. Nach der Auswahl der gewünschten Datenbank durchsucht das Programm deren Suchmaschine nach den eingegebenen Suchbegriffen.

Mit den gleichen Treffwörtern wurden über Endnote in Pubmed jedoch weniger Treffer erzielt als direkt in Pubmed. Daher wurde direkt in Pubmed gesucht. Auch die zusätzlich aufgeführten Datenbanken konnten durch Endnote nicht gefunden und bearbeitet werden und wurden deshalb via Internetseite der Hogeschool Zuyd durchsucht.

Mit der in Anlage 1 (S. 70) beschriebenen Suchstrategie konnten nur Artikel gefunden werden, die die Suchbegriffkombination *Vokale/Artikulation* UND *Singen* UND *Sprechen* UND *Artikulatoren* (einschließlich ihrer Synonyme und Flexionsformen) im Abstract hatten. Folglich würden Artikel über *Vokale/Artikulation* UND *Sprechen* (ohne *Singen*), die aber auch relevant sein könnten, so nicht gefunden werden. Aus diesem Grund wurde beschlossen,

die Suche aufzuteilen in *Vokale/Artikulation* UND *Singen* einerseits und *Vokale/Artikulation* UND *Sprechen* andererseits, eventuell kombiniert mit Suchbegriffen für Artikulatoren. Alle gefundenen Artikel wurden über den Suchbegriff *Singen* (einschließlich Synonymen und Flexionsformen) in Kombination mit *Vokalen/Artikulation* und/oder *Artikulatoren* gefunden. Über den Suchbegriff *Sprechen* (einschließlich Synonymen und Flexionsformen) wurden keine Artikel gefunden, die mit Artikeln über das Singen verglichen werden konnten.

Weiterhin gab es Artikel über artikulatorische Sprachsynthese und Singstimmsynthese und über Computertools für das Training der Gesangsstimme. Die artikulatorischen Parameter wurden bei diesen aber nicht so konkret beschrieben, dass die Informationen für diese Studie relevant gewesen wären.

Viele Artikel über das Singen beschäftigen sich mit den akustischen Parametern der Stimme (Formanten, Sängerformant) und nicht direkt mit artikulatorischen Bewegungen. Dennoch können hier aber vorsichtige Schlüsse gezogen werden, weil aus anderen Artikeln klar wird, wie artikulatorische Bewegungen die Formanten beeinflussen. Kiefersenkung führt z. B. zu F1-Erhöhung, Vorverlagerung des Zungenrückens zu F2-Erhöhung (Kröger, 2007).

Relevante Artikel wurden nur in den Datenbanken Pubmed, Science Direct und Google Scholar gefunden. Die kostenpflichtige Datenbank DocOnline nimmt schon seit längerer Zeit keine aktuellen Artikel mehr auf, auch gab es zu ihr keinen Zugang mehr über die Hogeschool Zuyd. Aus diesem Grund wurde DocOnline nicht benutzt. HBO Kennisbank wurde benutzt, um anhand von Diplomarbeiten und Dissertationen Literaturverweise zu finden, die auf ausschlaggebende Artikel hätten hindeuten können. Diese Suche blieb jedoch erfolglos.

Es wurde auch versucht, Artikel über Webseiten logopädischer, phoniatrisch-pädaudiologischer Berufsvereine in Deutschland und in den Niederlanden einerseits und internationaler Institute, an denen angesehene Stimmforscher arbeiten, andererseits zu finden (so z.B. das National Center of Voice (Titze), The Music Group at The Department of Speech Music and Hearing KTH Stockholm (Sundberg), das Groningen Voice Research Lab (Schutte, Miller) und das Freiburger Institut für Musikermedizin). Auf der Website von Letzterem fanden sich zwar einige deutschsprachige Artikel, aber bis auf zwei (Echternach et al. 2008b, 2010c) wurden sie andernorts ausnahmslos auch in englischer Sprache gefunden. Insgesamt wurden auf diesem Wege keine niederländischsprachigen Artikel gefunden.

Schließlich wurde auch noch neu aufgetauchten Schlagwörtern und beigefügten Literaturangaben in den bereits gefundenen Artikeln nachgegangen.

3.2.3. Bewertung, Lektüre und Ordnen der gefundenen Literatur

3.2.3.1. Einleitung

In der dritten Phase des Prozesses einer Literaturrecherche wird die gefundene und ausgewählte Literatur bewertet und kritisch gelesen. So kann erstens die Relevanz für das Thema dieser Bachelorarbeit und zweitens die Relevanz nach formalen und inhaltlichen Qualitätskriterien festgestellt werden (Zielhuis, 2002; Kleibel & Meyer, 2005).

3.2.3.2. Bewertung der gefundenen Literatur

Es musste aus dem Abstract hervorgehen, dass es sich um Vokalformung bei Singen oder/und Sprechen handelt, um entscheiden zu können, ob der Artikel zur Beantwortung der Fragestellung dieser Arbeit bedeutsam war und Volltext beschafft werden musste.

Durch Selektion mittels Ein- und Ausschlusskriterien und einen Vergleich der Treffer aus den jeweiligen Datenbanken, um eine Überlagerung der Artikel auszuschließen, waren am Ende 46 Artikel zur weiteren Untersuchung relevant. Von 36 dieser Artikel gab es online Volltext-Versionen in Pubmed, Science Direct oder Google Scholar zu finden. Die Suche nach den zehn übrigen Artikeln wurde an die Bibliothek der Hogeschool Zuyd weitergeleitet, um bei ZB Med in Köln bestellt werden zu können.

Zwei dieser Artikel fanden sich dann als digitaler Volltext in der Bibliothek der Hogeschool Zuyd, ein Artikel war als Volltext nicht erhältlich und ein Artikel wurde überhaupt nicht gefunden. Die restlichen sechs Artikel wurden bei ZB Med gekauft.

3.2.3.3. Lektüre und systematisches Ordnen der gefundenen Literatur

Die 44 Artikel, welche Volltext beschafft wurden, wurden im Folgenden (diesmal mit Hilfe von Endnote) auch noch direkt auf Titel und Autor hin in Pubmed gesucht und dabei fast alle gefunden. So konnte der Reference-Manager Endnote doch für die Literaturverweise benutzt werden. Die Literaturverweise der restlichen Artikel wurden per Hand ausgeführt. Nach dem Lesen wurden die Artikel auf ihre Relevanz hin begutachtet. Die Beurteilung erfolgte erst anhand des Inhalts, dann nach Evidence-Based-Practice-Kriterien. Dazu wurde das 'Critical Review Formular' der Hogeschool Zuyd benutzt (siehe Anlage 2, S. 72).

Beurteilung nach Inhalt

Es wurde festgestellt, dass sich 18 Artikel nicht mit dem Kernthema, bzw. der Problemstellung auseinandersetzten oder die Informationen zu indirekt und/oder nicht brauchbar waren. Diese Artikel wurden ausgeschlossen und nicht in der Präsentation der Schlüsselresultate aufgenommen, so dass lediglich 26 Artikel nach Evidence-Based-Practice-Kriterien bewertet wurden.

Beurteilung nach Evidence-Based-Practice-Kriterien

Die Basis der Evidence Based Practice (EBP) beruht auf einem mehrstufigen Prozess der Integration individueller klinischer Expertise in die bestmögliche externe Evidenz aus systematischer Forschung. Dabei wird aus der Untersuchungsfrage eine relevante, beantwortbare Frage (PICO-Frage) abgeleitet. Anhand dieser Frage erfolgt die Recherche mit relevanten Suchbegriffen in z.B. Literatur Online-Datenbanken.

Die auf diese Weise gefundene Literatur muss dann bezüglich ihrer Validität und Brauchbarkeit kritisch bewertet werden. Durch diese Prozedur kann das Beweisniveau (der Literatur) festgestellt werden. Schließlich folgt die Verwendung der ausgewählten und bewerteten Evidenz im individuellen Fall (Sacket et al., 1996).

Da in den Studien das verwendete Design des jeweiligen Autors nicht direkt benannt wurde, wurde die Bestimmung des Designs vom Verfasser dieser Bachelorarbeit vorgenommen. Hierbei wurde sich auf die Literatur von Shadish et al. (2002) und Goodwin (2010) bezogen. Die dazu benötigte Einteilung des Beweisniveaus (siehe auch S.17) erfolgte nach dem Deutschen Cochrane Zentrum (2011).

Es stellte sich heraus, dass zwar die gewollten Evidenzstufen erreicht, jedoch keine methodisch hochwertigen kontrollierten, randomisierten Studien gefunden wurden. Die Beweisniveaus sind daher schwach, obwohl über die Hälfte der Studien nicht mehr als vier Jahre alt war (siehe Anlage 4, S. 87). Auch handelte es sich meist um kleine Probandengruppen oder sogar Einzelfallstudien.

Von den 26 relevanten Studien konnten 24 als sogenannte Pre-Experimente eingestuft werden. Nach Shadish et al. (2002) werden pre-experimentelle Designs zu den quasi-experimentellen Designs gerechnet, da sie unter bestimmten Umständen Rückschlüsse auf Ursache-Wirkungsbeziehungen zulassen. Diese Studien wurden also der Evidenzstufe IIb zugeteilt.

Zwei der Studien konnten als Übersichtsarbeit eingestuft werden (Wolfe et al., 2009; Mitchell et al., 2006). Da diese beiden Studien aber nur Pre-Experimente als Grundlage ihrer Arbeit haben, wurden sie im Sinne der Einteilung der EBP nicht als Systematic Review, sondern ebenfalls in die Evidenzstufe IIb eingeordnet.

Folgende Arten von Pre-Experimenten konnten unterschieden werden:

- Static Group Comparison oder nicht-randomisierte Vergleichsgruppen
- One Shot Case Study oder Einmal-Messung ohne Kontrollgruppe
- One-Group Pretest-Posttest Design oder Vorher- und Nachher-Messung ohne Kontrollgruppe

Es gibt im Bereich des Themas dieser Arbeit noch nicht viel 'Evidence' und wenige Studien mit größeren Probandengruppen. Viele Autoren weisen darauf hin, dass es hochwertigerer Studien bedarf, um das Beweisniveau erhöhen und weniger vorsichtige, relevante Schlüsse ziehen zu können. Um doch ein umfassendes Bild, sei es auch mit einer schwachen Beweiskraft, zu schaffen, wurde dennoch beschlossen, alle 26 Artikel mit einzubeziehen, deren Evidenzstufe und Beweisniveau hier in Tabelle 2 beschrieben werden:

Tabelle 2: Evidenzstufe und Beweisniveau der vorliegenden Studien

Autor	Design	Probanden	Evidenz-stufe	Beweis-niveau
Wolfe et al. (2009)	Übersichtsarbeit	126 Studien über Vokaltraktresonanzen bei Blasinstrumenten und Gesang	IIb	schwach
Mitchell et al. (2006)	Übersichtsarbeit	4 Studien	IIb	schwach
Fowler (2007)	Static Group Comparison Pre-experimentell	36 Laien 36 Profisänger	IIb	schwach
Jennings et al. (2008)	Static Group Comparison Pre-experimentell	21 Amateure 25 Gesangsstudenten	IIb	schwach

Austin (2007)	Static Group Comparison Pre-experimentell	6 Gesangsstudenten 6 Profisänger	IIb	schwach
Garnier et al. (2010)	Static Group Comparison Pre-experimentell	4 Laien 4 Gesangsstudenten 4 Profis alle Sopran	IIb	schwach
Joliveau et al. (2004b)	Static Group Comparison Pre-experimentell	5 Profisoprane 4 fortgeschrittene Gesangsstudenten, Sopran	IIb	schwach
Joliveau et al. (2004a)	Static Group Comparison Pre-experimentell	4 Profisoprane 4 fortgeschrittene Gesangsstudenten, Sopran	IIb	schwach
Titze (2009)	Static Group Comparison Pre-experimentell	2 klassische Tenöre 2 Musical-Tenöre	IIb	schwach
Schutte et al. (2005)	One Shot Case Study Pre-experimentell	60 Aufnahmen von 34 berühmten Tenören	IIb	schwach
Schade et al. (2003)	One Shot Case Study Pre-experimentell	13 Profisänger 15 Profisängerinnen	IIb	schwach
Henrich et al. (2011)	One Shot Case Study Pre-experimentell	22 Profisänger	IIb	schwach
Vurma et al. (2002)	One Shot Case Study Pre-experimentell	20 Gesangsstudenten (11 Frauen, 9 Männer)	IIb	schwach
Birch et al. (2002)	One Shot Case Study Pre-experimentell	17 Profisänger	IIb	schwach
Dromey et al. (2011)	One-group pretest posttest Pre-experimentell	15 Amateure (Chorsänger)	IIb	schwach

Tanner et al. (2005)	One Shot Case Study Pre-experimentell	10 Profisoprane	IIb	schwach
Weiss et al. (2001)	One Shot Case Study Pre-experimentell	10 Profisoprane	IIb	schwach
Echternach et al. (2010b)	One Shot Case Study Pre-experimentell	10 Profitenöre	IIb	schwach
Barnes et al. (2004)	One Shot Case Study Pre-experimentell	6 Profisoprane	IIb	schwach
Bresch et al. (2010)	One Shot Case Study Pre-experimentell	5 Profisoprane	IIb	schwach
Echternach et al. (2008b)	One Shot Case Study Pre-experimentell	5 Profitenöre	IIb	schwach
Echternach et al. (2010a)	One Shot Case Study Pre-experimentell	4 fortgeschrittene Gesangsstudenten (Sopran)	IIb	schwach
Echternach et al. (2008a)	One Shot Case Study Pre-experimentell	2 Profisänger (ein Bariton, ein Tenor)	IIb	schwach
Echternach et al. (2010c)	One Shot Case Study Pre-experimentell	2 Profitenöre	IIb	schwach
Sundberg (2009)	One Shot Case Study Pre-experimentell	eine Profisängerin (Sopran)	IIb	schwach
Sundberg et al. (2005)	One Shot Case Study Pre-experimentell	ein Profisänger (Bariton)	IIb	schwach

4. Resultate

4.1. Beschreibung der Studien

Die Studien und deren Methoden, Limitationen und Ergebnisse, laut der Autoren, wurden zuerst kurz beschrieben. Die Reihenfolge folgte hierbei dem Hauptthema der Studien:

- VPO (Velopharyngeal Opening)
- Kiefersenkung
- Resonance Tuning, Sängerformant (Fs)
- Vocal Tract Shape
- Pharyngeale Weite

Tabelle 3: Hauptthemen der Studien

Hauptthema	Autor	Hauptthema	Autor
VPO	Birch et al. (2002)	**Resonance Tuning Singing Formant (Fs)**	Barnes et al. (2004)
	Tanner et al. (2005)		Bresch et al. (2010)
	Sundberg et al. (2005)		Weiss et al. (2001)
	Fowler et al. (2007)		Sundberg (2009)
	Jennings et al. (2008)		Joliveau et al. (2004a)
Kiefersenkung	Austin (2007)		Joliveau et al. (2004b)
Pharyngeale Weite	Mitchell et al. (2006)		Garnier et al. (2010)
	Schade et al. (2003)		Henrich et al. (2011)
Vocal Tract Shape	Echternach et al. (2008a)		Vurma et al. (2002)
	Echternach et al. (2008b)		Schutte et al. (2005)
	Echternach et al. (2010a)		Titze (2009)
	Echternach et al. (2010b)		Wolfe et al. (2009)
	Echternach et al. (2010c)		Dromey et al. (2011)

Eine weitere Tabelle aller Studien, ihren Hauptthemenbereichen nach geordnet, gibt eine Übersicht über Probanden, angewendete Messinstrumente und gefundenen Resultate und befindet sich in den Anlagen (Anlage 5, S. 88).

4.1.1. VPO (Velopharyngeal Opening)

Die Unterschiede von Vokalen beim Singen und Sprechen treten in den unterschiedlichen Positionen und/oder Bewegungen der Artikulatoren hervor, zum Beispiel der Position des Velums. Wenn das Velum den Nasenraum nicht ganz abschließt, wird der Vokaltrakt durch den Nasenraum erweitert, was zu Resonanzveränderungen führen kann. Im Training der klassischen Gesangsstimme und auch in der Stimmtherapie gibt es viele Übungen, die mit nasalen Konsonanten (auch in Verbindung mit Vokalen), also mit einer velopharyngealen Öffnung (VPO) ausgeführt werden. Daraus kann man schließen, dass eine VPO ein Merkmal einer guten Gesangstechnik ist und vorteilhaft für den Stimmklang (Birch et al., 2001; Sundberg et al., 2005).

In den hierfür gefundenen Studien gab es verschiedene Methoden, die Anwesenheit einer VPO zu untersuchen.

Birch et al. (2002)

Methode

Birch et al. (2002) benutzten die Nasenendoskopie und maßen mittels einer Flussmaske den oralen und nasalen Luftfluss voneinander getrennt sowie die Intensität des Fundamentals (Grundton) im oralen und nasalen Stimmsignal. 17 Opernsänger verschiedener Stimmgattungen (drei hohe Soprane, drei Soprane, zwei Mezzosoprane, drei Tenöre, zwei Baritone, zwei Bassbaritone und zwei Bässe) sangen Wörter mit den Vokalen /a, i, u/ von tiefer bis hoher Lage, was auf Tonband aufgenommen wurde. Daraufhin fand durch ein Zuhörerpaneel von sechs Gesangslehrern eine auditive Beurteilung der Aufnahmen auf Nasalität statt, bei der nur die Vokale analysiert wurden.

Limitationen

Die Ergebnisse dieser verschiedenen Methoden widersprachen sich zum Teil, was zu folgenden, durch die Autoren erwähnten Limitationen dieser Studie führt:

Eine mit Nasenendoskopie festgestellte VPO führte z.B. nicht immer zu einem messbaren nasalen Luftfluss.

Auch war es möglich, dass die Flussmaske nicht gut anschloss, so dass die Luftflussmengen nicht korrekt gemessen werden konnten. Die Autoren erwähnen, dass die Hersteller der Maske auf die Möglichkeit solcher Fehler hinweisen. Hinzu kommt, dass die Nasenendoskopie nicht gleichzeitig mit den Luftflussmessungen ausgeführt werden konnte.
Eine weitere Limitation war, dass die Sänger durch die Flussmaske nicht ihr normales auditives Feedback hatten und in ihrer Kieferöffnung beschränkt wurden.
Die Interrater-Reliabilität des Zuhörerpaneels war zudem klein und die auditive Beurteilung der Aufnahmen auf Nasalität zeigte keine Korrelation mit der gemessenen VPO.
Noch eine Limitation war, dass kleine VPO's bei einer Nasenendoskopie leicht hatten übersehen werden können, da die Passavant'sche Ringwulst einer Beobachtung kleinerer VPO's im Weg sein kann.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Die Schlussfolgerung der Studie musste also laut der Autoren konservativ sein. In allen Stimmgattungen konnten zwar VPO's festgestellt werden, es gab aber kein klares Muster. Die meisten Sänger und einige Sängerinnen hatten VPO bei /a/. Bei /u, i/ war dies weniger der Fall. Die drei Tenöre zeigten eine VPO in der Nähe des Passaggios (der Übergang vom Modal- zum Kopfregister), was auf eine Strategie des Registerausgleichs hindeuten könnte. Mit Nasenendoskopie wurden drei Arten von VPO gefunden, die bei den einzelnen Sängern variierten: Verschluss, Öffnung in koronaler Richtung, Öffnung in sagittaler Richtung. Verschiedene Arten von VPO könnten auf Tuning des Stimmklangs durch die Sänger hindeuten.
Das Messen des VPO war ergo schwierig und die benutzten Messinstrumente waren nicht ganz verlässlich.

Sundberg et al. (2005)

Methode

Sundberg et al. (2005) benutzten einen 3D-CT-Scan des Vokaltraktes eines Baritons während dieser ein /a/ sang, um zwei Epoxy-Modelle des Vokal- und Nasentrakts zu konstruieren. Auch wurde ein stilisiertes, eisernes Modell konstruiert. Das gesungene /a/ wies eine kleine VPO auf. Es wurden unterschiedlich nasal gefärbten /a/'s gesungen und aufgenommen.

Die Modelle wurden daraufhin an einen Tongenerator angeschlossen und so präpariert, dass auch die akustischen Effekte eines velopharyngealen Verschlusses und größerer VPO's untersucht werden konnten.

Limitationen

Es gab laut der Autoren wichtige Limitationen: Erstens gab es nur einen Probanden, dessen Vokaltrakt als Vorlage für die Modelle benutzt wurde. Zweitens wichen die akustischen Eigenschaften der Modelle aufgrund der Andersartigkeit des Materials Epoxy stark von denen der Schleimhaut des menschlichen Vokaltraktes ab. Hinzu kam, dass die Modelle nicht bis auf das kleinste Detail hin konstruiert werden konnten.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Die Spektralanalysen der vom Bariton gesungenen /a/'s ergaben eine Abnahme der Intensität des 1. Formanten (F1) und eine relative Steigerung des 3 kHz-Gebietes des Sängerformanten (Fs) je nasaler der Vokal gesungen wurde. Bei den Vokaltraktmodellen, modifiziert für /u, i/, führte eine VPO zu einer Abnahme der Intensität des 1. Formanten und einer Verbreiterung dessen Bandweite, was, so die Autoren, ein Merkmal nasaler Klänge ist. Eine VPO würde auch die Impedanz des Vokaltraktes vergrößern, was einen erstärkenden Einfluss auf das glottale Vibrationssystem hätte (Titze, 2009). Die Autoren schlossen daraufhin, dass es möglich ist, dass Sänger eine VPO zur Verstärkung höherer Partialtöne benutzen, ohne dabei den Vokalklang grundlegend zu verändern.

Tanner et al. (2005)

Methode

Tanner et al. (2005) untersuchten die VPO von zehn professionellen Sopranistinnen mit mehrjähriger Erfahrung im Operngesang und verglichen Sprechen und unterschiedliche Tonlagen und Lautstärken des Singens für /a, i, u/ durch Messungen des nasalen Luftflusses, des nasalen und intra-oralen Luftdrucks und VPO-Schätzungen, die aus den erwähnten Messungen berechnet werden konnten.

Limitationen

Auch hier war aber die Probandengruppe laut der Autoren klein und homogen. Daher konnten keine Aussagen über andere Stimmgattungen, die z.B. in Birchs Studie (2002) auch untersucht wurden, oder über Sänger mit mehr oder weniger Erfahrung gemacht werden. Eine andere Limitation war hier, dass die VPO's nur indirekt errechnet wurden und Schätzungen

waren. Auch die Tatsache, dass es bei Singen und Sprechen unterschiedliche Lungenvolumen und variierenden subglottalen Druck gibt, was auch von Einfluss sein könnte, wurde nicht in die Studie miteinbezogen.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigten im Vergleich zum Sprechen mehr VPO beim Singen, bei /a/ mehr VPO als bei /i, u/ und bei tieferen, für die Sängerinnen komfortableren Stimmlagen mehr als in der Höhe. Die Autoren schlussfolgerten vorsichtig, dass es beim Singen öfter zu einer VPO kommt als beim Sprechen und dass eine kleine gelegentliche VPO zu einem optimaleren klassischen Stimmklang beitragen könnte.

Jennings & Kuehn (2008)

Methode

Jennings & Kuehn (2008) untersuchten die Effekte von Tonlage, Vokal, Lautstärke und Geschlecht auf Nasalität bei 25 klassischen Gesangsstudenten im fünften oder höheren Semester und 21 Amateuren verschiedener Stimmgattungen. Mit Hilfe eines Nasometers wurden die nasalen und oralen akustischen Signale in den Vokalen /ɑ, e, i, o, u/ in tiefen, mittleren und hohen Tonlagen in der Lautstärke piano (leise) und mezzoforte (mittellaut) gemessen und analysiert.

Limitationen

Auch diese Studie hatte laut der Autoren einschneidende Limitationen. Die Probandengruppe war relativ klein, vor allem bei den Subgruppen nach Stimmgattung einerseits und Niveau und Geschlecht andererseits. Die Studenten stammten alle von der gleichen Universität und wurden möglicherweise auf eine bestimmte Art trainiert. Manche Amateure hatten Gesangsunterricht, manche nicht, was diese Gruppe weniger homogen machte.

Die Autoren wiesen diesbezüglich insbesondere darauf hin, dass man Gesangsübungen grundsätzlich nicht generalisieren und etwa mit gesungenem Repertoire vergleichen kann.

Zu berücksichtigen war auch, dass der Nasometer für die Sprechstimme konzipiert wurde und es deshalb möglich war, dass dieses Gerät bei hohen Frequenzen nicht optimal funktionierte.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Es gab die folgenden Ergebnisse: Amateure wiesen auf allen Vokalen außer /o/ signifikant höhere Werte von Nasalität auf. Sechs von ihnen konnten als hypernasal eingestuft werden. Profis scheinen also weniger zur Nasalität zu tendieren oder lernen Nasalität zu verringern.

Der Vokal /i/ wies signifikant höhere Werte von Nasalität als /ɑ, e/ auf, die wiederum signifikant höhere Werte von Nasalität als /o, u/ in jeder Tonlage hatten. Männer hatten in Jennings Studie in den höheren Tonlagen mehr Nasalität, Frauen in der tiefen Lage. Die Nasalität war beim piano Singen größer als bei mezzoforte, außer in den mittleren und hohen Stimmlagen der Frauen.

Fowler et al. (2007)

Methode

Fowler et al. (2007) verglichen die Nasalität der in drei Tonlagen gesungenen Vokalen /i, ae, u, ɑ/ von 36 weiblichen ausgebildeten Sängern und Gesangsstudenten einerseits und 36 weiblichen Laien andererseits. Dazu wurde die Intensität des Fundamentals (Grundton) im nasalen und oralen Stimmsignal mittels einer Flussmaske gemessen.

Limitationen

Eine Limitation dieser Studie war die mögliche Lücke zwischen der Nasen- und der Mundkammer der Flussmaske (siehe auch Birch et al., 2002). Auch wurde festgestellt, dass manche Probanden /ɑ/ ein wenig in Richtung /a/ oder /ae/ modifizierten. Dies geschah, laut der Sänger, um einen besseren Stimmsitz zu erreichen.

Grund für VPO-Unterschiede konnten auch anatomische Unterschiede der individuellen Velarstruktur der Probanden sein. Obendrein war es möglich, dass die Sänger, unter der Flussmaske ohne ihr normales auditives Feedback, ihre Phonation der Situation angepasst hatten.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Es wurden schlussendlich keine signifikanten Unterschiede zwischen Sängern und Laien gefunden. Die Nasalitätswerte für /i, ae/ waren signifikant höher als für /ɑ, u/. Bei beiden Gruppierungen war die Nasalität in der tiefen Tonlage signifikanter ausgeprägter als in der hohen Stimmlage.

Die Schlussfolgerung von Fowlers Studie war, dass es beim Singen in höheren Lagen im Gegensatz zu den tieferen Lagen keine Nasalität gab. Die Autoren zeigten sich überrascht, dass keine nennenswerten Unterschiede zwischen Sängern und Laien gefunden wurden.

4.1.2. Kiefersenkung

Austin (2007)

Methode

Austin (2007) untersuchte die Kiefersenkung für gesprochene und gesungene Vokale (/a, i, u/) in zwei Gruppen von jeweils sechs Sängern. Die erste Gruppe, vier Tenöre und zwei Sopranistinnen, hatten weniger als vier Jahre Gesangstraining. Die zweite Gruppe, ein Sopran, ein Mezzosopran, zwei Tenöre, ein Bariton und ein Bassbariton, hatte zwischen acht und 20 Jahren Training und/oder Erfahrung. Jeder Sänger sprach und sang zehn Mal den Satz "I say b*(v)*p" (*(v)* stand für den jeweiligen Vokal). Dies wurde zur akustischen Analyse aufgenommen. Bei den gesungenen Vokalen gab es drei Tonlagen: tief, mittel und hoch. Die Kiefersenkung wurde mit dem Dehnungsmessstreifen eines Cephalostats gemessen.

Limitationen

Als Limitationen nannten die Autoren hier zum einen die Tatsache, dass sich der Cephalostat während der Messungen ab und zu ein wenig verschob; da aber die Fehlerquote nie mehr als fünf Prozent betrug, sahen sie darüber hinweg.

Zum anderen wurde aber vor allem deutlich, wie sehr die Untersuchungsergebnisse der Probanden variierten.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Das /a/ wurde mit erheblich mehr Kiefersenkung gesungen als /i, u/. Je tiefer die Stimmlage, desto geringer war die Kiefersenkung; in dieser tiefen gesungenen Stimmlage selbst geringer als bei gesprochenen Vokalen.

4.1.3. Resonance Tuning / Fs (Singing Formant)

Die Hälfte der Studien (13) setzte sich mit den Resonanzen der Gesangsstimme und der Form des Vokaltrakts auseinander. Die artikulatorischen Bewegungen, die diese Resonanzen verursachen, wurden dabei nicht immer beschrieben oder untersucht, aber es ist möglich, aus Informationen über die Formanten darüber Rückschlüsse zu ziehen (siehe theoretischer Hintergrund von Formanten und Artikulatoren, S. 7).

Barnes et al. (2004)

Methode

Barnes et al. (2004) untersuchten die Zusammenhänge zwischen hohen Frequenzbereichen und Sopranstimmlage bei sechs Sopranistinnen unterschiedlichen Niveaus und unterschiedlicher Erfahrung anhand isoliert gesungener Vokale in Form von Dreiklängen über 440 Hz sowie gesungener Vokale aus zwei Musikstücken. Sowohl alle Dreiklänge, als auch die Musikstücke wurden mit komfortabler und maximaler Projizierung der Stimme gesungen und aufgenommen. Mittels eines externen, tieffrequenten Tongenerators (70 Hz) am Hals einer Probandin wurden in einer zusätzlichen Aufnahme F1 und F2 für die Vokaltraktkonfiguration jedes Vokals bei den Frequenzen 440, 685 und 880 Hz errechnet. Diese Werte wurden als Vergleichsmaterial benutzt.

Limitationen

Eine Limitation, die genannt wurde war, dass von Schätzungen ausgegangen wurde, weil die Partialtöne bei hohem F0 weit auseinander liegen und die Formantfrequenzen aus spektralen Maximen nur schwierig festgestellt werden können. Außerdem wurde die Lautstärke der Formanten in hoher Stimmlage zum Teil auch durch einen lauteren F0 verursacht. Hohe Töne wurden generell lauter gesungen als tiefe.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Für die Vokale /a, o/, wurden Fs-ähnliche Frequenzmaximen im 3 kHz-Bereich gefunden, nicht aber für /i/.

Die Autoren zitierten verschiedene Forscher, welche die artikulatorischen Eigenschaften des Fs beschrieben: Titze and Story (1997) konkludierten, dass eine epilaryngeale Verengung ideal ist für Operngesang in hoher Tonlage; Sundberg (1974) wies nach, dass pharyngeale Weite und eine Senkung des Kehlkopfs Vorraussetzungen für einen Fs sind. In der Studie von Barnes gab es Hinweise darauf, dass F1 bei allen Vokalen in hoher Lage über den erwarteten Frequenzen lag und die Sängerinnen F1 und F2 durch Veränderungen ihrer Kiefer- und Zungenpositionen erhöhten und so auf den F0 abstimmten.

Weiss et al. (2001)

Methode

Weiss et al. (2001) untersuchten die Anwesenheit des Fs in Sopranstimmen. Vier fortgeschrittene Studentinnen und sechs professionelle Sängerinnen sangen gehaltene Vokale

/i, e, a, o, u/ in tiefer, mittlerer und hoher Lage (261, 622 und 932 Hz). Die aufgenommenen Daten wurden dabei mittels Spektralanalyse analysiert.

Limitationen

Die Lautstärke mancher Sängerinnen war so stark, dass der Aufnahmelevel angepasst werden musste oder die Sängerin aufgefordert wurde leiser zu singen. Die zwei Gruppen wurden mit unterschiedlichen Mikrofonkonditionen untersucht. Das führte zu unterschiedlichen dB-Werten. Die Gesamtergebnisse waren sich insgesamt aber sehr ähnlich. Das Vibrato der Stimmen hatte Schwankungen im F0 und in den Partialtönen zur Folge.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

In der tiefen und mittleren Lage gab es Frequenzgipfel, die einem Fs eines Tenors ähnlich waren. Die Bandbreite war aber doppelt so groß (2 kHz). In der hohen Tonlage gab es lediglich einen starken F0 mit Verstärkung der benachbarten Partialtöne bis 5 kHz und sogar höher. Die artikulatorische Konfiguration assoziiert mit dem Fs anderer Stimmen wird in dieser Lage also nicht gebraucht.

Bresch & Narayanan (2010)

Methode

Bresch & Narayanan (2010) benutzten in ihrer Studie über Resonanzabstimmung die dynamische Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT). Fünf Soprane sangen Vokale, /a, e, i, o, u/, über zwei Oktaven hinweg. Die artikulatorischen Bewegungen der Sopranistinnen wurden dabei mit Hilfe mittelsagittaler MRT-Bilder gemessen.

Diese Bilder waren später auch die Grundlage für ein 3D-Rohrmodell des Vokaltraktes, anhand dessen F1 und F2 für alle Vokale berechnet wurden.

Limitationen

Hier war eine Limitation, dass das Rohrmodell eben lediglich ein Modell war und es Abweichungen zu den Vokaltrakten der Probanden gab. Es gab laut der Autoren auch erhebliche Unterschiede in der Artikulation der Probanden, die aber vielleicht trainingsbedingt sein können.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Bei den hohen Vokalen /i, u/ gab es eine klare Resonanzabstimmung durch Erhöhung des F1 bei höheren F0, bei /a, e, o/ nicht. Die MRT-Bilder zeigten, dass die Vokalartikulation in tiefer Lage klare Unterschiede vorweist, in hoher Lage bei den meisten Probanden aber für

alle Vokale die gleiche offene, /a/-ähnliche Einstellung entsteht. Das ist nicht unlogisch, da das /a/ den höchsten F1 aller Vokale hat. Alle Probanden benutzten die Kiefersenkung als Resonanzstrategie.

Sundberg (2009)

Methode

Auch Sundberg (2009) bediente sich der dynamischen Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) und untersuchte den Zusammenhang von artikulatorischer Konfiguration und Tonhöhe, während eine professionelle Sopranistin ein Dreiklangmuster in der Stimmlage C4-G5 (262-784 Hz) auf den Vokalen /i, e, u, o, a/ sang. Das MRT-Gerät wurde auf den mittelsagittalen Querschnitt eingestellt, Sundberg machte mehrere Aufnahmen.

Limitationen

Limitationen: Erstens gab es nur eine Probandin, zweitens war die Aufnahmesituation unnatürlich (Rückenlage im MRT, Störgeräusche des MRT, Raumakustik), drittens waren die Bilder unscharf und es gab erhebliche Differenzen in den Messungen, welche durch Schnittmengenberechnung allerdings etwas verringert werden konnten.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Vier oder fünf Halbtöne unterhalb des normalen F1 wurde die Höhe des Zungenrückens bei den Vokalen /i, e, u, a/ verringert, die Lippenöffnung bei /o/ vergrößert und bei /a/ zusätzlich die Kieferöffnung vergrößert. Bei den höchsten Tönen wurde die Kieferöffnung für alle Vokale vergrößert.

Daraus ergab sich die Vermutung, dass die artikulatorischen Veränderungen der Grund für die F1- F0-Abstimmung sind.

Joliveau et al. (2004a, 2004b), Garnier et al. (2010) und Henrich et al. (2011)

Methode

Die nächsten vier Studien (Joliveau et al., 2004a; Joliveau et al., 2004b; Garnier et al., 2010; Henrich et al., 2011) wurden jeweils im selben Laboratorium und zum Teil von denselben Untersuchern durchgeführt. Alle hatten das Thema Resonanzabstimmungen im Vokaltrakt. Joliveau et al. (2004a,b) und Garnier et al. (2010) arbeiteten dafür mit Sopranen, Henrich et al. (2011) mit Sopranen, Alti, Tenören und Baritonen.

Bei Joliveau und Henrich sangen die Sänger Wörter, die die Vokale /ɑ, ɔ, ə, u/ enthielten, und verblieben auf jedem Ton ihres normalen Stimmumfangs über vier Sekunden auf jedem dieser Vokale. Bei Garnier wurde nur der Vokal /a/ benutzt. In allen Fällen wurden die Frequenzen von F1 und F2 während einer kurzen Zeitdauer des gehaltenen Tons mittels Breitbandexzitation am Mund gemessen. Die Aufnahme lässt erst nur die Stimme, dann Stimme *und* Breitbandsignal und dann erneut nur die Stimme hören. Die gemessenen F1 und F2 wurden mittels Spektralanalyse mit Partialtönen (F0, 2F0, etc.) verglichen.
Im Artikel von Henrich et al. (2011) wurden zusätzlich die Daten der insgesamt 27 Soprane der letzten drei Studien verglichen.

Joliveau et al. (2004a)

Methode

Die Methode wurde bereits oben beschrieben.

Limitationen

Eine Limitation dieser Studie war, dass die Sängerinnen leise singen mussten, damit die Messgeräte nicht überbelastet wurden. Die Ergebnisse stimmten deshalb möglicherweise nicht mit der Wirklichkeit überein.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Joliveau et al. (2004a) stellten fest, dass F1 bei acht Sopranen (vier fortgeschrittenen Gesangsstudentinnen, vier professionellen Sängerinnen) relativ konstant blieb, wenn F0 tiefer als der F1-Wert beim normalen Sprechen war. Näherte sich F0 an F1 an, wurde F1 durch Resonanzabstimmung für alle Vokale erhöht. Der F1 der runden Vokale /ɔ, u/ aber konnte bei einem F0 von ungefähr 1 kHz nicht weiter erhöht und auf diesen abgestimmt werden.
Eine weitere F1-Erhöhung dieser Vokale ist also nur möglich, wenn der Vokalcharakter zu Vokalen mit höheren F1 verändert wird, so Joliveau. Dies führt zu der bekannten Unverständlichkeit der Wörter im Operngesang.
Diejenigen artikulatorischen Veränderungen, die tatsächlich zu einer F1-Erhöhung führen, wurden aber nicht untersucht. Aus anderen Studien war, laut der Autoren, aber bereits bekannt, dass dies durch eine größere Kieferöffnung, ob in Zusammenhang mit einer größeren Mundbreite oder auch nicht, stattfindet.

Joliveau et al. (2004b)

Methode

Joliveau et al. (2004b) führten daraufhin die gleiche Studie erneut durch, diesmal mit neun Sopranen (fünf professionellen Sopranen und vier fortgeschrittenen Gesangsstudentinnen). Diesmal wurden zusätzlich die Resonanzabstimmung von F2 auf F0 und die Abstimmung von F3 bis F5 untersucht.

Limitationen

Auch diese folgende Studie war dadurch limitiert, dass die Sängerinnen leise und ohne Vibrato singen mussten, damit die Messgeräte nicht überlastet wurden, womit auch diese Ergebnisse nicht als realitätsgetreu angesehen werden können.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Für F1-F0 gab es die gleichen Ergebnisse wie in der Studie von Joliveau et al. (2004a). In der Stimmlage, in der F1 abgestimmt wird, wurde eine kleine Erhöhung von F2 festgestellt, wahrscheinlich weil eine Kiefersenkung, mit der F1 erhöht wird, auch zu einer kleinen Erhöhung von F2 führt. F3 und F4 nahmen nicht sehr stark zu, außerdem gab es keine Indizien einer Abstimmung von F3, F4 und F5 auf Partialtöne von F0

Garnier et al. (2010)

Methode

Garnier et al. (2010) untersuchten Vokaltraktänderungen in der hohen Sopranstimmlage bei gehaltenen Tönen auf /a/ von vier Amateuren, vier fortgeschrittenen Gesangsstudentinnen und vier professionellen Sängerinnen. Alle Probanden konnten als hohe Soprane eingestuft werden. Die Lippenöffnung und die Mundbreite wurden an Hand von Videoaufnahmen gemessen.

Limitationen

Eine Limitation war gemäß der Autoren, dass die Änderungen im Vokaltrakt nicht in Bezug zum Glottisverhalten untersucht wurden. Auch in dieser Untersuchung gab es Variationen und Diversitäten in den Ergebnissen.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Alle Sängerinnen, auch die Amateure, benutzten Resonanzabstimmung. Die professionellen Sängerinnen begannen diese Abstimmung auf tieferen Tonhöhen. Sie benutzten F1-F0, in

manchen Fällen kombiniert mit F2- 2F0. Diejenigen, die Töne in der Tonlage über C6 halten konnten, benutzten weiter F1-F0 oder wechselten zu F2-F0.

Zudem wurden unterschiedliche Strategien der Lippenöffnung observiert: Erstens eine gleichmäßig zunehmende Lippenöffnung bei ansteigender Tonhöhe, zweitens eine plötzliche Vergrößerung der Lippenöffnung in der höchsten F1-F0-Lage, auch wenn vorher schon eine F1-F0-Abstimmung festgestellt wurde. Andere, nicht gemessene Artikulatoren müssen hier folglich eine Rolle spielen. Die Lippenbreite nahm mit der Tonhöhe zu, jedoch weniger ausgeprägt als die Lippenöffnung.

Henrich et al. (2011)

Methode

Henrich et al. (2011) führten die gleiche Studie mit 22 Sängern durch. Das Niveau variierte vom Amateur bis zum national angesehen Profi; es gab vier Baritone, acht Tenöre, vier Alti, sechs Soprane; bis auf vier sangen dabei alle mit einer klassischen Technik.

Alle Altistinnen waren Amateure, die Soprane zur Hälfte. Die Worte *hard*, *hoard*, *who'd* und *heard* wurden nicht nur gesungen, sondern zusätzlich auch in der normalen Sprechstimmlage gesprochen, um F1 und F2 auch bezüglich des Sprechens berechnen zu können.

Limitationen

Es wurden keine Limitationen beschrieben.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Alle Soprane benutzten eine F1-F0-Abstimmung in hoher Stimmlage, die meisten auch eine F2-2F0-Abstimmung über einen Teil ihres Stimmumfangs, oft in Kombination mit F1-F0-Abstimmung. Auch die Altistinnen benutzten die F1-F0-Abstimmung für einen Teil ihres Stimmumfangs. Eine Altistin benutzte die F1-F0-Abstimmung beispielsweise für das /u/ genauso wie F1-2F0 für die anderen Vokale.

Tenöre und Baritone benutzten F1-2F0 und F1-3F0 über einen Teil ihres Stimmumfangs sowie verschiedene Abstimmungen zu höheren Partialtönen in tieferer Stimmlage.

Die Erhöhung von F1 wurde in dieser Studie in Zusammenhang gebracht mit einer größeren Kieferöffnung und dem Ansteigen der Larynx, die Erhöhung von F2 ebenfalls mit der größeren Kieferöffnung, vor allem aber mit der Zungenposition.

Im Allgemeinen gab es große Unterschiede zwischen den benutzten Resonanzstrategien, vor allem bei tieferen Stimmen.

Schutte et al. (2005)

Methode

Schutte et al. (2005) untersuchten die Resonanzstrategien 34 berühmter Tenöre in Spektralanalysen (VoceVista) anhand von 60 Aufnahmen des letzten Tons der berühmten Verdi-Arie „Celeste Aida“ (B4, 495 Hz, Vokal /ɔ/).

Limitationen

Mögliche Limitationen waren, dass Aufnahmen aus der Vergangenheit nicht mit heutigen digitalen Aufnahmen verglichen werden können und Toningenieure Aufnahmen per Knopfdreh verschönern (also akustisch verändern) können.

Diese Limitationen wurden von den Autoren aber nicht als Einschränkungen eingestuft, da die Ergebnisse der Studie in die gleiche Richtung wiesen und die Aufnahmen nicht als extrem abweichend von „live“- Vorstellungen empfunden wurden.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Die meisten Tenöre stimmten F2 mittels Erhöhung auf den 3. Partialton ab. Manche benutzten den Fs als Strategie, abgestimmt auf höhere Partialtöne.

Titze (2009)

Methode

Titze (2009) modellierte verschiedene Vokaltrakte nach dem folgenden Prinzip: Männliche Opernsänger tendieren zu mehr pharyngealer Weite und weniger Mundöffnung als männliche Belter im Jazz- und Musicalbereich. Auch wurden auf Videoaufnahmen die Mundöffnungen zweier Operntenöre und zweier Belter (Jazz und Musical) während des Singens des Tones A4 (440 Hz) gemessen, die dieses Prinzip bestätigen.

Limitationen

Als Limitationen wurde beschrieben, dass die Modelle lediglich Annahmen sind und es nur Videoaufnahmen (DVD’s) der Probanden gab, die nicht 3D sind.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

In den Modellen führte epilaryngeale Verengung zu einem etwas höheren F1 und F2 und zu einem tieferen F4. Die Bewegung des F4 in Richtung F3 deutet eine Gruppierung von F3 und F4 an, das Merkmal des Fs. Epilaryngeale Verengung könnte also die Ursache des Fs sein.

Belt hat laut Titze einen weit geöffneten Mund und einen hohen Larynx als Attribut; Opernsänger benutzen eine etwas tieferen Larynxposition, eine mittleren Mundöffnung und tracheale Resonanz.

Vurma & Ross (2002)

Methode

Vurma & Ross (2002) untersuchten die Unterschiede zwischen einer nach vorne und einer nach hinten projizierten Stimme. Gesangsstudenten sangen nach vorne und nach hinten projizierte Dreiklänge auf den Vokalen /a, e, i, o, u/, deren Aufnahmen von anderen Studenten und Gesangslehrern auditiv beurteilt wurden. Über die Hälfte der Klänge wurde falsch oder als nicht zu unterscheiden eingestuft. Das könnte laut der Autoren damit zu tun haben, dass die singenden Studenten es nicht gewohnt waren, die Stimme nach hinten zu projizieren, also nicht genau wussten, wie oder was der Unterschied zwischen den beiden Klangfarben genau ist. Die Vokale, welche von beiden Seiten eine richtige Beurteilung bekamen, wurden dennoch akustisch analysiert.

Limitationen

Es wurden keine Limitationen beschrieben.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Die nach vorne projizierten Stimmen wiesen einen stärkeren Fs vor und einen höheren F2 und F3. Artikulatorische Bewegungen wurden nicht gemessen. Aus allgemeiner gesangswissenschaftlicher Literatur geht laut Vurma & Ross hervor, dass eine Erhöhung von F2 mit einer höheren, mehr nach vorne gewölbten Zunge zu tun hat. Bei den Vokalen /i, e/ ist die pharyngeale Weite von Einfluss auf F2, bei /u, o, a/ ist es mehr die vordere Mundhöhle als die pharyngeale Weite. Die Erhöhung von F2 und F3 könnte auch durch eine Verkürzung des Vokaltraktes verursacht werden, entweder durch das Anheben des Larynx oder das Breitziehen des Mundes.

Wolfe et al. (2008)

Methode

Wolfe et al. (2008) verglichen die Ergebnisse von 126 Studien zu Vokaltraktresonanzen beim Singen und bei Blasinstrumenten.

Limitationen

Es wurden keine Limitationen beschrieben.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Laut der Wissenschaft der Singstimme entsteht der Fs durch eine Tiefstellung des Larynx und eine epilaryngeale Verengung.

Von Sopranen ist bekannt, dass sie lernen, die Mundöffnung durch Kiefersenkung zu vergrößern, beim Ansteigen der Tonlage lächeln oder „gähnen“ und damit F1 auf F0 abstimmen. Bei tieferen Stimmen besteht weniger Notwendigkeit für Resonanzabstimmung als bei Sopranen. Während bei Sopranen ein Großteil der Stimme über den Werten von F1 liegt, ist dies bei Alti weniger der Fall, bei Tenören nur bei höheren Tönen und bei Bässen nur bei einigen Vokalen (mit tiefem F1). Es kommt aber vor, dass tiefe Stimmen F1-F0-Abstimmungen benutzen oder F1 auf den zweiten Partialton abstimmen.

Dromey et al. (2010)

Methode

Dromey et al. (2010) untersuchten die Effekte von Vokalausgleich auf F1 und F2.

In der klassischen Gesangstechnik wird oft von Vokalausgleich gesprochen. Durch Vokalausgleich nähern sich die Vokale einander an und verlieren vielleicht ein wenig von ihrem Charakter, aber die identischere Einstellung des Vokaltrakts erleichtert das Singen und führt zu einem einheitlicheren Klang.

Aufnahmen von Vokalen (/ɑ, e, i, o, u/) als Ausschnitt eines Liedes, isoliert angehalten, vor und nach einem Vokalausgleichtraining, wurden analysiert und verglichen. F1 und F2 wurden mit PRAAT (akustischer Analyse Software) und Matlab berechnet. Es wurden von drei Messungen jedes Vokals jeweils Durchschnittswerte genommen.

Limitationen

Eine Limitation, die von den Autoren genannt wurde, ist, dass nur zwei Vokalausgleiche geübt wurden: /i/-/u/ und /e/-/o/, die die Eigenschaft vorne-hinten haben. Über Vokalausgleich zwischen hohen und tiefen Vokalen konnte diese Studie also keine Aussagen machen.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Die Autoren stellten fest, dass die Formanten F1 und F2 sich beim Singen angehaltener Vokale und eines Liedes nach einem Vokalausgleichtraining bei 15 Amateuren im Vergleich zu vorher signifikant verändert hatten. Die Veränderungen von F1 und F2 sind dabei auf eine

neutralere, zentralere Zungenposition zurückzuführen. Das Ergebnis war keine Überraschung, weil eine Annäherung der Vokale automatisch eine weniger extreme und also mehr zentrale Artikulation zur Folge hat.

4.1.4. Vocal Tract Shape

Echternach führte, mit zum Teil unterschiedlichen Kollegen, eine Reihe von Untersuchungen mittels dynamischer Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) durch.

Themen hierbei waren artikulatorische Veränderungen in Registerübergängen einerseits und speziell für die Höhe bei Männerstimmen das Beibehalten des Modalregisters über die Passaggioregion hinweg (Voix mixte) an Stelle eines Registerwechsels zum Falsett andererseits. Es handelte sich um verschiedene Stimmgattungen, vor allem aber Tenöre. Verschiedene Parameter wurden anhand der mittelsagittalen Bilder gemessen: Abstand zwischen den Lippen, Höhe der Zunge, Kiefersenkung, Kieferprotrusion, oropharyngeale Weite und Uvulaelevation.

Echternach et al. (2008a)

Methode

2008 wurde eine Pilotstudie (Echternach et al., 2008a) ausgeführt, um Vokaltrakt- und Registerveränderungen bei einem Bariton und einem Tenor zu untersuchen. Beide Sänger sangen zwei Tonleitern von B3 bis Gis4 auf /a/. Dabei wechselten sie einmal vom Modalregister zum Falsett und behielten einmal das Modalregister mittels Voix mixte bei. Das gleiche wurde mit Glissandi gemacht. Der exakte Übergang zum Falsett wurde anhand von Audioaufnahmen durch ein Zuhörerpaneel (zwei HNO-Ärzte, ein Stimmtherapeut, ein Sänger, ein Instrumentalist) festgestellt.

Limitationen

Eine Limitation war, dass es nur zwei Probanden gab. Das akustische Feedback während der Aufnahme war laut der Sänger nicht optimal, was möglicherweise zu weniger wirklichkeitsgetreuen Töne führte. Die Glissandi konnten durch die für die Geschwindigkeit der Glissandi zu langsame Auflösung des MRT (vier und zehn Bilder pro Sekunde) nicht bewertet werden.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Die Lippenöffnung wurde zu fast 90 Prozent durch die Kiefersenkung verursacht. Wenn die Sänger vom Modalregister ins Falsetto wechselten, wurden nur kleine Vokaltraktveränderungen festgestellt. Wurde das Modalregister über das Passaggio hinweg beibehalten, gab es jedoch auffallende Änderungen im Vokaltrakt und auch große Unterschiede zwischen den beiden Probanden.

Im Allgemeinen verringerte der Bariton über die ganze Tonleiter hinweg die Kieferprotrusion, vergrößerte aber die Kiefersenkung, die pharyngeale Weite und die Höhe der Zunge. Nur bei seinem höchsten Ton nahm die pharyngeale Weite plötzlich ab, was damit zu tun haben könnte, dass er die Obergrenze seines Stimmumfangs erreichte.

Der Tenor vergrößerte über die ganze Tonleiter Kiefersenkung und pharyngeale Weite und zog zusätzlich sein Velum hoch.

Echternach et al. (2008b)

Methode

In einer nachfolgende Studie untersuchten Echternach et al. (2008b), ob es sich hierbei um systematische Effekte handelt.

Fünf professionelle Tenöre wurden hinsichtlich des Passaggios mit dem Real-Time-MRT mit einer Auflösung von 8 Bildern pro Sekunde untersucht. Sie wurden aufgefordert, eine aufsteigende Tonleiter über das Passaggio hinweg einmal mit Beibehalten des Registers und einmal mit Übergang in das Falsettregister auf dem Vokal /a/ zu singen. Die Registerübergänge wurden von drei alternativen Experten während der Messung verifiziert.

Limitationen

Es wurden von den Autoren keine Limitationen beschrieben.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Die Daten zeigten, dass es bei gleicher Tonhöhe zu deutlichen Änderungen des Vokaltraktes zwischen dem Falsett und dem Modalregister kam. Insbesondere eine Uvulaelevation und eine Weitstellung des Pharynx schien ein Charakteristikum für das Beibehalten des Registers oberhalb des Passaggios darzustellen, wohingegen das Falsettregister mit einer deutlichen Elevation und Kippung des Kehlkopfes einher zu gehen schien.

Echternach et al. (2010a)

Methode

Echternach et al (2010a) führten die gleiche Studie mit vier jungen Sopranistinnen (drei lyrischen, einer dramatischen; jeweils vier Jahre Musikhochschulstudium) durch. Die Probanden sangen Tonleitern über zwei Registerübergänge bei ungefähr 350 und 700 Hz. Der exakte Registerübergang wurde anhand von Aufnahmen durch ein Zuhörerpaneel (zwei HNO-Ärzte (ausgebildete Sänger), ein Stimmtherapeut (semi-professioneller Sänger) und ein Instrumentalist) festgestellt.

Limitationen

Eine Limitation der Studie waren die individuellen Variationen, eine zweite die relative Unerfahrenheit der Probanden. Professionelle Sänger mit viel Erfahrung hätten sicher andere Ergebnisse aufweisen können. Durch den Einfluss des Störgeräusches des MRT-Gerätes war außerdem keine Formantenanalyse mittels inverser Filterung im MRT möglich. Die genauen Formantfrequezen der Vokaltrakte der Probanden waren also unbekannt.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Zwischen den Registern gab es im Vokaltrakt keine signifikanten Unterschiede. Große Unterschiede wurden aber festgestellt als F0 in der Nähe des F1 kam. Für /a/ liegt F1 bei ungefähr 750 Hz. In dieser Stimmlage gab es eine größere Kiefersenkung und eine weitere Lippenposition - beides deutet auf eine Erhöhung des F1 hin - sowie eine Erhöhung des Zungenrückens. Über die ganze Tonleiter hinweg gab es eine gleichmäßige Vergrößerung der pharyngealen Weite und eine gleichmäßige Anhebung des Uvulas.

Eine Erhöhung des Zungenrückens könnte zudem prinzipiell eine pharyngeale Erweiterung zur Folge zu haben, welche dann auf eine Erhöhung des F2 hindeuten könnte.

Auch diese Studie hatte eine sehr kleine Probandenzahl und es gab Variationen in den Ergebnissen. Da die MRT-Bilder nicht immer scharf waren, konnten genaue Messungen der Artikulatoren nicht immer durchgeführt werden.

Echternach et al. (2010b)

Methode

Die gleiche Studie wurde noch einmal mit zehn Tenören von (inter)nationalem Standard (fünf lyrischen und fünf dramatischeren) durchgeführt (Echternach et al, 2010b). Der exakte Registerübergang wurde während der Messung von drei Experten überwacht und festgestellt.

Limitationen

Die Variationen zwischen den Probandensubgruppen waren teilweise groß. Ein Tenor zeigte z.B. weniger Kieferöffnung in hohen Tonlagen als die anderen neun Tenöre.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

In der Voix mixte gab es mehr pharyngeale Weite, mehr Kieferprotrusion, mehr Kiefer- und Lippenöffnung als im Modalregister. Die Vokaltraktveränderungen waren bei den dramatischeren Tenören ausgeprägter als bei den lyrischen. Es gab also aufgrund der verschiedenen Stimmfächer große Unterschiede innerhalb einer Stimmgattung.

Echternach et al. (2010c)

Methode

In der letzten Studie dieser Reihe (Echternach et al., 2010c) wurde mittels der MRT untersucht, ob sich diese Veränderungen des Vokaltraktes auch bei anderen Vokalen mit tieferen ersten Formanten nachweisen lassen. Zwei international bekannte, klassische Tenöre (ein lyrischer, ein dramatischer) sangen aufsteigende Tonleitern von 261 bis 440 Hz über die Passaggioregion hinweg mit der Voix mixte, bzw. mit Übergang in das Falsett auf den Vokalen /a, e, i, o, u, ae/. Zwei Begutachter verifizierten die Registerübergänge während der Messung.

Limitationen

Durch den Einfluss des Störgeräusches war eine Formantenanalyse mittels inverser Filterung im MRT nicht möglich. Die genauen Formantfrequenzen der Vokaltrakte der Probanden und die akustischen Effekte der Vokalkonditionen wurden nicht untersucht.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Unabhängig von der Vokalkondition zeigten sich systematische Änderungen (z.B. erhöhte Lippen- und Kieferöffnung). Bei gleichbleibender Kieferöffnung war die Lippenöffnung des lyrischen Tenors bei der Voix mixte kleiner als im Modalregister und im Falsett. Er erhöhte bei allen Vokalen die Pharynxweite mit ansteigender Tonhöhe. Beim dramatischen Tenor hingegen war die Weite von den Vokalen abhängig.

Bei Vokalen mit hohem ersten Formanten zeigte sich auch hier eine Erweiterung des Pharynx in der Voix mixte mit Erhöhung der Tonhöhe. Jedoch zeigte sich bei Vokalen mit niedrigem ersten Vokalformanten eine konträre Modifikation. Da durch Verengung des Pharynx mit einer Erhöhung des ersten Formanten zu rechnen ist und F0 die Region des ersten

Vokalformanten erreicht, könnte dieses Verhalten möglicherweise ein Hinweis für eine Formantabstimmung sein.

Beim lyrischen Tenor gab es in der Voix mixte ein Anheben der Uvula für fast alle Vokale. Der dramatische Tenor ließ im Gegensatz hierzu die Uvula bei /a, e, u/ absinken. Hierdurch entstand eine Öffnung zum Nasopharynx, was einen Einfluss auf die Formanten haben sollte. Nahezu unabhängig von der Vokalkondition wurde beim dramatischen Tenor der Kehlkopf tief gehalten, obwohl er in der Voix mixte mit der Tonhöhe kontinuierlich anstieg. Im Vergleich hierzu führte die Erhöhung der Tonhöhe beim lyrischen Tenor zu einem wirklichen Absenken des Kehlkopfes für die Vokalkonditionen /a, u, o/ in der Voix mixte.

4.1.5. Pharyngeale Weite

Mitchell & Kenny (2008)

Methode / Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Mitchell & Kenny (2008) beschrieben vier ihrer Studien nach 'Open-Throat-Technique' im klassischen Gesang (Mitchell et al., 2003; Mitchell & Kenny, 2004a,b; Kenny & Mitchell, 2005). „Offene Kehle" ist ein Begriff, der in der klassischen Gesangspädagogik oft Verwendung findet. In der ersten Studie (Mitchell et al., 2003) wurde mittels eines Interviews mit 15 erfahrenen Gesangspädagogen festgestellt, dass der Begriff und seiner Bedeutung bekannt und klar sind und die Technik gelehrt wird. Die zweite und dritte Studie (Mitchell und Kenny, 2004a,b) setzten sich mit der auditiven Beurteilung von Aufnahmen von jeweils sechs fortgeschrittenen Gesangstudenten (Sopran) durch Gesangsexperten auseinander. Die 'Open-Throat-Technique' wurde im Vergleich mit 'weniger offener Kehle' stets erkannt. (Mitchell und Kenny, 2004a,b).

Limitationen

Die artikulatorische Konfiguration zur 'Open-Throat-Technique' wurde nicht untersucht.

Schade et al. (2003)

Methode

Schade et al. (2003) verglichen die von Sängern taktil-kinästhetisch und auditiv sowie von einem Gesangspädagogen rein auditiv empfundene Weite des oropharyngealen Ansatzrohres beim Singen mit den visuell nasenendoskopisch erhobenen Befunden von drei Fachärzten.

28 Sänger (13 Männer, 15 Frauen) mit jeweils mehrjähriger Gesangsausbildung sangen die Vokale /a, i, o, u/ in vier unterschiedlichen Klangfarben (normal, offen, gedeckt, geknödelt) und in drei unterschiedlichen Tonlagen (Bruststimmlage, subjektiv angenehme Singlage, Kopfstimme). Die gedeckte Klangfarbe könnte man hierbei als die „klassische" Gesangseinstellung betrachten.

Limitationen

Eine mögliche Limitation der Studie war, dass die Rolle der Mundhöhle und des Nasenraums nicht untersucht wurden.

Ergebnisse / Schlussfolgerungen

Für die Einschätzungen auf der Grundlage der endoskopischen Videoaufnahmen ergab sich, dass die Weite des Ansatzrohres vor allem vom Vokal abhängt und weniger von der Tonlage oder der Klangfarbe.

Für die Fremdwahrnehmung scheinen Vokal und Klangfarbe eine Rolle zu spielen. Für die Sänger selber scheint nur die Klangfarbe wichtig zu sein.

5. Diskussion der Studien

5.1. Einleitung

In diesem Kapitel werden zuerst die Ergebnisse der Studien und ihrer Messinstrumente verglichen und diskutiert. Danach werden die Limitationen der Studien zusammengefasst und diskutiert. Schließlich wird versucht, die Fragestellung dieser Arbeit zu beantworten.

5.2. Diskussion

Folgende Artikulatoren, deren Positionen den Unterschied zwischen Vokalartikulation beim Singen und Sprechen ausmachen, ergaben sich aus den bearbeiteten Studien:

- VPO (Velopharyngeal Opening)
- Pharyngeale Weite
- Kiefersenkung
- Lippenposition
- Zungenposition
- Larynxposition
- Epilaryngeale Verengung

Beim Vergleichen der Ergebnisse wird diese Einteilung eingehalten. Viele Studien machen Aussagen über mehrere Artikulatoren und werden deshalb bei mehreren Artikulatoren zitiert.

5.2.1. Diskussion VPO

Vokale

Jennings et al. (2008) fanden signifikant höhere Werte von Nasalität für den Vokal /i/ im Vergleich zu /ɑ, e/, welche wiederum signifikant höhere Werte von Nasalität hatten als /o, u/ in jeder Tonlage. Fowler et al. (2007) untersuchten teilweise andere Vokale und kamen zu ähnlichen Ergebnissen: Nasalitätswerte für /i, ae/ waren signifikant höher als für /a, u/ und die höheren Nasalitätswerte für /i/ stimmten mit den Aussagen von Jennings et al. (2008) überein.

Dies vermag aber, den Ergebnissen von Birch et al. (2002) zu widersprechen, bei denen das /i/ am wenigsten und das /a/ am meisten VPO vorwies.
Es ist aber fraglich, ob VPO und Nasalität das Gleiche beinhalten (siehe unten). Auch Tanner et al. (2005) fanden, im Gegensatz zu Jennings et al. (2008) und Fowler et al. (2007), mehr VPO auf /a/ als auf /i, u/.

Tonlage

Die Tatsache, dass in Jennings et al. (2008) klassisch ausgebildete Stimmen in der hohen Lage keine Nasalität auf /i/ hatten, stimmt mit den Ergebnissen von Birch (2002) überein. Männer hatten in den höheren Tonlagen im Allgemeinen mehr Nasalität, Frauen in der tiefen Lage. Laut der Untersuchungen von Fowler et al. (2007) war die Nasalität von Sängerinnen und weiblichen Laien in der tiefen Tonlage erheblich ausgeprägter als in der hohen Stimmlage.
Echternach et al. (2008a,b und 2010a,b,c) stellten in ihren Studien mittels MRT bei ansteigender Tonhöhe bei fast alle Tenören (2008a,b) und Sopranen (2010a) auf den Vokal /a/ sowie bei einem lyrischen Tenor zusätzlich auch bei /e, i, o, u, ae/ (2010c) eine Uvulaelevation fest. Der dramatische Tenor hingegen ließ seine Uvula in der Passaggioregion auf einigen Vokalen herunter.

Unterschiede zwischen professionellen Sängern und „Nicht-Sängern“

Fowler et al. (2007) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Sängern und „Nicht-Sängern“ feststellen. Die Laien wiesen aber signifikant höhere Werte von Nasalität auf, so Jennings et al. (2008).

Lautstärke

Die Nasalität war laut Jennings et al. (2008) beim piano Singen größer als bei mezzoforte, nicht aber in den mittleren und hohen Stimmlagen der Frauen.
Es gab keine weiteren Studien, die VPO/Nasalität in Zusammenhang mit Lautstärke untersuchten.

Resonanz

Sundberg et al. (2005) fanden heraus, dass es Sängern möglich ist, eine VPO für die Verstärkung höherer Partialtöne zu benutzen, ohne den Vokalklang dabei viel zu verändern. Eine VPO würde so zum Fs beitragen.

In der Literatur für diese Arbeit fanden sich fünf Studien zur VPO und/oder Nasalität. Drei dieser Studien machten Aussagen über die VPO: Birch et al. (2002), Tanner et al. (2005) und Sundberg et al. (2005). Die beiden anderen Studien, Fowler et al. (2007) und Jennings et al. (2008), benutzten das Wort Nasalität nur, um einen nasalen Luftfluss oder einen signifikanten Level des Stimmsignals im nasalen Luftfluss zu beschreiben.

Aus Birch et al. (2001) geht hervor, dass die VPO, ein nasaler Luftfluss und ein signifikanter Level des Stimmsignals im nasalen Luftfluss nicht immer gleichzeitig auftreten und nicht als Synonyme benutzt werden können.

Deswegen können aus dem Vergleich der Ergebnisse keine Schlüsse gezogen werden. Es kann aber gesagt werden, dass manche Sänger im Singen eine VPO haben. Wann und wo ist jedoch unterschiedlich.

Echternach et al. (2008a,b und 2010a,b,c) stellten fest, dass viele Sänger bei ansteigender Tonhöhe eine Uvulaelevation benutzten. Es gab aber Ausnahmen und Unterschiede, welche möglicherweise mit Unterschieden im Stimmfach zu tun haben. Auch wurde nicht deutlich ausgesagt, ob und inwiefern es sich hier in der tiefen Stimmlage um eine VPO und in der hohen Stimmlage um einen Verschluss handelte. Außerdem wurden fast ausschließlich Tenöre untersucht; so können keine Aussagen über andere Stimmgattungen gemacht werden.

Messinstrumente

Die Forscher benutzten sehr unterschiedliche Messinstrumente (Nasenendoskopie, Flussmaske, CT, Vokaltraktmodelle, MRT, Nasometer, PERCI (ein Speech Aeromechanics Research System) und einen Pneumotachometer), deren Daten sich immer wieder widersprechen. Auch wurde klar, dass die Instrumente nicht unbedingt das Gleiche messen. So gab es bei Forschern, die denselben Probanden mit verschiedenen Messinstrumenten untersuchten, teilweise gar konträre Ergebnisse. Selbst Studien, welche ähnliche oder gleiche Messinstrumente benutzten, beschreiben sich zum Teil widersprechende Daten und Ergebnisse.

Im Einzelnen hat die Flussmaske grundsätzlich erhebliche Nachteile, weil bekannt ist, dass durch die Anwendung Ungenauigkeiten vorkommen können und es folglich zu Fehlermessungen kommen kann.
Mit der Nasenendoskopie konnte visuell nicht immer klar festgestellt werden, ob es eine VPO gab. Außerdem konnte man aus den Ergebnissen der nicht-visuellen Messinstrumente nicht schließen, wann es eine VPO gab und wann nicht.
In der dynamischen Echt-Zeit-MRT, die von Echternach et al. (2008a,b und 2010a,b,c) benutzt wurde, wurden nur die mittelsagittalen Bilder untersucht. Eine Uvulaelevation konnte deutlich festgestellt werden. Ob es aber zu einem Verschluss kommt, geht nicht aus den Daten hervor. Die Bilder sind nicht in 3D und nicht sehr scharf; genaue Abstände und kleine Konstriktionen (Behinderungen) konnten nicht präzise gemessen werden.

5.2.2. Diskussion der pharyngealen Weite

Mitchell & Kenny (2008) führten verschiedene Studien zum Thema 'Open-Throat-Technique' durch. Die 'Open-Throat-Technique' wurde im Vergleich mit 'weniger offener Kehle' sowohl von Experten, als auch in der allgemeinen Gesangsliteratur anerkannt. Die artikulatorische Konfiguration dazu wurde aber nicht untersucht.
Schade et al. (2003) fanden durch transnasale endoskopischen Videoaufnahmen des Oropharynx heraus, dass die Weite des Ansatzrohres während einer „klassischen", also gedeckten Einstellung kaum abweicht von der „normalen" Einstellung. Die Sänger hingegen empfanden taktil-ästhetisch große Unterschiede zwischen den Einstellungen. Ob dies Fehleinschätzungen sind oder ob es aus einem Versuch oder Gefühl des Weithaltens in der klassischen Einstellung hervorgeht, ist unklar.
Echternach et al. (2008a,b und 2010a,b,c) dagegen konnten in fünf Studien nachweisen, dass ansteigende Tonhöhe einhergeht mit einer Vergrößerung der pharyngealen Weite.
Allerdings wurde in vier Studien nur das /a/ benutzt. In der fünften Studie (mit nur einem lyrischen und einem dramatischen Tenor) zeigte sich dann aber, dass die pharyngeale Weite bei ansteigender Tonhöhe auch bei anderen Vokalen vergrößert werden kann. Nur beim dramatischen Tenor gab es bei Vokalen mit niedrigem F1 in hoher Tonlage eine Pharynxverengung. Diese Verengung ist in der Lage, F1 zu erhöhen und könnte ein Beweis für Resonanzabstimmung sein. Da die MRT-Bilder jedoch lediglich mittelsagittal waren, konnten über laterale Bewegungen der Pharynxwand keine Aussagen gemacht werden.

Barnes et al. (2004) zitierten Sundberg (1974), der nachwies, dass pharyngeale Weite ein Merkmal des Fs ist. Auch Titze (2009) nannte pharyngeale Weite als wichtig für die klassische Klangfarbe. Vurma & Ross (2002) stellten fest, dass eine nach vorne projizierte Stimme höhere Werte von F2 hat als die nach hinten projizierte Stimme. Eine Erhöhung von F2 könnte, laut der Autoren, mit mehr pharyngealer Weite zu tun haben.

Messinstrumente

Auch hier gab es verschiedene Messinstrumente. Mitchell et al. (2008) benutzten Fragebögen und Bewertungen von Audioaufnahmen; die Vokaltrakteinstellungen selbst untersuchten sie allerdings nicht. Andere Studien versuchten, visuelle Beweise für pharyngeale Weite zu finden. Schade et al. (2003) benutzten die transnasale Endoskopie, gefühlte Wahrnehmungen der Sänger sowie das Bewerten von Audioaufnahmen, Echternach et al. (2008a,b und 2010a,b,c) schließlich hielt sich an MRT-Aufnahmen.

Die Ergebnisse all dieser Untersuchungen stimmen in weiten Teilen nicht miteinander überein.

5.2.3. Diskussion der Kiefersenkung

Resonanzabstimmung

Es gibt sieben Studien, die sich mit der Resonanzabstimmung der tieferen Formanten auseinandersetzen: Barnes et al. (2004), Bresch et al. (2010), Sundberg (2009), Joliveau et al. (2004a,b), Garnier et al. (2010), Henrich et al. (2011).

Alle Studien untersuchten Soprane, nur bei Henrich et al. (2011) gab es auch Alti, Tenöre und Baritone. Hier stimmen alle Ergebnisse weitgehend überein.

In allen Fällen wurde eine Kiefersenkung als Hauptstrategie genannt. Garnier et al. (2010) maßen zwar an sich die Lippenöffnung; da diese aber größtenteils von der Kiefersenkung abhängig ist (Echternach et al. 2008a), betrifft die Untersuchung also auch hier die Kiefersenkung. Bei Barnes et al. (2004), Joliveau et al. (2004a,b) und Henrich et al. (2011) wurden die artikulatorischen Bewegungen nicht untersucht. Diese Autoren schlussfolgern anhand der Literatur aber auch wie Bresch et al. (2010) und Sundberg (2009), dass Kiefersenkung eine wichtige Strategie zur F1-F0-Abstimmung ist.

Wolfe et al. (2008) erwähnen in ihrer Übersichtsarbeit, dass von Sopranen bekannt ist, dass sie lernen, durch Kiefersenkung, Lächeln oder Gähnen beim Ansteigen der Tonlage die Mundöffnung zu vergrößern. Somit stimmen sie F1 auf F0 ab.

Die Notwendigkeit für Resonanzabstimmung ist bei tieferen Stimmen kleiner als bei Sopranen (Wolfe et al., 2008; Henrich et al. 2011). Während bei Sopranistinnen ein Großteil der Stimme über den Werten von F1 liegt, ist dies bei Altistinnen weniger der Fall, bei Tenören nur bei den höheren Tönen und bei Bässen nur bei einigen Vokalen (mit tiefem F1). Es kommt aber vor, dass tiefe Stimmen F1-F0-Abstimmungen benutzen oder den F1 auf den zweiten Partialton abstimmen (Wolfe et al., 2008).

Vokale

Joliveau et al. (2004a) stellten fest, dass F1 relativ konstant blieb, wenn F0 tiefer als der F1-Wert beim normalen Sprechen war. Näherte sich F0 F1, wurde F1 mittels Resonanzabstimmung für alle Vokale erhöht.

Garnier et al. (2010) und Austin (2001) fanden eine gleichmäßige Zunahme der Lippen- und Kieferöffnung bei ansteigender Tonhöhe. Diese Ergebnisse sind ziemlich allgemein, Sundberg (2009) und Bresch (2010) melden detailliertere Resultate: Tiefe F1-Werte von hohen Vokalen wie z.B. /i, u/ sorgen dafür, dass bei diesen Vokalen die Abstimmung bei relativ niedrigerer Tonhöhe anfängt als bei z.B. /a/, dem Vokal mit dem höchsten F1. Sundberg (2009) kam zu dem Ergebnis, dass die Abstimmung für /a/ vor allem durch Kiefersenkung stattfand. Bei den anderen Vokalen gab es aber in der Nähe von F1 andere Strategien (siehe Zungenposition, Lippenöffnung). Bei den höchsten Tönen der Studie, also über den normalen F1-Werten der hohen Vokale, wurde die Kieferöffnung für alle Vokale vergrößert. Bresch et al. (2010) stellten bei den hohen Vokalen /i, u/ bei höherem F0 eine klare Resonanzabstimmung durch Erhöhung des F1 fest, bei /a, e, o/ aber nicht. Letzteres kann aber daran liegen, dass diese Probanden hohe normale Frequenzen von F1 für diese Vokale hatten, so dass eine Abstimmung noch nicht notwendig war.

Die Kieferöffnung ist am größten bei /a/ (Austin, 2007), die Kiefersenkung am größten bei den hohen Vokalen /i, u/, vor allem im Vergleich zu ihrem normalen Zustand in tieferen Tonhöhen oder beim Sprechen (Bresch et al., 2010; Joliveau et al., 2004a).

Die MRT-Bilder von Bresch et al. (2010) zeigen, dass die Vokalartikulation in tiefer Lage klare Unterschiede vorweist, in hoher Lage bei den meisten Probanden aber für alle Vokale die gleiche offene, /a/-ähnliche Einstellung entsteht.
Auch Echternach et al. (2008a,b, 2010a,b,c) stellten anhand von MRT bei allen Probanden bei ansteigender Tonhöhe mehr Kiefersenkung fest.
Laut Austin (2007) war die Kiefersenkung in der tiefen gesungenen Stimmlage kleiner als bei gesprochenen Vokalen.

Messinstrumente
Auch bei diesem Thema wurden unterschiedliche Messinstrumente angewandt. Barnes et al. (2004), Joliveau et al. (2004a,b), Garnier et al. (2010) und Henrich et al. (2011) machten Gebrauch von der Spektralanalyse von Audioaufnahmen, um Formanten mit Partialtönen zu vergleichen. Die Formantfrequenzen wurden bei Barnes (2004) mittels eines externen, tieffrequenten Tongenerators (70 Hz) errechnet. Die anderen Studien setzten dazu ein ähnliches Verfahren ein: Breitbandexzitation am Mund.
Bresch et al. (2010), Echternach et al. (2008a,b und 2010a,b,c) und Sundberg (2009) benutzten die dynamische Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) mit mittelsagittalen MRT-Bildern. Die Bilder waren bei Bresch (2010) auch die Grundlage für ein 3D-Rohrmodell des Vokaltraktes, anhand dessen F1 und F2 für alle Vokale berechnet wurden. Sundberg (2009) benutzte F1- und F2-Werte aus der Literatur. Echternach et al. (2008a,b und 2010a,b,c) beurteilten lediglich die MRT-Aufnahmen.
Nur Austin (2007) benutzte eine weniger technische Methode: Ein Cephalostat mit Dehnungsmessstreifen.
Obwohl es verschiedene Methoden gab, stimmten die Ergebnisse weitgehend überein. Auch die Tatsache, dass verschiedene Studien die gleichen Verfahren benutzten, bedeutet, dass die Ergebnisse besser zu vergleichen sind und ihre interne Validität so optimiert ist.

5.2.4. Diskussion der Lippenposition
Die Lippenposition ist größtenteils von der Kiefersenkung abhängig (Echternach et al., 2008a). Je mehr Kiefersenkung, desto weiter ist also auch die Lippenposition. Garnier et al. (2010) maßen in ihrer Studie die Lippenöffnung anhand von Videoaufnahmen. Wie groß die Veränderungen der Lippenposition unabhängig von der Kiefersenkung genau waren, ist

jedoch nicht zu sagen. Echternach et al. (2010a) observierten bei vier Sopranen eine weitere Lippenposition auf dem Vokal /a/ (unabhängig von der Kiefersenkung), wenn F0 sich F1 annäherte. Dies deutet auf eine Erhöhung des F1 hin und könnte Teil einer Resonanzabstimmung sein.
Sundberg (2009) stellte bei einer Sopranistin fest, dass vier oder fünf Halbtöne unterhalb des normalen F1 die Lippenöffnung bei /o/ unabhängig von der Kiefersenkung vergrößert wurde. Auch dies könnte auf eine Resonanzabstimmung hindeuten.

Messinstrumente
Die Instrumente einschließlich ihrer möglichen Nachteile wurden oben schon besprochen.

5.2.5. Diskussion der Zungenposition

Über die Zungenposition gibt es weniger fundierte Daten.
Barnes et al. (2008) erwähnen, dass die Sängerinnen der Studie, F1 und F2 auch durch Veränderungen in den Zungenpositionen hätten erhöhen und auf den F0 abstimmen können. Henrich et al. (2011) bringt eine Erhöhung von F2 vor allem mit der Zungenposition in Verbindung, zum Teil aber auch mit einer größeren Kieferöffnung. Genaueres wird aber nicht beschrieben. Sundberg (2009) fand in seiner Einzellfallstudie mit einem Sopran heraus, dass die Höhe des Zungenrückens bei den Vokalen /i, e, u, a/ etwas unterhalb des normalen F1 verringert wurde, was auf eine F1-F0-Abstimmung deuten könnte. Bei Echternach et al. (2010a) passierte genau das Gegenteil. Die Soprane der Studie vergrößerten die Höhe des Zungenrückens, wenn sich F0 F1 von unten näherte. Der Bariton der Studie Echternachs (2008a) vergrößerte die Höhe des Zungenrückens bei ansteigender Tonlage. Eine Erhöhung des Zungenrückens könnte laut Echternach et al. (2008a) eine pharyngeale Erweiterung zur Folge haben und auf eine Erhöhung des F2 hindeuten. Es könnte aber auch so sein, dass Sänger der bei größerer Kiefersenkung tatsächlich weiteren Entfernung des Zungenrückens vom Gaumen entgegen arbeiten wollen, um den Vokal beibehalten zu können.
Alle Vokale mit hohem Zungenrücken (hohe Vokale) haben einen tiefen F1. Das Verringern der Höhe des Zungenrückens kann also auf eine Erhöhung von F1 deuten und bei einer Annäherung von F0 an F1 zur Resonanzabstimmung benutzt werden.
Vokalausgleichtraining führt laut Dromey et al. (2010) zu einer neutraleren, zentraleren Zungenposition. F1 und F2 haben demzufolge weniger extreme Werte. Das widerspricht der

Resonanzstrategie Echternachs (2010a), der ein Anheben des Zungenrückens vorschlägt, stimmt aber mit der Verringerung der Höhe des Zungenrückens, die Sundberg (2009) bei seiner Probandin feststellte, überein.

Da die Vokale /u, o/ auch mit Lippenrundung gesungen werden, die Lippenrundung in Dromeys (2010) Vokalausgleichtraining aber nicht miteinbezogen wurde, ist hier nicht deutlich, ob und inwiefern dies den Vokalausgleich zusätzlich beeinflusste.

Bei Schutte et al. (2005) stimmten die meisten Tenöre den F2 eines /ɔ/ mittels Erhöhung auf den 3. Partialton ab. Eine Erhöhung von F2 könnte laut anderer Studien (Dromey et al., 2010) durch mehr Kiefersenkung, aber vor allem durch eine Vorverlagerung der Zunge oder Verringerung der Zungenhöhe erlangt werden. Weil aber nicht klar ist, wie seine Tenöre die anderen Artikulatoren veränderten, können auch hier keine Schlüsse gezogen werden.

Messinstrumente

Die Messinstrumente von Barnes (2008) und Henrich (2011) sowie Sundberg (2009) und Echternach (2010c), wurden im Paragraphen Kiefersenkung besprochen. Barnes und Henrich konnten dabei keine Aussagen über Artikulationsbewegungen machen. Sundberg und Echternach hatten trotz gleicher Messinstrumente sich widersprechende Ergebnisse. Dromey (2010) benutzte ein Vokalausgleichtraining, F1- und F2-Errechnung und die Spektralanalyse. Er untersuchte keine Unterschiede der Formanten und Artikulationspositionen in Bezug auf die Tonhöhe, sondern nur die Daten vor und nach dem Vokalausgleichstraining.

5.2.6. Diskussion der Larynxposition

Die meisten Studien geben nur indirekte Angaben zur Larynxposition an.

Barnes et al. (2004) untersuchten die Anwesenheit des Fs in Sopranen. Die Bewegungen der Artikulatoren wurden dabei nicht gemessen. In ihrer Diskussion wird aber erwähnt, dass Sundberg (1974) nachwies, dass pharyngeale Weite und eine Senkung des Kehlkopfs Vorraussetzungen für einen Fs sind.

Wolfe et al. (2008) schreiben, dass der Fs, laut Fachliteratur über das Singen, durch eine Tiefstellung des Larynx und eine epilaryngeale Verengung entsteht.

Aus Messungen mit stilisierten Computervokaltraktmodellen und Videoaufnahmen berühmter Sänger schließt Titze (2009), dass Belt einen weit geöffneten Mund und einen hohen Larynx als Merkmale hat, Opernsänger dagegen eine etwas tiefere Larynxposition, eine mittlere

Mundöffnung und tracheale Resonanz benutzen. Dies sind allgemeine Angaben, welche auf eine generell tiefere Larynxposition beim klassischen Singen als beim Sprechen schließen lassen. Es fanden sich aber keine Studien, die sich mit dem konkreten Unterschied zwischen Singen und Sprechen auseinandersetzen.

Echternach et al. (2010b) stellten bei zehn Tenöre eine leichte Steigung des Larynx bei ansteigender Tonhöhe fest. Es gab aber Variationen zwischen den Probanden. In dieser Studie wurde nur das /a/ benutzt. In Echternach et al. (2010c) wurden mehrere Vokale, /i, e, a, o, u, ae/, untersucht. Beim dramatischen Tenor in dieser Studie wurde der Kehlkopf bei allen Vokalen tief gehalten, obwohl er in der Voix mixte mit der Tonhöhe kontinuierlich anstieg. Im Vergleich hierzu führte die Erhöhung der Tonhöhe bei dem ebenfalls untersuchten lyrischen, also leichten Tenor zu einem wirklichen Absenken des Kehlkopfes für die Vokalkonditionen /a, u, o/ in der Voix mixte. Man könnte behaupten, dass es bei ansteigender Tonhöhe eine Tendenz zu höheren Larynxpositionen gibt. Dass die Ergebnisse sich teilweise widersprechen, könnte laut der Autoren mit Stimmfachunterschieden zu tun haben. Echternach beschreibt nur, wie sich die Larynxposition bei ansteigender Tonhöhe verändert. Ob aber lediglich die Ausgangsposition in tieferer Lage oder die Larynxposition im Allgemeinen tiefer ist als beim Sprechen, wurde nicht untersucht.

Veränderungen in der Vokaltrakteinstellung führen zu Veränderungen in den Formantfrequenzen. Einige Autoren geben mögliche Erklärungen hierfür:

Henrich et al. (2011) schreiben, dass das Ansteigen der Larynx zum höheren F1 beitragen würde. Vurma & Ross (2002) erwähnen, dass eine Erhöhung von F2 und F3 durch eine Verkürzung des Vokaltraktes, entweder durch ein Anheben des Larynx oder das Breitziehen des Mundes, verursacht werden könnte. Daraus könne man schließen, dass ein Ansteigen des Larynx in den höheren Tonhöhen als Resonanzabstimmung von F1 und/oder F2 auf F0 oder Partialtöne benutzt werden könnte. Dies würde dann allerdings zu einem weniger ausgeprägten Fs führen (Sundberg, 1974). Da aber vor allem Soprane diese Resonanzabstimmung benutzen und grundsätzlich kaum einen Fs vorweisen, widerspricht sich dies nicht unbedingt. Titze (2009) meint, dass eine tiefere Larynxposition und der damit einhergehende tiefere Formant eine Resonanzabstimmung zum F0 tief gesungener Töne sein könnte.

Messinstrumente

Die Instrumente einschließlich ihrer möglichen Nachteile wurden oben schon besprochen.

5.2.7. Diskussion der epilaryngealen Verengung

Es gibt Forscher, die eine epilaryngeale Verengung mit dem Fs in Verbindung bringen. Barnes et al. (2004) zitieren Titze & Story (1997), die darlegen, dass eine epilaryngeale Verengung für Operngesang in hoher Tonlage ideal ist.

In den Vokaltraktmodellen von Titze (2009) führt eine epilaryngeale Verengung zu einem etwas höheren F1 und F2 und zu einem tieferen F4. Die Bewegung des F4 in Richtung F3 deutet auf eine Gruppierung von F3 und F4 hin, das Merkmal des Fs. Epilaryngeale Verengung könnte also, laut Titze, eine Ursache des Fs sein.

Sundberg (1974), zitiert von Barnes et al. (2004), hat festgestellt, dass der Epilarynx, der sich zwischen der Glottis und dem Pharynx befindet, als ein fast unabhängiger Resonator im Frequenzbereich von 3 kHz (Fs) fungieren könnte, wenn seine Querschnittsoberfläche ungefähr sechs mal so klein wäre wie die Querschnittsoberfläche des unteren Pharynx. Eine Verengung des Epilarynx könnte dies bewirken und zum Fs beitragen. Laut Story (2004) führt dieses Verhältnis nur in Zusammenhang mit einem ausreichend langen Epilarynx zur Gruppierung von F3 und F4 im 3kHz-Bereich. Ein ausreichend langer Epilarynx könnte dabei durch eine tiefe Larynxposition entstehen. Es ist aber auch möglich, dass klassische Sänger dies von Natur aus haben und ihre Stimme deswegen für den klassischen Stil geeignet ist.

Messinstrumente

Die Instrumente einschließlich ihrer möglichen Nachteile wurden oben schon besprochen.

5.3. Limitationen

Die Limitationen der Studien, laut der Autoren, wurden im Kapitel Resultate beschrieben.

Vurma & Ross (2002) und Wolfe et al. (2008) beschrieben allerdings keine Limitationen. Die Studie von Vurma & Ross (2002) hätte viele Daten mehr haben können, hätten die Probanden nicht Schwierigkeiten gehabt, die ihnen gestellte Aufgabe (nach vorne und nach hinten projizierte Töne) richtig auszuführen.

Die Limitation, die am häufigsten genannt wurde, war die geringe Probandenzahl (Sundberg, 2005, 2009; Echternach et al., 2008a; Tanner et al., 2005; Jennings & Kuehn 2008). Die Ergebnisse haben aus diesem Grund eine niedrige externe Validität und sind nicht generalisierbar.

Bresch et al. (2010), Echternach et al. (2008a,b), Henrich et al. (2011) und Austin (2007) erwähnen die großen Variationen in den Ergebnissen. Dies hat zufolge, dass die interne Validität dieser Studien gering ist.

Es gab auch Limitationen aufgrund von fehlerhaften, unzureichenden Messinstrumenten (Birch et al., 2002; Sundberg et al., 2005; Jennings & Kuehn 2008; Fowler et al., 2007; Austin, 2007; Barnes et al., 2004; Bresch et al., 2010; Weiss et al., 2001; Joliveau et al., 2004a,b). Die Messungen dieser Instrumente haben deswegen eine geringe Beweiskraft.

Verschiedene Autoren nennen die mangelnde Kontrolle anderer Variablen als Limitation (Schade et al., 2003; Garnier et al., 2010). Singen ist ein komplexer Vorgang und wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass es unbekannte Variablen gibt, die die Messung beeinflussen können, führt auch das zu geringer Zuverlässigkeit.

5.4. Beantwortung der Fragestellung

Die Fragestellung dieser Arbeit ist: Welche Unterschiede gibt es in der Vokalartikulation zwischen klassischem Singen und Sprechen?

Mit einer Antwort auf diese Frage könnten der artikulatorischen Singstimmsynthese geholfen und die Parameter eines Singsynthesizers optimiert werden. Wissen über Unterschiede in der Vokalartikulation zwischen klassischem Singen und Sprechen könnte Logopäden, die sich aktiv mit der Singstimme beschäftigen, von Nutzen sein.

Aus den hier hervorgegangenen Resultaten und deren Diskussion wird erkennbar, dass die Fragestellung nicht beantwortet werden kann. Dafür gibt es folgende Gründe:

- Erstens gibt es kaum Studien, welche Unterschiede in der Vokalartikulation beim Sprechen und Singen beschreiben. Nur Austin (2007) untersucht die Kiefersenkung in gesprochenen und gesungenen Vokalen. Einige Studien spezifizieren wie sich Nicht-Sänger und Sänger im Singen unterscheiden (z.B. Fowler et al., 2007). Hieraus können jedoch keine Schlüsse über Sprechen und Singen gezogen werden.

Es gibt Studien, die die Vokalartikulation beim Singen direkt oder indirekt analysieren und beschreiben. Einige Charakteristika des klassischen Singens, die bei ansteigender Tonhöhe auftreten, wurden gefunden und dargelegt, z.B. Kiefersenkung, Uvulaelevation und pharyngeale Weite. Auch in der Gesangsliteratur werden diese physiologischen Vorgänge als Merkmale des klassischen Gesangs beschrieben. Da normales Sprechen in tieferen Tonhöhen stattfindet, könnte man diese Merkmale als Unterschied im Vergleich zwischen Singen und Sprechen betrachten.

Die vorliegende Arbeit muss aber von den gefundenen Daten und deren Beweiskraft ausgehen, was jedoch zum nächsten Grund führt.

- Zweitens ist die Beweiskraft der Studien gering. Es gab wenige oder sehr wenige Probanden, das Niveau des Singens der Probanden war oft nicht hoch und sehr inhomogen. Die Zuverlässigkeit der Messinstrumente war gering. Obwohl man manche Studien, die mit der gleichen Methode ausgeführt wurden, zusammen als eine umfassendere und aussagekräftigere Studie betrachten könnte, sind die Variationen in den Daten trotzdem groß. Dies betraf sowohl verschiedene Stimmgattungen, als auch Stimmfächer und war selbst innerhalb der Stimmfächer der Fall. Die Variation innerhalb der Stimmfächer könnte zurück zu führen sein auf unterschiedliche Gesangstechniken, aber auch auf individuelle anatomische und physiologische Charakteristika. Wie bereits erwähnt, haben die Ergebnisse der Studien eine geringe interne und externe Validität und Zuverlässigkeit.

5.5. Zukünftige Studien

Verschiedene Autoren geben Anregungen für zukünftige Studien. Im Allgemeinen wird gesagt, dass es größerer Probandengruppen bedarf (Birch et al. 2002; Wolfe et al. 2009; Echternach et al., 2008a), um eine umfangreichere interne und externe Validität zu erreichen.
Weil es im Singen große Unterschiede zwischen den Geschlechtern, unterschiedlichen Stimmgattungen und sogar Stimmfächern gibt (Echternach, 2010b,c; Henrich et al. 2011; Fowler et al. 2007), wäre es interessant, diesen in zukünftigen Studien nachzugehen und durch ausreichend große Probandengruppen genaueres Wissen über die Gesangstechnik dieser Gruppen zu erlangen.

Viele Studien untersuchen die Sopranstimme (Sundberg, 2009; Joliveau et al., 2004a,b; Garnier et al., 2010; Bresch et al., 2010; Barnes et al., 2004; Echternach et al., 2010a) oder die Tenorstimme (Echternach et al., 2008a,b, 2010b,c). Andere Stimmgattungen sind unterrepräsentiert und könnten mehr in die Studien miteinbezogen werden, um ein umfassenderes Bild über das Singen zu bekommen.

In manchen Studien wird versucht, das Niveau der Sänger festzustellen oder sogar zu vergleichen (Barnes et al., 2004; Echternach et al., 2010c), wobei erhebliche, niveaubedingte Unterschiede zum Vorschein kommen. Würden Niveau und Erfahrung in anderen Studien jedoch klar beschrieben und entsprechend untersucht werden, gäbe es genauere Daten.

Es gibt Messinstrumente, die 3D-Messungen durchführen können (MRT, CT; siehe Sundberg et al., 2005; Story, 2004; Echternach et al. 2008a,b, 2010a,b,c), oft aber nur für 2D-Messungen eingesetzt werden. Dies geschieht meist aus finanziellen, zeitlichen und auch gesundheitlichen Gründen und so wird das ganze Potential der Messinstrumente leider nicht ausgenutzt. Wenn die Rahmenbedingungen in der Zukunft verbessert werden würden, könnte das zu wirklichkeitsgetreueren Daten führen.

Es ist des Weiteren nicht ganz geklärt, inwiefern der subglottische Luftdruck, die Schwingungsverhältnisse der Stimmfalten und der Vokaltrakt einander beeinflussen. Überdies gibt es Indizien für subglottische Resonanzen (Titze, 2009). Studien, die sich diesen Themen widmen würden, könnten das Wissen über das ganze Instrument Stimme erweitern.

Manche Messinstrumente weisen mögliche Ungenauigkeiten auf. Als Beispiel wird die Flussmaske (Birch et al., 2002; Fowler et al., 2007) erwähnt. Verbesserungen derartiger Mängel würden bessere Daten ermöglichen.

Neue Messungen mit besseren Instrumenten könnten auch mit größerer Zuverlässigkeit beispielsweise eine VPO feststellen, die Beziehung zwischen VPO und dem nasalen Luftfluss klären und das Errechnen der Formanten in höherer F0-Lage erleichtern.

5.6. Grenzen dieser Bachelorarbeit

In der Methode dieser Bachelorarbeit wurde festgelegt, in welchen Datenbanken nach Literatur gesucht werden sollte. Diese Datenbanken sollten entweder frei zugänglich sein oder

über die Internetseite der Hogeschool Zuyd Heerlen durchsucht werden können. Daher war die Zahl der Datenbanken beschränkt.

Es musste ein zeitlicher Rahmen für die Suche nach relevanter Literatur gesteckt werden. Aus diesem Grund konnten möglicherweise entscheidende Studien, die erst nach Ende der Suchphase in den genutzten Datenbanken aufgenommen wurden, nicht Teil dieser Arbeit sein. Außerdem gab es Abstracts möglicher relevanter Studien, die nicht als Volltext ausfindig gemacht oder Volltext-Studien, die nicht käuflich beschafft und daher nicht in diese Arbeit aufgenommen werden konnten.

6. Literaturliste

Austin, S. F. (2007). Jaw opening in novice and experienced classically trained singers. *J Voice 21(1):* 72-79.

Barnes, J. J., Davis, P., Oates, P. & Chapman, J. (2004). The relationship between professional operatic soprano voice and high range spectral energy. *J Acoust Soc Am 116(1):* 530-538.

Beeker, R. & Artelt, C. (1998). Evaluation of a training program using visible speech in German schools for the deaf. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education Spring 3(2):* 157-172.

Birch, P., Gümoes, B., Stavad, H., Prytz, S., Björkner, E. & Sundberg, J. (2002). Velum behavior in professional classic operatic singing. *J Voice 16(1):* 61-71.

Birkholz, P. (2010). *About Articulatory Speech Synthesis,* [Online]. Available: http://www.vocaltractlab.de/index.php?page=background-articulatory-synthesis [18 Febr. 2011].

Birkholz, P. (2010a). *Synthesis Examples,* [Online]. Available: http://www.vocaltractlab.de/index.php?page=vocaltractlab-examples [18 Febr. 2011].

Birkholz, P. (2005). *3D-Artikulatorische Sprachsynthese.* Berlin: Logos Verlag. (3D-Artikulatorische Sprachsynthese. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik der Universität Rostock vorgelegt von Peter Birkholz).

Birkholz, P., Jackèl, D., & Kröger, B. J. (2006). *Construction and control of a threedimensional vocal tract model.* In: International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP'06) (pp. 873–876). Toulouse, Frankreich.

Birkholz, P. & Kröger, B. J. (2006a). *Vocal tract model adaptation using magnetic resonance imaging*. In: 7th International Seminar on Speech Production (ISSP'06) (pp. 493–500). Ubatuba, Brasilien.

Birkholz, P. (2007). *Articulatory synthesis of singing*. Interspeech-2007, 8th Annual Conference of the International Speech Communication Association (pp. 4001-4004). Antwerpen, Belgien.

Bodt, M., de, Heylen, L., Mertens, F., Vanderwegen, J. & Heyening, P., Van de (2009). *Stemstoornissen.* Antwerpen: Garant. 2. unveränderter Druck.

Bresch, E. & Narayanan, S. (2010). Real-time magnetic resonance imaging investigation of resonance tuning in soprano singing. *J Acoust Soc Am 128(5):* EL335-341.

Brinckmann, C. (1999). *Sprachsynthese, Text-to-Speech Synthesesysteme im Überblick,* [Online]. Available: http://www.coli.uni-sb.de/~cabr/vortraege/tts.pdf [18 Febr. 2011].

Dromey, C., Heaton, E. & Arden Hopkin, J. (2011). The Acoustic Effects of Vowel Equalization Training in Singers. *J Voice (in press).*

Echternach, M., Sundberg, J., Arndt, S., Breyer, T., Markl, M., Schumacher, M. & Richter, B. (2008a). Vocal tract and register changes analysed by real-time MRI in male professional singers-a pilot study. *Logoped Phoniatr Vocol 33(2):* 67-73.

Echternach, M., Sundberg, J., Arndt, S., Markl, M. & Richter, B. (2008b). *Die Rolle des Vokaltraktes in der Passaggioregion bei professionellen Tenören,* [Online]. Available: http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2008/08dgpp80.shtml [18 April. 2011].

Echternach, M., Sundberg, J., Arndt, S., Markl, M., Schumacher, M. & Richter, B. (2010a). Vocal tract in female registers -- a dynamic realtime MRI study. *J Voice 24(2):* 133-139.

Echternach, M., Sundberg, J., Markl, M. & Richter, B. (2010b). Professional opera tenors' vocal tract configurations in registers. *Folia Phoniatr Logop 62(6):* 278-287.

Echternach, M., Traser, L., Markl, M. & Richter, B. (2010c). *Vokaltrakteinstellungen professioneller Tenöre in Registerfunktionen bei verschiedenen Vokalen,* [Online]. Available: http://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2010/10dgpp30.shtml [18 April. 2011].

Fant, G. (1960). *Acoustic theory of speech production.* Den Haag: Mouton.

Fowler, L. P. & Morris, R. J. (2007). Comparison of fundamental frequency nasalance between trained singers and nonsingers for sung vowels. *Ann Otol Rhinol Laryngol 116(10):* 739-746.

Garnier, M., Henrich, N., Smith, J. & Wolfe, J. (2010). Vocal tract adjustments in the high soprano range. *J Acoust Soc Am 127(6):* 3771-3780.

Goodwin, C.J., (2010) *Research in psychology: methods and design.* Hoboken, New Jersey: Wiley, sechste Edition.

Habermann, G. (2003). *Stimme und Sprache, eine Einführung in ihre Physiologie und Hygiene*. Stuttgart: Thieme.

Henrich, N., Smith, J. & Wolfe, J. (2011). Vocal tract resonances in singing: Strategies used by sopranos, altos, tenors, and baritones. *J Acoust Soc Am 129(2):* 1024-1035.

Jennings, J. J. & Kuehn, D. P. (2008). The effects of frequency range, vowel, dynamic loudness level, and gender on nasalance in amateur and classically trained singers. *J Voice 22(1):* 75-89.

Joliveau, E., Smith, J. & Wolfe, J. (2004a). Acoustics: tuning of vocal tract resonance by sopranos. *Nature 427(6970):* 116.

Joliveau, E., Smith, J. & Wolfe, J. (2004b). Vocal tract resonances in singing: the soprano voice. *J Acoust Soc Am 116(4 Pt 1):* 2434-2439.

Kent, R.D. (2000). Research on speech motor control and its disorders: A review and prospective. *Journal of Communication disorders 33*, 391–428.

Kleibel, V. & Meyer, H. 2005. *Literaturrecherche für Gesundheitsberufe*. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.

Kooijman, P. G. C. (2008). De logopedist en de zangstem. In: Jong, de, F., Decoster, W. (Eds.) *Stem* (pp. 359-365). Leuven: Stem Expertisecentrum Leuven.

Kröger, B. J. (2003). Ein visuelles Modell der Artikulation. *Laryngo-Rhino-Otologie, 82,* 397-401.

Kröger, B. J., Birkholz, P., Kannampuzha, J. & Neuschaefer-Rube, C. (2006). *Spatial-to-joint coordinate mapping in a neural model of speech production.* In: 32. Deutsche Jahrestagung für Akustik (DAGA '06) (pp. 561–562). Braunschweig.

Kröger, B. J. (2007). *Klinische Phonetik I: Akustische Phonetik (I),* [Online]. Available: http://www.ukaachen.de/go/show?ID=4283156&DV=0&COMP=download&NAVID=4089708&NAVDV=0 [27 Feb. 2011].

Kröger, B. J. (2007). *Klinische Phonetik I: Artikulation (VI),* [Online]. Available: http://www.ukaachen.de/go/show?ID=4283145&DV=0&COMP=download&NAVID=4089708&NAVDV=0 [27 Feb. 2011].

Kröger, B. J., Birkholz, P., Hoffmann, R. & Meng, H. (2010). *Audiovisual tools for phonetic and articulatory visualisation in computer-aided pronunciation training.* In: Esposito, A., Campbell, N., Vogel, N., Hussain, A. & Nijholt, A. (Eds.) Development of Multimodal Interfaces: Active Listening and Synchrony, LNCS 5967 (pp. 337-345). Berlin: Springer Verlag.

Loveren, C. &, Aartman, I. H. A., van. (2007). De PICO-vraag. *Ned Tijdschr Tandheelkd, 114,* 172-178

Martinetz, H. (2005). *Die klingende Visitenkarte, Grundgesetze des Sprechens*. Münster/London: LIT Verlag.

Miller, D. G. (2008). *Resonance in Singing, Voice Building through Acoustic Feedback.* Princeton: Inside View Press.

Mitchell, H. F. & Kenny, D. T. (2008). Open throat: acoustic and perceptual support for pedagogic practice. *J Singing 64(1):* 429-441.

Möbius, B. (2001). *Sprachsynthesesysteme.* In: Carstensen et al. (Hg.), Computerlinguistik und Sprachtechnologie: Eine Einführung (462-468). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Möbus, C., Vries, H., de, Eißner, A., Feindt, J., Janßen, C., Krefeldt, J., Sieverding, S., Söbrandt, S., Stumpe, J., & Willer, S. (2005). *Web-Kommunikation mit Open Source.* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Pfister, B. & Kaufmann, T. (2008). *Sprachverarbeitung, Grundlagen und Methoden der Sprachsynthese und Spracherkennung.* Berlin: Springer Verlag.

Reinders, A. (2003). *Atlas van de zangkunst.* Baarn: Sesam. 4. Druck, 3. Auflage.

Sackett D., Rosenberg W. M. C., Gray J. A. M., Haynes R. B. & Richardson W. S. (1996). Evidence based medicine: what it is and what it isn't, *BMJ, 312,* 71-72.

Schade, G., Adelmann, W., Müller, F., Mantay, C., Fleischer, S., Leuwer, R., Bubenheim, M., Berger, J. & Hess, M. (2003). Oropharyngeal vocal tract space during singing-comparison of

tactile-kinesthetic and auditory perception with objective endoscopic findings. *Laryngorhinootologie 82(8):* 541-551.

Schutte, H. K., Miller, D. G. & Duijnstee, M. (2005). Resonance strategies revealed in recorded tenor high notes. *Folia Phoniatr Logop 57(5-6):* 292-307.

Seidner, W. & Wendler, J. (1997). *Die Sängerstimme, phoniatrische Grundlagen der Gesangsausbildung.* Berlin: Henschel Verlag.

Shadish, W. R., Cook, T. D. & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference*. Boston, MA: Houghton Mifflin.

Story, B. H. (2004). Vowel acoustics for speaking and singing. *Acta Acustica united with Acustica (90):* 629-640.

Sundberg, J. (1997). *Die Wissenschaft von der Singstimme.* Bonn: Orpheus.

Sundberg, J. (1974). Articulatory intrepretation of the singing formant. *J Acoustic Soc Am (55):* 838-844.

Sundberg, J., Birch, P., Gümoes, B., Stavad, H., Prytz, S. & Karle, A. (2007). Experimental findings on the nasal tract resonator in singing. *J Voice 21(2):* 127-137.

Sundberg, J. (2009). Articulatory configuration and pitch in a classically trained soprano singer. *J Voice 23(5):* 546-551.

Tanner, K., Roy, N., Merrill, R. M. & Power, D. (2005). Velopharyngeal port status during classical singing. *J Speech Lang Hear Res 48(6):* 1311-1324.

Titze, I. R. & Worley, A. S. (2009). Modeling source-filter interaction in belting and high-pitched operatic male singing. *J Acoust Soc Am 126(3):* 1530.

Vurma, A. & Ross, J. (2002). Where is a singer's voice if it is placed "forward"? *J Voice 16(3):* 383-391.

Weiss, R., Brown, W. S., Jr. & Morris, J. (2001). Singer's formant in sopranos: fact or fiction? *J Voice 15(4):* 457-468.

Wendler, J., Seidner, W. & Eysholdt, U. (2005). *Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 4. völlig überarbeitete Auflage.

Wolfe, J., Garnier, M. & Smith, J. (2009). Vocal tract resonances in speech, singing, and playing musical instruments. *HFSP J 3(1):* 6-23.

Zielhuis, G. A., Heyendael, P. H. J. M. & Maltha, J. C. (2002). *Handleiding medisch-wetenschappelijk onderzoek.* Amsterdam: Reed Elsevier. [Online]. Available: http://blackboard.hszuyd.nl/webapps/portal/frameset.jsp?tab=courses&url=/bin/common/course.pl?course_id=_3144_ [25. März 2011].

7. Anlagen

Anlage 1: Suchstrategie

Suchstrategie, englisch

	Suchbegriff	Hits	OR	AND
P #1	Vowel*			
#2	Articulator*			
#3	Articulation*			
#1 OR #2 OR #3 = **#4**				
I #4	Sing			
#5	Singer*			
#6	Singing			
#7	Sung			
#8	Classic* singing			
#9	Opera singing			
#10	Operatic			
#4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 = **#11**				
C #12	Speech			
#13	Speech production			
#14	Speech production measurement			
#15	Speaker			
#16	Speaking			
#17	Voice			
#12 OR #13 OR #14 OR #15 OR #16 OR #17 = **#18**				
O				
#19	Formant			

#20	Larynx			
#21	Tongue			
#22	Velum			
#23	Soft palate			
#24	Velum palatinum			
#25	Nasal airflow			
#26	Velopharyngeal			
#27	Velopharyngeal port			
#28	Velopharyngeal opening			
#22 OR #23 OR #24 OR #25 OR #26 OR #27 OR #28 = **#29**				
#30	Jaw			
#31	Lip*			
#32	Vocal tract			
P: #3				
I: #11				
C: #18				
O: #19 OR #20 OR #21 OR #29 OR #30 OR #31 OR #32 = **#33**				
P AND I AND C AND O: #3 AND #11 AND #18 AND #33 = <u>#34</u>				

Anlage 2: Critical Review Formular

Date:
Name reviewer:

Citation: Author, Title and Journal

Literature

Was relevant background literature reviewed? 0 Yes 0 No

Study purpose

Was the purpose (research question) stated clearly? 0 Yes 0 No
Outline the purpose of the study.

Design

Describe the study design.

Population

Was the population described in detail? 0 Yes 0 No

Main variables

Provide a short description of the variables measured/studied/explored (e.g. which variables were explored? Was there an intervention? How was the intervention evaluated?; etc.).

Data collection and data analyses

Describe how the variables were measured and analysed (which instruments/questionnaires and methods were used).

Results

Describe the main results.

Discussion and conclusion

Was the research question answered? 0 Yes 0 No
What did the study conclude?
What were the main limitations in the study?
What were the implications for theory and/or practice?

Anlage 3: Suchstrategien und Ergebnisse

Science Direct 18.04.2011
-Journals
-2001- present
-Englisch
-All sciences
-Suchbegriff in: abstracts, title, keywords

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Vowel*	1030		
Articulator*	446		
Articulation*	2249		
Vowel* OR Articulator* OR Articulation*		3491	
Sing	222		
Singer*	439		
Singing	428		
Sung	170		
Classic* singing	32		
Opera singing	16		
Operatic	23		
Sing OR Singer*		641	
Sing OR Singer* OR Singing		903	
Sing OR Singer* OR Singing OR sung		1028	
Sing OR Singer* OR Singing OR Sung OR (Classic* singing)		1028	
Sing OR singer* OR Singing OR Sung OR (Classic* singing) OR (Opera singing)		1028	
Sing OR singer* OR Singing OR Sung OR (Classic* singing) OR (Opera singing) OR Operatic		1032	
(Vowel* OR Articulator* OR Articulation*) AND (Sing OR Singer* OR Singing OR Sung OR (Classic* singing) OR (Opera singing) OR Operatic) 13 relevante Artikel			57
(Sing OR Singer* OR Singing OR Sung OR Operatic) AND (Vocal Tract) OR Jaw OR Tongue OR Lip* OR Laryn* OR Velum OR Velopharyngeal OR Formant*) Keine zusätzlichen relevanten Artikel			119
Speech	8458		
Speech production	1009		
Speech production measurement	57		
Speak*	7520		
Speech OR Speak*		14456	

Speech OR Speak* AND Vowel* OR Articulator* OR Articulation*			1117
Speech OR Speak* AND Vowel* OR Articulator* OR Articulation* AND Sing OR Singer* OR Singing OR Sung OR Operatic Keine zusätzlichen relevanten Artikel			29
Speech OR Speak* AND Vowel* OR Articulator* OR Articulation* AND Jaw OR lip* OR Tongue OR Laryn* OR Velum OR Velopharyngeal OR (Vocal Tract) OR Formant*			363
172 articles found for: pub-date > 2000 and TITLE-ABSTR-KEY((**speech OR speak*) AND (vowel* OR articulator* OR articulation**)) and TITLE-ABSTR-KEY ((**vocal tract) OR jaw OR tongue OR lip* OR laryn* OR velum OR velopharyngeal OR formant***) AND LIMIT-TO (**smi, "6915,5671,12917,5068", "Journal of Phonetics, Speech Communication, Journal of Voice, International Journal of Pediatric Otorhinolary..."**) Keine relevanten Artikel			172

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits
vowel AND (articulation* OR articulator*)	158
85 articles found for: (**pub-date > 2000 and TITLE-ABSTR-KEY (vowel AND articulation* OR articulator*)**) and not smitxt (**#AIPA#**) AND LIMIT-TO (**smi, "6915,5671,12917", "Journal of Phonetics, Speech Communication, Journal of Voice"**) Ein zusätzlicher relevanter Artikel	85

Cinahl 19.04.2011

-Source Types: Academic Journals
-Limiters: Published Date from: 20010401-20110431
English Language
Exclude MEDLINE records
Human
-Language: English
-Boolean/Phrase: Abstract

	Suchbegriff	Hits	OR	AND
P				
#1	Vowel*	124		
#2	Articulator*	90		
#3	Articulation*	147		
#1 OR #2 OR #3 = **#4**	Keine relevanten Artikel		319	
I				
#5	Sing	8		
#6	Singer*	9		
#7	Singing	19		
#8	Sung	2		
#9	Classic* singing	2		
#10	Opera singing	0		
#11	Operatic	0		
#5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 = **#12**	Keine relevanten Artikel	29		
#4 AND #12				0
C				
#13	Speech	1195		
#14	Speech production	114		
#15	Speech production measurement	0		
#16	Speak*	923		
#13 OR #14 OR #15 OR #12 = **#17**			1822	
#4 AND #17	Keine relevanten Artikel			211

Cochrane 19.04.2011
Cochrane Database of Systematic Reviews
-Zeitraum von 2001 bis 2011
-Englisch
-Suchbegriff in: title, abstract oder keywords

Suchbegriff	Hits Reviews	Hits Clinical trials
Vowel*	1	1
Articulator*	1	1
Articulation*	4	4
Sing	7	44
Singer*	1	11
Singing	7	44
Sung	0	2
Operatic	0	2

Keine relevanten Artikel

Suchbegriff	Hits
Speech	Cochrane Reviews [28] | Other Reviews [31] | Clinical Trials [1004] | Methods Studies [14] | Technology Assessments [11] | Economic Evaluations [17] | Cochrane Groups [0]
Speech production	Cochrane Reviews [4] | Other Reviews [3] | Clinical Trials [74] | Methods Studies [0] | Technology Assessments [2] | Economic Evaluations [1] | Cochrane Groups [0]
Speech production measurement	Cochrane Reviews [0] | Other Reviews [3] | Clinical Trials [41] | Methods Studies [0] | Technology Assessments [2] | Economic Evaluations [1] | Cochrane Groups [0]
Speak*	Cochrane Reviews [18] | Other Reviews [0] | Clinical Trials [562] | Methods Studies [63] | Technology Assessments [1] | Economic Evaluations [1] | Cochrane Groups [0]
Speech OR Speak*	Cochrane Reviews [41] | Other Reviews [31] | Clinical Trials [1436] | Methods Studies [76] | Technology Assessments [12] | Economic Evaluations [18] | Cochrane Groups [0]
Speech OR Speak* AND Vowel OR Articulation* OR Articulator*	Cochrane Reviews [5] | Other Reviews [0] | Clinical Trials [72] | Methods Studies [0] | Technology Assessments [0] | Economic Evaluations [0] | Cochrane Groups [0]

Keine relevanten Artikel

Wiley Interscience 20.04.2011
-Publication type: Journals
-Englisch
-Suchbegriff in: abstract between years 2001 and 2011

	Suchbegriff	Hits	OR	AND
P				
#1	Vowel*	169		
#2	Articulator*	114		
#3	Articulation*	830		
#1 OR #2 OR #3 = **#4**			1071	
I				
#5	Sing	476		
#6	Singer*	189		
#7	Singing	473		
#8	Sung	474		
#9	Classic* singing	24		
#10	Opera singing	3		
#11	Operatic	3		
#5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 = **#12**			648	
#4 AND #12	Nicht relevant			7
C				
#13	Speech	3460		
#14	Speech production	257		
#15	Speech production measurement	29		
#16	Speak*	4364		
#13 OR #14 OR #15 OR #12 = **#17**			7342	
#4 AND #17	Nicht relevant			229
Singing AND Vocal Tract	Nicht relevant			9
Singing AND (Jaw OR Lip* OR Tongue OR Velum OR Velopharyngeal OR Laryn*)	Nicht relevant			25
Singing AND (Classic* OR Opera*) in Abstract NOT Epilep* in All Fields	Nicht relevant			26
Singing AND Speech	Nicht relevant			33
Sing OR Singer* OR Singing OR Sung OR Operatic AND Visual Feedback	Nicht relevant			19

Pubmed 20.04.2011
-Limits activated: Humans, published in the last 10 years
-Englisch
-Suchbegriff in: title, abstract

	Suchbegriff	Hits	OR	AND
P				
#1	Vowel*	1919		
#2	Articulator*	929		
#3	Articulation*	2365		
#1 OR #2 OR #3 = **#4**			5259	
I				
#5	Sing	13808		
#6	Singer*	3398		
#7	Singing	514		
#8	Sung	117		
#9	Classic* singing	59		
#10	Opera singing	4		
#11	Operatic	22		
#5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 = **#12**			21385	
#4 AND #12	22 Artikel relevant (inkl. Suche in related citations)			127
C				
#13	Speech	17022		
#14	Speech production	859		
#15	Speech production measurement	0		
#16	Speak*	12454		
#13 OR #14 OR #15 OR #16 = **#17**			34312	
#4 AND #17				2011
Speech AND #4				1516
Speech production AND #4 Keine zusätzlichen relevanten Artikel				221
Articulator* OR articulation*				3223
Vowel* AND (articulator* OR articulation*)				274
Vowel* AND (articulator* OR articulation*) AND #17				267
#4 AND #12 AND #17	Keine zusätzlichen relevanten Artikel			60
O				
#18	Formant*	543		
#19	Larynx	4776		
	Laryngeal	9933		
#20	Tongue	7268		
#21	Velum			

#22	Soft palate			
#23	Velum palatinum			
#24	Nasal airflow			
#25	Velopharyngeal			
#26	Velopharyngeal port			
#27	Velopharyngeal opening			
#18 OR #19 OR #20 OR #21 OR #22 OR #23 OR #24 OR #25 OR #26 OR #27 = **#28**		3028		
#29	Jaw	4646		
#30	Lip*	46263		
#31	Vocal tract	331		
#17 OR #18 OR #19 OR #28 OR #29 OR #30 OR #31 = **#32**			90227	
#4 AND #32	Keine zusätzlichen relevanten Artikel			104

Pubmed 23.04.2011
-Limits activated: Humans, published in the last 10 years
-Deutsch, niederländisch
-Suchbegriff in: title, abstract

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Vokal	0		
Artikulator*	0		
Artikulation*	0		
Singen	0		
Sänger	0		
Sprechen	0		

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Vocaal	0		
Articulator*	0		
Articulatie*	0		
Zingen	0		
Zanger	0		
Spreken	0		

Science Direct 23-04-2011
-Journals
-2001-present
-Deutsch, niderländisch
-All sciences
-Suchbegriff in: abstracts, title keywords

Deutsch

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Vokal	4		
Artikulator*	0		
Artikulation*	3		
Singen	2		
Sänger	134		
Sprechen	35		

Nicht relevant

Niederländisch

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Vocaal	0		
Articulator (inkl. das englische Wort Articulator) Nicht relevant	121		
Articulatie	0		
Zingen	0		
Spreken Nicht relevant	1		

HBO Kennisbank 23-04-2011
-Niederländisch, englisch, deutsch

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Klinker	1		
Klinkers	4		
Vocaal	1		
Vocalen	0		
Articulatie	4		
Articulatorisch	0		
Zingen	9		
Spreken	127		
Speech	10		
Vowel	0		
Singing	2		
Singen	0		
Sprechen	1		
Vokal	0		

Nicht relevant

Google Scholar 24.04.2011
-2001-2011
-Englisch
-Suchbegriff in: title

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Vowel*	0		
Vowel	2780		
Articulator*	0		
Articulator	345		
Articulatory	1090		
Articulation*	0		
Articulation	3360		
Vowel OR Articulator OR Articulation OR Articulatory		7460	
Sing	2300		
Sung	1260		
Singer	1870		
Singing	4530		
Classic singing	4		
Classical singing Drei relevante Artikel (inkl. Artikel classic singing)	66		
Opera singing Zwei zusätzliche relevante Artikel	53		
Operatic	279		
Sung OR Sing OR Singer OR Singing OR Opera OR Operatic		14300	
Vowel OR Articulation OR Articulatory OR Articulator AND Sing OR Sung OR Operatic OR Opera OR Singer OR Singing 17 relevante Artikel (inkl. opera und classical singing)			31
Singing AND (Operatic OR Opera OR Classical) Keine zusätzlichen relevanten Artikel			136
Vocal Tract AND (Jaw OR Lips OR Tongue OR Larynx OR Velum OR Velopharyngeal OR Vocal OR Formant)			717
Singing AND Jaw OR Lips OR Tongue OR Larynx OR Velum OR Velopharyngeal OR Vocal OR Formant			231
Vocal Tract AND Singing AND (Jaw OR Lips OR Tongue OR Larynx OR Velum OR Velopharyngeal OR Vocal OR Formant) Keine zusätzlichen relevanten Artikel			13

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Speech	31400		
Speech production	1280		
Speech production measurement	2		
Speaking	14200		
Speech OR Speaking		32700	
Speech OR Speaking AND Vowel OR Articulator OR Articulation OR Articulatory			806
Speech AND Vowel Keine relevanten Artikel			227
Speech AND Articulation Keine relevanten Artikel			199
Speech OR Speaking AND Jaw OR Lips OR Tongue OR Larynx OR Velum OR Velopharyngeal OR (Vocal Tract) OR Formant			802
Speech OR speaking AND Vowel OR Articulator OR Articulation OR Articulatory AND Jaw OR Lips OR Tongue OR Larynx OR Velum OR Velopharyngeal OR (Vocal Tract) OR Vormant Keine relevanten Artikel			29

Google Scholar 28.04.011
-2001-2011
-Niederländisch
-Suchbegriff: „irgendwo im Artikel“

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Vocaal Nicht relevant	221		
Articulator Nicht relevant	71		
Articulatie	857		
Vocaal AND Articulatie Nicht relevant			89
Zingen Nicht relevant	4770 in Titel: 71		
Zanger Nicht relevant	760 in Titel: 7		
Vocaal AND Zingen Nicht relevant			209
Spreken (In Titel) Nicht relevant	153		
Vocaal AND Spreken			351 In Titel: 0
Articulatie AND Spreken			0
Stemweg	0		
Formant	0		

Google Scholar 28.04.2011
-2001-2011
-Deutsch
-Suchbegriff in: Titel

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Vokale Nicht relevant	8		
Artikulator Nicht relevant	9		
Artikulation	86		
Vokale AND Artikulation Nicht relevant			2
Singen	193		
Sänger Nicht relevant	56		
Vokale AND Singen Nicht relevant			0
Sprechen	719		
Vokale AND Sprechen Nicht relevant			1
Artikulation AND Sprechen			0
Vokaltrakt Nicht relevant	2		
Formant Nicht relevant	7		

Medpilot 28-04-2011
-2001-2011
-Deutsch
-Suchbegriff in: Titel
-Suchraum Medizinische Gesundheit und weitere Datenquellen

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits	OR	AND
Vokal	817		
Artikulator Nicht relevant	31		
Artikulation Nicht relevant	27		
Vokal AND Artikulation Nicht relevant			7
Singen	274		
Sänger Nicht relevant	13		
Vokal AND Singen Nicht relevant			37
Sprechen	419		
Vokal AND Sprechen Nicht relevant			104
Vokaltrakt Nicht relevant	146		
Formant	7431		
“Formant“	0		
Formant AND Sänger Nicht relevant	5		

Ovid Medliner 29.04.2011
-Englisch

	Suchbegriff	Hits	OR	AND
P #1	Vowel*	0		
#2	Articulator*	0		
#3	Articulation* Nicht relevant	5		
I #5	Sing	0		
#6	Singer* Nicht relevant	7		
#7	Singing	0		
#8	Sung Nicht relevant	2		
#9	Classic* singing	0		
#10	Opera singing	0		
#11	Operatic	0		
C #13	Speech Nicht relevant	45		
#14	Speech production Nicht relevant	2		
#15	Speech production measurement	0		
#16	Speak* Nicht relevant	35		

Picarta 29.04.2011
(Nederlandse Centrale Catalogus (NCC), Online Content)
-2001-2011
-Niederländische Online-Quellen, Zeitschriften (gedruckt)
-Niederländisch
-Suchbegriff in: Text, Titelwort
-Sucht automatisch mit der englischen Übersetzung der Suchwörter

Suchbegriff, Suchstrategie	Hits Text	Hits Titelwort
Klinker	9	3
Vocaal	1	1
Articulatie	1	1
Zingen	9	3
Spreken	-	56
Singen	6	6
Sprechen	5	5
Vokal	4	4
Artikulation	0	0

Keine relevanten Treffer

Anlage 4: Chronologische Auflistung der vorliegenden Studien

Henrich et al. (2011)	Wolfe et al. (2009)	Tanner et al. (2005)
Bresch & Narayanan (2010)	Echternach et al. (2008a)	Barnes et al. (2004)
Dromey et al. (2010)	Echternach et al. (2008b)	Joliveau et al. (2004a)
Echternach et al. (2010a)	Jennings & Kuehn (2008)	Joliveau et al. (2004b)
Echternach et al. 2010b	Mitchell et al. (2008)	Schade et al. (2003)
Echternach et al. 2010c)	Austin (2007)	Vurma et al. (2002)
Garnier et al. (2010)	Fowler et al. (2007)	Birch et al. (2001)
Sundberg (2009)	Sundberg et al. (2007)	Weiss et al. (2001)
Titze (2009)	Schutte et al. (2005)	

Anlage 5: Tabelle der Messinstrumente und Studienresultate

Velopharyngeal Opening (VPO), Kiefersenkung (KS), Resonance Tuning (RT), Singing Formant (Fs), Vocal Tract Shape (VTS), Pharyngeale Weite (PhW)

Autor	Hauptthema	Probanden	Messinstrumente	Resultate
Birch et al. (2002)	VPO	17 Profisänger	-Nasenendoskopie -Flussmaske, getrennter oraler und nasaler Luftfluss -Intensität des Fundamentals (Grundton) im oralen und nasalen Stimmsignal -Auditive Beurteilung der Aufnahmen auf Nasalität	-Die meisten Sänger und einige Sängerinnen hatten eine VPO bei /a/ -Bei /u, i/ war dies weniger der Fall -Die Tenöre (drei) zeigten eine VPO in der Nähe des Passaggios
Tanner et al. (2005)	VPO	10 Profisoprane	-Messungen des nasalen Luftflusses -Messungen des nasalen und intra-oralen Luftdrucks -VPO-Schätzungen	-Im Vergleich zum Sprechen mehr VPO beim Singen -Bei /a/ mehr VPO als bei /i, u/ -Bei tieferen, für die Sängerinnen komfortableren Stimmlagen mehr VPO als in der hohen Stimmlage
Sundberg et al. (2005)	VPO	ein Profisänger (Bariton)	-3D-CT-Scan des Vokaltraktes eines Baritons während dieser ein /a/ sang -Zwei nach den CT-Scan modellierte Epoxy-Modelle des Vokal- und Nasentraktes -Ein stilisiertes, eisernes Vokaltraktmodell	-Abnahme der Intensität des 1. Formanten (F1) und relative Steigerung des 3 kHz-Gebietes des Sängerformanten (Fs) bei einer VPO -Bei den Vokaltraktmodellen, modifiziert für /u, i/, führte eine VPO zu einer Abnahme der Intensität des 1. Formanten und eine Verbreiterung dessen Bandweite

Fowler et al. (2007)	VPO	36 Laien 36 Profisänger	-Flussmaske, getrennter oraler und nasaler Luftfluss -Intensität des Fundamentals im nasalen und oralen Stimmsignal	-Keine signifikanten Unterschiede zwischen Sängern und Laien -Die Nasalitätswerte für /i, ae/ waren signifikant höher als für /ɑ, u/ -Bei beiden Gruppierungen war die Nasalität in der tiefen Tonlage signifikant ausgeprägter als in der hohen Stimmlage
Jennings et al. (2008)	VPO	21 Amateure 25 Gesangsstudenten	-Nasometer -Nasale und orale akustische Signale	-Amateure wiesen signifikant höhere Werte von Nasalität auf -Der Vokal /i/ wies signifikant höhere Werte von Nasalität als /ɑ, e/ auf, die wiederum signifikant höhere Werte von Nasalität als /o, u/ in jeder Tonlage hatten -Männer hatten in den höheren Tonlagen mehr Nasalität, Frauen in der tiefen Lage -Die Nasalität war beim piano Singen größer als bei mezzoforte, nicht aber in den mittleren und hohen Stimmlagen der Frauen
Austin (2007)	KS	6 Gesangsstudenten 6 Profisänger	-Cephalostat -Dehnungsmessstreifen	-Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen -Das /a/ wurde mit mehr Kiefersenkung gesungen als /i, u/. -Je tiefer die Stimmlage desto geringer war die Kiefersenkung -In der tiefen gesungenen Stimmlage geringere Kiefersenkung als bei gesprochenen Vokalen

Barnes et al. (2004)	RT Fs	6 Profisoprane	-Audioaufnahmen -Errechnung des F1 und F2 mittels eines externen, tieffrequenten Tongenerators (70 Hz) am Hals einer Probandin für die Vokaltraktkonfiguration jedes Vokals bei den Frequenzen 440, 685 und 880 Hz -Spektralanalyse	Für die Vokale /a, o/, wurden Fs-ähnliche Frequenzmaximen im 3 kHz-Bereich gefunden, nicht aber für /i/
Bresch et al. (2010)	RT Fs	5 Profisoprane	-Dynamische Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) mit mittelsagittalen MRT-Bildern	-Bei den hohen Vokalen /i, u/ klare Resonanzabstimmung durch Erhöhung des F1 bei höheren F0, bei /a, e, o/ nicht -Die Vokalartikulation weist in tiefer Lage klare Unterschiede vor, in hoher Lage entsteht bei den meisten Probanden aber für alle Vokale die gleiche offene /a/-ähnliche Einstellung -Alle Probanden benutzten Kiefersenkung als Resonanzstrategie
Weiss et al. (2001)	RT Fs	10 Profisoprane	-Audioaufnahmen -Spektralanalyse	-In der tiefen und mittleren Lage gab es Frequenzgipfel, die einem Fs eines Tenors ähnlich waren -Bandbreite doppelt so groß (2 kHz) als beim Fs eines Tenors -In der hohen Tonlage einen starken F0 mit Verstärkung der benachbarten Partialtöne bis 5 kHz und höher

Sundberg (2009)	RT Fs	eine Profisängerin (Sopran)	-Dynamische Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) mit mittelsagittalen MRT-Bildern	-Vier oder fünf Halbtöne unterhalb der normalen F1 wurde die Höhe des Zungenrückens bei den Vokalen /i,e,u,a/ verringert, bei /o/ die Lippen- und bei /a/ zusätzlich die Kieferöffnung vergrößert -Bei den höchsten Tönen wurde die Kieferöffnung für alle Vokale vergrößert
Joliveau et al. (2004a)	RT Fs	4 Profisoprane 4 fortgeschrittene Gesangsstudenten, Sopran	-Audioaufnahmen -F1 und F2 mittels Breitbandexzitation am Mund gemessen -Spektralanalyse	-F1 ist relativ konstant, wenn F0 tiefer ist als der F1-Wert beim normalen Sprechen -Näherte sich F0 F1 an, wurde F1 für alle Vokale durch Resonanzabstimmung erhöht -F1 der runden Vokale /ɔ, u/ aber konnte bei einer F0 von ungefähr 1 kH nicht weiter erhöht und abgestimmt werden
Joliveau et al. (2004b)	RT Fs	5 Profisoprane 4 fortgeschrittene Gesangsstudenten, Sopran	-Audioaufnahmen -F1 und F2 mittels Breitbandexzitation am Mund gemessen. -Spektralanalyse	-Es fand sich eine kleine Erhöhung von F2 in der Stimmlage, in der F1 abgestimmt wird -F3 und F4 nahmen nicht sehr stark zu -Keine Indizien einer Abstimmung von F3, F4 und F5 auf Partialtönen von F0
Garnier et al. (2010)	RT Fs	4 Laien 4 Gesangsstudenten 4 Profis alle Sopran	-Audioaufnahmen -F1 und F2 mittels Breitbandexzitation am Mund gemessen. -Spektralanalyse	-Resonanzabstimmung bei allen Sängerinnen -Profisängerinnen begannen diese Abstimmung auf tieferen Tonhöhen -F1-F0, in manchen Fällen kombiniert mit F2- 2F0 -Über C6 weiter F1-F0 oder F2-F0 -Zwei unterschiedliche Strategien der Lippenöffnung -Die Lippenbreite nahm mit der Tonhöhe zu

Henrich et al. (2011)	RT Fs	22 Profisänger	-Audioaufnahmen -F1 und F2 mittels Breitbandexzitation am Mund gemessen. -Spektralanalyse	-F1-F0-Abstimmung in hoher Stimmlage bei allen Sopranen -F2-2F0-Abstimmung über einen Teil ihres Stimmumfangs bei den meisten Sopranen, oft in Kombination mit F1-F0-Abstimmung -Die Alti benutzten F1-F0-Abstimmung über einen Teil ihres Stimmumfangs -Tenöre und Baritone benutzten F1-2F0 und F1-3F0 über einen Teil ihres Stimmumfangs sowie in tieferer Stimmlage verschiedene Abstimmungen zu höheren Partialtönen
Vurma et al. (2002)	RT Fs	20 Gesangsstudenten (11 Frauen, 9 Männer)	-Auditive Beurteilung von Aufnahmen -Spektralanalyse	-Nach vorne projizierte Stimmen wiesen einen stärkeren Fs und eine höhere F2 und F3 vor -Artikulatorische Bewegungen wurden nicht gemessen
Schutte et al. (2005)	RT Fs	60 Aufnahmen von 34 berühmten Tenören	-Audioaufnahmen -F1, F2 Errechnung mittels Voce-Vista -Spektralanalyse	-Die meisten Tenöre stimmten F2 mittels Erhöhung auf den 3. Partialton ab -Manche benutzten den Fs als Strategie, abgestimmt auf höhere Partialtöne
Titze (2009)	RT Fs	2 klassische Tenöre 2 Musical-Tenöre	-Stilisierte Vokaltraktmodelle -Videoaufnahmen -Audioaufnahmen -Spektralanalyse	-In den Modellen führt epilaryngeale Verengung zu etwas höherem F1 und F2 sowie zu einem tieferen F4

Wolfe et al. (2009)	RT Fs	126 Studien über Vokaltraktresonanzen bei Blasinstrumenten und Gesang	Übersichtsarbeit	-Der Fs entsteht durch eine Tiefstellung des Larynx und eine epilaryngeale Verengung -Soprane: beim Ansteigen der Tonlage lächeln oder „gähnen“ und damit durch Kiefersenkung und größere Mundöffnung F1 auf F0 abstimmen -Bei tieferen Stimmen besteht weniger Notwendigkeit für Resonanzabstimmung als bei Sopranen
Dromey et al. (2011)	RT Fs	15 Amateure (Chorsänger)	-Vokalausgleichtraining -F1, F2 Errechnung mit PRAAT und Matlab -Spektralanalyse	-F1 und F2 nach Vokalausgleichstraining signifikant anders als vorher -Grund: neutralere, zentralere Zungenposition
Echternach et al. (2008a)	VTS	2 Profisänger (ein Bariton, ein Tenor)	-Dynamische Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) mit mittelsagittalen MRT-Bildern	-Die Lippenöffnung zu fast 90 Prozent durch die Kiefersenkung verursacht -Vom Modalregister ins Falsetto nur kleine Vokaltraktveränderungen -Auffallende Änderungen beim Beibehalten des Modalregisters über das Passaggio hinweg -Große Unterschiede zwischen den beiden Probanden
Echternach et al. (2008b)	VTS	5 Profitenöre	-Dynamische Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) mit mittelsagittalen MRT-Bildern	-Uvulaelevation und Weitstellung des Pharynx beim Beibehalten des Registers oberhalb des Passaggios -Elevation und Kippung des Kehlkopfes beim Übergang in das Falsettregister

Echternach et al. (2010a)	VTS	4 fortgeschrittene Gesangsstudenten (Sopran)	-Dynamische Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) mit mittelsagittalen MRT-Bildern	-Zwischen den Registern keine signifikanten Unterschiede im Vokaltrakt -Große Unterschiede, wenn F0 in der Nähe des F1: eine größere Kiefersenkung und eine weitere Lippenposition sowie eine Erhöhung des Zungenrückens -Über die ganze Tonleiter hinweg gab es eine gleichmäßige Vergrößerung der pharyngealen Weite und eine gleichmäßige Anhebung des Uvulas
Echternach et al. (2010b)	VTS	10 Profitenöre	-Dynamische Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) mit mittelsagittalen MRT-Bildern	-In der Voix mixte mehr pharyngeale Weite, mehr Kieferprotrusion, mehr Kiefer- und Lippenöffnung als im Modalregister -Die Vokaltraktveränderungen waren bei den dramatischeren Tenören ausgeprägter als bei den lyrischen
Echternach et al. (2010c)	VTS	2 Profitenöre	-Dynamische Echtzeit-Magnetresonanztomographie (MRT) mit mittelsagittalen MRT-Bildern	-Unabhängig von der Vokalkondition zeigten sich systematische Änderungen (z.B. erhöhte Lippen- und Kieferöffnung) -Der lyrische Tenor erhöhte bei allen Vokalen die Pharynxweite mit ansteigender Tonhöhe. Beim dramatischen Tenor hingegen war die Weite von den Vokalen abhängig.

Mitchell et al. (2006)	PhW	Vier Studien -15 Gesangslehrer -2x6 Profisänger	-Interview -Auditive Beurteilung von Aufnahmen	-Der Begriff ’Open-Throat-Technique’ und seine Bedeutung sind bekannt und klar; diese Technik wird gelehrt -Die ’Open-Throat-Technique’ wurde im Vergleich mit ’weniger offener Kehle’ stets erkannt
Schade et al. (2003)	PhW	13 Profisänger 15 Profisängerinnen	-Transnasale Endoskopie -Taktil-ästhetische Beurteilung -Auditive Beurteilung von Aufnahmen	-Endoskopische Videoaufnahmen: die Weite des Ansatzrohres ist vor allem vom Vokal abhängig -Fremdwahrnehmung: Vokal und Klangfarbe scheinen eine Rolle zu spielen -Für die Sänger selber scheint nur die Klangfarbe wichtig zu sein