Phonograph und Gesangsstimme

Untersuchungen zur Akustik früher Aufzeichnungs- und Abspielgeräte

Karin Martensen[1], Polina Zakharchuk[2], Malte Kob[2], Rebecca Grotjahn[1]

[1] *Musikwissenschaftliches Seminar der Universität Paderborn und der Hochschule für Musik Detmold, E-Mail: grotjahn@mail.uni-paderborn.de*

[2] *Erich-Thienhaus-Institut, Detmold, E-Mail: kob@hfm-detmold.de*

Einleitung und Literaturbericht

Durch die Schallaufzeichnung mittels Phonograph und die Wiedergabe mittels Grammophon konnte in der Frühzeit der Tonaufnahme nur ein Frequenzspektrum von ca. 160 Hz bis ca. 3000 Hz erfasst werden, so heißt es in der Literatur [1]. Singstimmen auf alten Tonaufnahmen klingen wegen des Verlusts höherer Frequenzen dumpf, verzerrt [4] und sind mit zahlreichen Störgeräuschen versehen. Doch konnten Sänger wie Fjodor Schaljapin (1873–1938) und Sängerinnen wie Luisa Tetrazzini (1871–1940) mit großem finanziellem und beruflichem Erfolg Tonaufnahmen veröffentlichen. Und auch für die Plattenfirmen waren die frühen Aufnahme- und Abspielgeräte geradezu „Gelddruckmaschinen“ [2]. Gerade die Einspielungen mit Sängern waren es, die diesem Medium zu seiner ungeheuren Popularität und Verbreitung verhalfen. Enrico Caruso (1873–1921) etwa wurde allein durch seine zahlreichen Plattenaufnahmen zum Millionär und verhalf mit diesen auch den Produktionsfirmen zu riesigen Umsätzen [3]. Im Rahmen einer größer angelegten Forschungskooperation zwischen dem Bereich Musikalische Akustik am Erich-Thienhaus-Institut Detmold und dem Musikwissenschaftlichen Seminar der Universität Paderborn/Hochschule für Musik Detmold wollen wir diese Widersprüche klären.

Von verschiedenen Arbeitsgruppen und mit unterschiedlicher Zielrichtung wurden in den letzten 20 Jahren bereits zahlreiche Messungen zu Bau und Funktionsweise von Phonographen bzw. Grammophonen vorgelegt. Sagers et al. [5] etwa zeigen auf, wie die Übertragung des Schalls mit Hilfe von Ersatzschaltbildern der Elektrotechnik und Akustik beschrieben werden kann. Ferner weisen verschiedene Autoren darauf hin, welche Bedeutung die Moden des Schalltrichters für die Übertragung des Grammophons haben [6]. Auch Untersuchungen an Formanten und anderen Spezifika der Singstimme sind schon von zahlreichen anderen Autoren vorgenommen worden. Zu nennen sind hier etwa McGinnis et al. [7], die ihre Untersuchungen auf der Grundlage von Schallplattenaufnahmen durchführten. Ifukube et al. [8] sowie Nakamura et al. [9] setzten jeweils Laserreflektionen zur Rekonstruktion von Tonaufnahmen auf Wachszylindern ein. Die Untersuchung von Morange et al. [10] ist psychoakustisch fokussiert. Die genannten Untersuchungen dienten stets dem Verständnis der Technik und ihrer Weiterentwicklung, sei es bei der Hardware [11], dem Instrumentenbau [12] oder der „Understanding of the singing voice“ [13].

Ausgehend von der Erkenntnis, dass die Schallübertragung bei Phonograph/Grammophon nicht linear ist [4], gehen wir der Vermutung nach, dass dies Einfluss auf den Stimmklang derart hat, dass die Vokalformanten von Sängern und Sängerinnen durch die Schallübertragung im Schalltrichter modifiziert werden, wodurch der Klang möglicherweise verbessert wurde. Insbesondere soll der Frage nachgegangen werden, was die Tonaufnahme zur Entstehung von Klang beiträgt oder wie sie ggf. die Stimme des Sängers im Phonographen überformt.

Untersucht haben wir die gesamte Übertragungskette eines Phonographen, um die Klangqualität und -ästhetik von Tonaufnahmen beurteilen zu können. Einige Beispiele dafür, wie wir bei der Zerlegung und Analyse der Musikübertragung vom Sänger via Wachswalze zum Hörer vorgegangen sind, sollen nachstehend vorgestellt werden. Hierfür haben wir die Schallübertragung eines Phonographen „Edison Home“ aus dem Jahr 1908 sowie die Vokalformanten von zwei Sängern analysiert. Gezeigt werden kann, wie die folgenden Untersuchungen deutlich machen, der Einfluss der Phonographenaufnahme auf die Sängerformanten im Vergleich mit einer Mikrophonaufnahme. Ferner haben wir die Übertragungsfunktion und Impedanzen der uns vorliegenden Aufnahme- und Wiedergabetrichter untersucht. Zudem haben wir mit Hilfe eines Laservibrometers an der RWTH Aachen die Schwingungsformen der mit dem Schalltrichter verbundenen Aufnahmeschalldose gemessen.

Unsere Untersuchungen sind daher nicht nur der Versuch, die vorgenannten Ansätze zusammenzuführen und dadurch sich neu stellende Fragen zu beantworten, sondern auch ein Brückenschlag zur (bislang als solcher nicht genutzten) Nachbardisziplin „Historische Musikwissenschaft“. Berücksichtigt man, dass Tonaufnahmen nicht ohne weiteres als Quellen für die Gesangspraxis betrachtet werden dürfen, sondern dass ihr Medienstatus die Aufnahmesituation und auch das Aufgenommene in hohem Maße mit prägt, kann im Zusammenwirken von Vibroakustik und Musikwissenschaft erforscht werden, inwiefern die musikalische Mediengeschichte selbst ein Teil der Geschichte einer Veränderung von Gesangs- und Körperkonzepten ist.

Analyse: Sängerformanten, Trichter

Dass Stimmklang tatsächlich durch den Phonographen verformt wird und dieser auch Einfluss nimmt auf die Formanten eines Sängers, kann man beispielhaft an den Grafiken erkennen: Abb. 1 zeigt Spektrogramm und praat-Formantanalyse eines Sängers (Bariton), der mit Phonograph aufge-

nommen wurde. In Abb. 2 erkennt man vergleichbare Signale; hierbei wurde der Sänger in einem reflexionsarmen Raum mit Messmikrophon aufgenommen. In beiden Fällen handelt es sich um Aufnahmen des Vokals ‚a' mit f0 = 100 Hz.

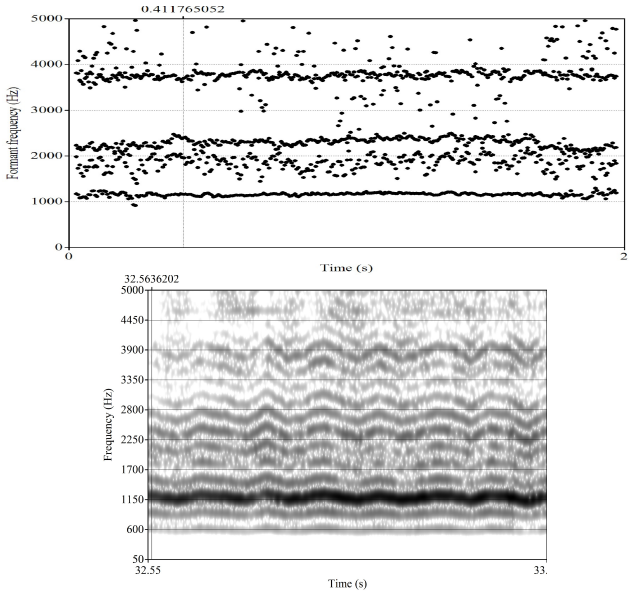


Abbildung 1: Praat-Formantanalyse (oben) und Spektrogramm (unten) eines Baritons bei einer Phonographaufnahme (Vokal a)

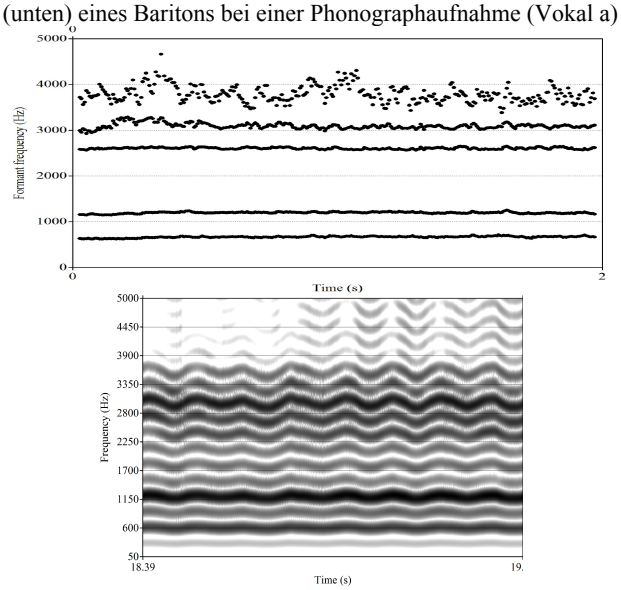
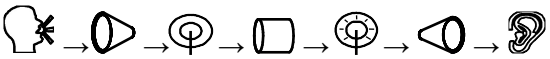


Abbildung 2: Praat-Formantanalyse (oben) und Spektrogramm (unten) eines Baritons bei einer Mikrophonaufnahme (Vokal a)

Ganz offensichtlich bildet der Phonograph andere Formanten ab als das Mikrophon: beim Phonographen fehlt der erste Formant bei ca. 800 Hz, den das Mikrophon hingegen abbildet. Dafür ist in der Phonographaufnahme ein Formant bei 2000 Hz zu sehen, den die Mikrophonaufnahme nicht zeigt. Umgekehrt fehlt der Phonographenaufnahme der Formant bei 3000 Hz, der wiederum in der Mikrophonaufnahme klar ausgeprägt ist. Kurz: In der Phonographaufnahme werden sowohl Formanten weggenommen als auch hinzugefügt!

Um die Ursache für diese Klangänderung zu finden, haben wir eine Messung der Schallübertragung mit einem Sweep vorgenommen, und zwar, wie aus den nachstehenden Grafiken stilisiert ersichtlich ist, in Aufnahme- und in Wiedergaberichtung:



In Abb. 3 oben sieht man den Verlauf des mit einem Messmikrophon aufgenommenen Sweeps: Es gibt kaum Artefakte außer der ersten Harmonischen bei ca. -60dB. Auf der unteren Grafik dieser Abbildung zeigt sich, dass die Übertragungsfunktion des Trichters erst ab ca. 500 Hz abgebildet wird, während die obere Grenzfunktion bei ca. 5000 Hz liegt. Interessant ist ferner, dass auf dieser Grafik harmonische Verzerrungen bei ca. -30 bis ca. -40 dB sowie Störgeräusche abgebildet sind. Das bedeutet, dass der Trichter dem Sweep bei einigen Frequenzen Obertöne hinzufügt. Was wiederum bedeutet, dass die Übertragungskette eine nichtlineare Übertragungsfunktion aufweist.

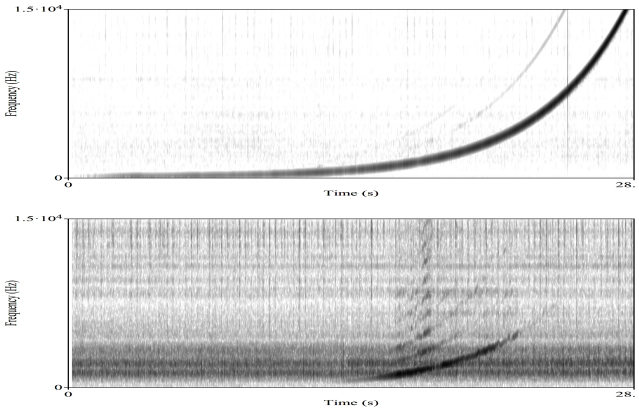


Abbildung 3: Sweep Mikrophon (oben); Sweep Phonograph (unten)

Analyse: Schalltrichter

Auf der Suche nach Antworten auf die Frage, wie die gezeigte Veränderung der Formanten zu erklären ist, haben wir die Übertragungsfunktion und die Impedanz von drei uns vorliegenden Schalltrichtern gemessen. Abb. 4 zeigt die Eingangsimpedanzen der drei Trichter bei der Aufnahme, gemessen mit MonkeyForest. Deutlich wird, dass der kleine Aufnahmetrichter (grün) dem aufzunehmenden Signal starke Resonanzen aufprägt, wohingegen ein größerer Trichter (blau) weniger starke Veränderungen hervorruft.

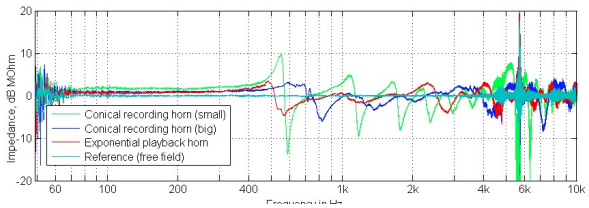


Abbildung 4: Impedanzen dreier Trichter bei der Aufnahme (MF); Frequency in Hz

Für den großen Trichter ergibt sich aus der Übertragungsfunktion (Abb. 5), dass die Cut-on-Frequenz bei ca. 550 Hz liegt und eine Verstärkung von ca. 19 bis 20 dB bis ca. 5 kHz auftritt.

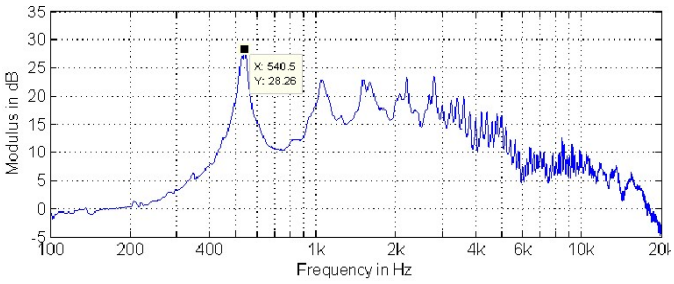


Abbildung 5: Transferfunktion des großen konischen Aufnahmetrichters

Die Wiedergabe, gemessen mit einem BIAS 7.0 Impedanzmessgerät, ist ebenfalls stark frequenzabhängig: der Wiedergabetrichter (in Abb. 6: rot) hat eine Cut-on-Frequenz von ca. 500 Hz und weist einen schwankenden Frequenzgang auf.

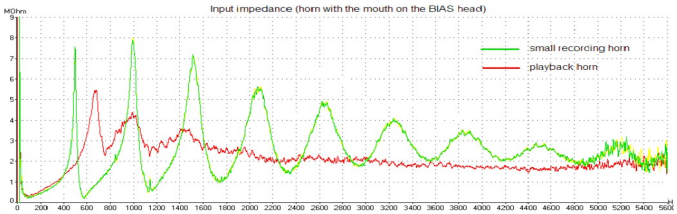
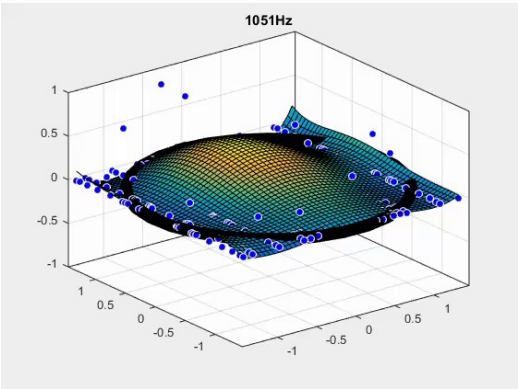


Abbildung 6: Impedanzkurve des Wiedergabetrichters (rot)

Zusammenfassend kann man festhalten, dass jeder Trichter einen anderen Frequenzverlauf zeigt. Auch dies war schon zu Zeiten Carusos, Schaljapins und Tetrazzinis bekannt (auch wenn man noch nicht messend, sondern nur hörend vorgehen konnte) und wurde möglicherweise für die Klanggestaltung von Singstimmen genutzt.

Analyse: Membran

Als nächstes untersuchten wir die Schwingungseigenschaften der mit dem Schalltrichter verbundenen Aufnahmeschalldose. Gemessen haben wir mit Lautsprecher-Sweeps und einem Scanning-Laservibrometer an der RWTH Aachen, der auf die Membran bei frei schwingender Nadel gerichtet wurde. In den hier beispielhaft ausgewählten Grafiken (Abb. 7a bis d) ist zu erkennen, dass die Membran bei verschiedenen Frequenzen im Formantbereich asymmetrische Schwingungsmoden aufweist.



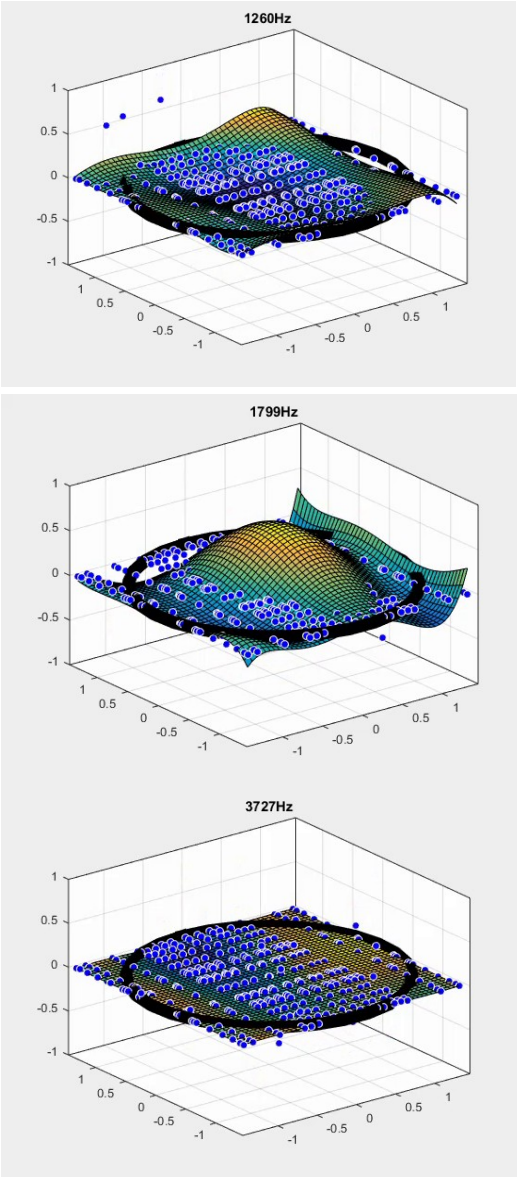


Abbildung 7a bis d: Schwingungsmoden Membran, gemessen mit dem Laservibrometer („free-end“)

Bei weiteren Messungen wurde ein Beschleunigungssensor zwischen der Nadel und dem Zylinder (ohne Walze) angebracht. In der Grafik (Abb. 8) erkennt man die Trägheit der Anordnung (Beschleunigung ./. Schalldruck) abhängig von der Frequenz: sie ist über das gesamte Frequenzband stark schwankend. Es ist davon auszugehen, dass diese Moden sowohl die Frequenz-Linearität als auch die Richtung der Gravur auf der Walze beeinflussen.

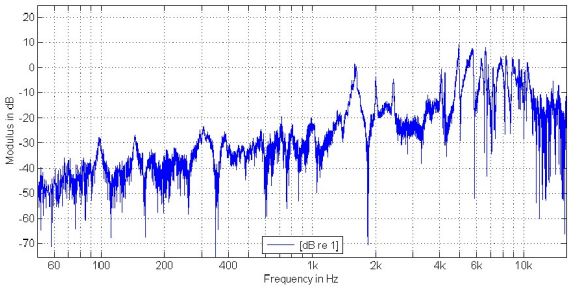


Abbildung 8: Übertragungsfunktion des Trichters mit Membran, „fixed end“ Accelerometer

Zusammenfassend kann man hierzu festhalten, dass sich die Membran in tiefen Frequenzen ähnlich verhält wie eine Kolbenmembran in einem modernen Lautsprecher. Bei höheren Frequenzen im Bereich der Formanten wird die Auslenkung der Nadel teils reduziert, teils verstärkt; es kommt zu Frequenzgangschwankungen sowie zu Querbewegungen.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit unseren Messungen konnten wir einen Einblick in stimmklangprägende Komponenten eines Phonographen gewinnen. Ursächlich für die Veränderungen des Stimmklangs sind nach jetzigem Stand der Dinge: die Trichterresonanzen und die Moden der Membran.

Führt man diese Untersuchungen sowie die eingangs dieses Artikels genannten Forschungen zusammen, lassen sich jetzt etwa Korrelationen der bereits erzielten Ergebnisse zu Bau und Funktionsweise von Phonographen mit Formanten und den gefundenen Übertragungsmaxima herstellen. Vor diesem Hintergrund sollten in Zukunft Perspektiven für die Interpretation historischer Tondokumente und das Verstehen des sog. Vintage-Sounds entwickelt werden. Es sollten daher verschiedene Untersuchungen stattfinden, etwa: Untersuchung der Varianz der hier dargelegten Ergebnisse für verschiedene Phonographen bzw. Grammophone und für verschiedene Sängerinnen und Sänger; Untersuchung der Aufnahmebedingungen bei Gesangsaufnahmen (Stil, Pegel, Abstand, Winkel zum Phonographen); Untersuchung der Verzerrungen und Auswirkungen auf eine positive klangprägende Stimmwahrnehmung.

Wir konnten ferner die Medialität von Tonaufnahmen verifizieren, die bei früheren Forschungen noch keine Rolle gespielt hatte: Auch in der Frühzeit der Tonaufnahme musste man sich keineswegs damit zufriedengeben, bloße „Klangfotografien“ [14] anzufertigen, sondern konnte durch die Auswahl bestimmter Trichter und Schalldosen Einfluss auf das klangliche Ergebnis nehmen. Tonaufnahmen zeigen daher nicht die ‚wahre Stimme‘ eines Sängers oder einer Sängerin, sondern sind Ergebnis einer bewussten, ästhetisch fundierten Einflussnahme, die durch den Sänger, die Technik, aber auch durch den zuständigen Aufnahmetechniker (heute würden wir ihn Tonmeister nennen) vorgenommen werden konnte. Folglich müssen auch frühe Tonaufnahmen immer nach ihrem Zustandekommen, ihrer Medialität, befragt werden und dürfen nicht ohne weitere Prüfung als Quelle für die Klangforschung herangezogen werden.

Danksagung

Wir bedanken uns ganz herzlich beim Ethnologischen Museum Berlin-Dahlem für die Leihe des Phonograph „Edison Home“, ferner beim Institut für Technische Akustik der RWTH Aachen (Prof. Vorländer; Dipl.-Ing. Müller-Trapet), die uns die Laservibrometer-Messungen ermöglicht haben. Sebastià V. Amengual Garí und Dustin Eddy vom Erich-Thienhaus-Institut danken wir für ihre Unterstützung bei den Messungen. Dem Erich-Thienhaus-Institut sind wir dankbar für die Bereitstellung von Messtechnik und Messräumen. Karin Martensen dankt der Mariann-Steegmann-Foundation für die großzügige finanzielle Förderung.

Literatur

[1] Hiebler, H.: Der Sound zwischen technischen Möglichkeiten und kulturellen Ansprüchen. Eine Medienkulturgeschichte der Tonträger. Segeberg/Schätzlein (Hg.), Sound. Zur Technologie und Ästhetik des Akustischen in den Medien, 2005, 206-229; Day, T.: A Century of recorded music, Yale University Press, 2000; Hoffmann, F. (Hg.): Ecyclopedia of Recorded Sound, 2. Ed., Vol. 1, 612.

[2] Vgl. Martland, P.: Recording History. The British Record Industry 1888–1931, Lanham et al. 2013.

[3] 1906 wurden allein in Deutschland nicht weniger als 250.000 Grammophone und 1,5 Millionen Schallplatten verkauft (Hörisch, J.: Phono-Techniken. Kolesch, D., Pinto, V., Schrödl, J. (Hg.): Stimm-Welten. Philosophische, medientheoretische und ästhetische Perspektiven, Transcript, 2008, 99–114).

[4] Vgl. Benade, A.: Blechblasinstrumente. Die Physik der Musikinstrumente, Heidelberg 1988, 44ff.

[5] Sagers et al.: Analysis of a homemade tinfoil phonograph. JASA 132 (4) [2012], 2173-2183.

[6] Webster, A.G.: Acoustical impedance, and the theory of horns and of the phonograph. Proceedings of the National Academy of Sciences (Washington), vol. 5, 275–282 (1919).

[7] McGinnis, C.S. et al.: A study of the Vowel Formants of Well-Known Male Operatic Singers. The Journal of the acoustical society of America, Juli 1951, 440ff.

[8] Ifukube et al.: New methods of sound reproduction from old wax phonograph cylinders, Acoustical Society of America, April 1989, 1759ff.

[9] Nakamura et al.: Optical reproduction of sounds from old phonographic wax cylinders. SPIE Vol, 3190, 304–313.

[10] Morange et al.: Voices of Caruso: Cognitive evaluation and acoustic analysis of reedited editions. Proceedings of the third Conference on Interdisciplinary Musicology, 2007.

[11] Vgl. Bauer, B.B.: The High-Fidelity Phonograph Transducer. The Phonograph and Sound Recording After One-Hundred Years, Oktober/November 1977, 729–748.

[12] Vgl. Kausel, W.: Untersuchungsmethoden–Messverfahren der Musikalischen Akustik. Wolfgang Auhagen, Christoph Reuter (Hg.): Musikalische Akustik, Laaber 2013, 55-77.

[13] Kob et al.: Analysing and Understanding the Singing Voice: Recent Progress and Open Questions. Current Bioinformatics, 2011, Vol. 6, 362-374; Tsu et al.: Separation of singing voice from music accompainment with unvoiced sounds reconstruction for monaural recordings. AES Oktober 2008; Sundberg, J.: Die Sängerstimme. Die Physik der Musikinstrumente, Heidelberg 1988, 14ff.

[14] Vgl. Maempel, H.-J.: Musikaufnahmen als Datenquellen der Interpreationsanalyse. Heinz v. Loesch, Stefan Weinzierl (Hg.): Gemessene Interpretation. Mainz 2011, 157–171.