

Timo Fischinger, Jan Hemming

## **Wie singe ich im Chor? – Individuelle Intonations- und Timingmessungen in Vokalensembles**

### **Einleitung**

Intonation und Timing zählen zu den Grundkategorien musikalischer Interpretation und musikalischen Ausdrucks. Das musikalische Zusammenspiel erfordert indes ein hohes Maß an Präzision. Wenn Einsatz, Tondauer oder Tonhöhe nicht richtig getroffen werden, leidet das Zusammenspiel und die musikalische Expressivität wird beeinträchtigt.

Der charakteristische Klang eines Vokalensembles entsteht jedoch nicht durch hundertprozentige Exaktheit, sondern vielmehr durch die Summe individueller Abweichungen, die von jedem einzelnen beteiligten Musiker eingebracht werden. Um die inhärenten Prozesse beim Chorsingen besser zu verstehen, ist es mithin notwendig, das individuelle Verhalten beim Chorsingen genauer in den Blick zu nehmen, indem einzelne Stimmen separat untersucht werden. Erst die Analyse der Einzelstimmen ermöglicht Einsicht in die vielschichtigen Interaktionen und Bedingungen beim Chorsingen.

Untersuchungen hierzu sind äußerst selten, denn bis vor kurzem erforderten derartige Intonations- und Timingmessungen aufwändige technische Setups und eigens programmierte Software. Forschungen in diesem Bereich blieben zudem auf einen kleinen Kreis von Wissenschaftlern beschränkt. Sofern eine Mehrspur-Aufzeichnungsmöglichkeit vorhanden ist, lassen sich Intonations- und Timinganalysen inzwischen auch mit frei verfügbarer Software und durchaus günstigem Equipment durchführen. Mithilfe akustischer Analysemethoden können so Intonationsverhalten, zeitliche Präzision oder auch der Gebrauch von Vibrato einzelner Sängerinnen und Sänger untersucht werden. Dieses Vorgehen ermöglicht nicht nur neue Impulse in der Performanceforschung, sondern z.B. auch die Beurteilung des Singens in Hinblick auf „systematische Hilfen für die Probenarbeit von Chorleitern“ (Jers 2004, S. 1) mit vergleichsweise geringem Aufwand. Auch in kleinerem Rahmen kann auf diese Weise eine Vielzahl von Forschungsfragen bearbeitet

werden, die „zu einem besseren Verständnis der akustischen Aspekte im Chorgesang“ (ebd.) beitragen.

Folgende Forschungsfragen standen für uns im Vordergrund:

- Welches Maß an Präzision wird von den Musikern typischerweise erreicht?
- Gibt es Unterschiede zwischen hohen und tiefen Stimmen?
- Wie werden größere Intervallsprünge bewältigt?
- Lassen sich Stimmführende identifizieren?
- Wie genau ist das Synchronisationsverhalten?
- Wie werden Intonations- und Timingschwankungen ausgeglichen?

### **Mehrkanalanalyse**

In der vorliegenden Studie wurde das Intonations- und Timingverhalten von Sängerinnen und Sängern des Kammerchores „Cantiamo“ der Universität Kassel untersucht. Vorbild für die Untersuchung ist eine Studie von Harald Jers und Sten Ternström (2005), die mit jeweils 16 Mitgliedern verschiedener Chöre (4 pro Stimmlage) Messungen vorgenommen haben. Bei diesem Verfahren singen die Chormitglieder wie gewohnt im Ensemble zusammen, wobei während des Vortrags jede einzelne Stimme mit einem separaten Mikrofon aufgezeichnet und später individuell am Rechner analysiert wird.

16 Mitglieder des gemischten Universitätschores „Cantiamo“ der Universität Kassel (4 x Bass, 4 x Tenor, 4 x Alt, 4 x Sopran) und ihr Chorleiter stellten sich für unsere Untersuchung zur Verfügung.<sup>1</sup> Alle Mitglieder des Ensembles waren zu diesem Zeitpunkt Studierende des Studiengangs Schulmusik am Institut für Musik der Universität Kassel. Das Alter der Sängerinnen und Sänger lag zwischen 20 und 29.

Um eine möglichst realistische Chorsituation herzustellen, wurde der Chor gebeten, den 8-taktigen Kanon „Laudate Dominum“ von Michael Praetorius (1571-1621) unter Anleitung ihres Chorleiters zu

---

<sup>1</sup> Wegen eines defekten Mikrofons musste eine Stimme (Tenor) von der Auswertung ausgeschlossen werden.

singen. Der Kanon wurde in unterschiedlichen Varianten und zwei verschiedenen Tempi unisono sowie als 4-stimmiger Kanon gesungen.<sup>2</sup> Wie in Abbildung 1 zu erkennen, ist der Tonumfang des Stückes für alle beteiligten Stimmgruppen unproblematisch und gut singbar. Die acht Takte enthalten neben einigen größeren Intervallsprüngen melismatische und syllabische Abschnitte, die für die anschließende Analyse der Daten genügend unterschiedliche und prototypische musikalische Aspekte bieten.



**Abb. 1:** „Laudate Dominum“ von Michael Praetorius (1571-1621)

Die Aufnahme wurde während einer regulären Probe im Übungssaal des Chores im Institut für Musik der Universität Kassel durchgeführt. Zuvor wurde das Stück eingeführt und geprobt.

Über das direkt an den Übungssaal anschließende Tonstudio wurden die einzelnen Stimmen im Mehrspurverfahren digital aufgezeichnet. Sängerinnen und Sänger wurden zu diesem Zweck mit eigens angefertigten Nasenmikrofonen aus der Elektretkapsel Monacor MCE-100 (siehe Abb. 2) ausgestattet, welche mit einem Klebestreifen auf dem Nasenrücken möglichst nahe an der Mundöffnung befestigt wurden.

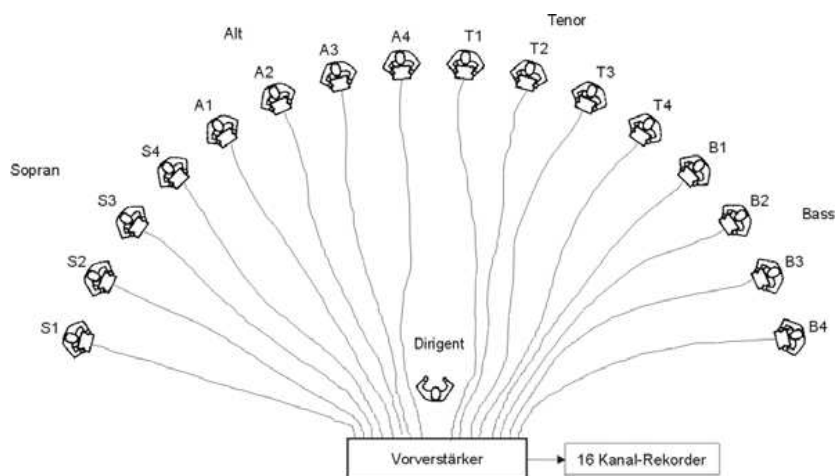


**Abb. 2:**  
Elektretkapsel Monacor MCE-100

---

<sup>2</sup> Für die spätere Auswertung wurden im Anschluss lediglich die Daten aus den Aufnahmen „unisono / normales Tempo“ herangezogen.

Abbildung 3 zeigt die Anordnung des Ensembles während der Aufnahmen. Die Sängerinnen und Sänger standen im geöffneten Halbkreis vor ihrem Dirigenten nach Stimmgruppen nebeneinander geordnet. Die jeweils benachbarten Mitglieder des Chores standen hierbei 80-100 cm voneinander entfernt.



**Abb. 3:** Untersuchungsaufbau und Aufstellung des Chores während der Aufnahmen (aus Jers 2004)

## Auswertung

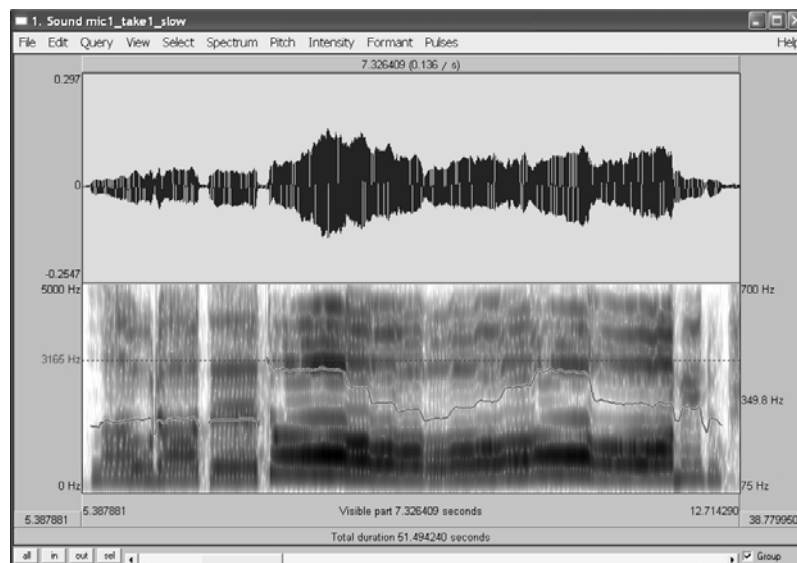
### 1. Intonation

Zur Auswertung des Intonationsverhaltens wurden die Einzeldateien der Stimmen in die frei verfügbare Software Praat<sup>3</sup> zur Spektrogrammerstellung und -analyse eingelesen. Auf der Basis eines Autokorrelationsalgorithmus identifizierte Praat im Signal enthaltene Tonhöhen. So konnte der Grundtonverlauf für jede einzelne Stimme ermittelt und dargestellt werden.

<sup>3</sup> <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/> [22.9.2010]

Auf Basis sogenannter *Pitch Listings* aus Praat und mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms konnten zudem die mittleren Grundfrequenzen pro Zeiteinheit errechnet werden, welche im weiteren als MF0 (mean fundamental frequency) bezeichnet werden. Für alle 28 Töne pro Stimme ergaben sich so bis zu 1700 einzelne diskrete Tonhöhenwerte, die zusammen einen (quasi)-kontinuierlichen Tonhöhenverlauf abbilden.

In Abbildung 4 ist ein derartiger individueller Tonhöhenverlauf dargestellt. Zu sehen ist hier beispielhaft der erste Teil des Kanons. Sowohl in der Hüllkurve (oben) als auch im Spektrogramm (unten) lassen sich die einzelnen gesungenen Töne gut erkennen. Man kann nun jeweils den mittleren Grundtonwert ( $MF0_N$ ) eines Sängers ermitteln, indem die durchschnittliche Tonhöhe über die jeweilige Dauer eines Tones gebildet wird. Die dazugehörige Standardabweichung ( $SF0_N$ ) liefert eine Einschätzung zur Stabilität des einzelnen gesungenen Tones für jedes einzelne Chormitglied.



**Abb. 4:** Darstellung von Hüllkurve, Spektrogramm und Tonhöhenverlauf (graue Linie) einer Einzelaufnahme in Praat

Für die genaue Analyse der Tonhöhenverläufe erwies sich die Berechnung der ‚durchschnittlichen‘ Tonhöhe einzelner gesungener Töne jedoch als zu ungenau bzw. uninteressant, da z.B. das Vibrato oder auch ein Absacken der Stimme durch die Berechnung des jeweiligen Mittelwerts musikalisch relevante Details im Tonhöhenverlauf verdeckt und somit entscheidende Informationen unterschlagen werden.

Um eine übersichtliche und zugleich aussagekräftige Darstellung des Ensemble-Intonationsverhaltens zu erhalten, wurden individuelle Tonhöhenverläufe bzw. Pitch Listings der einzelnen Stimmen ermittelt und in einem gemittelten Tonhöhenverlauf aller Sängerinnen und Sänger ( $MF0_s$ ) samt der korrespondierenden Standardabweichung ( $SF0_s$ ) zusammengeführt. Zum besseren Verständnis sind in Tabelle 1 die verschiedenen Abkürzungen in einer Übersicht zusammengefasst.

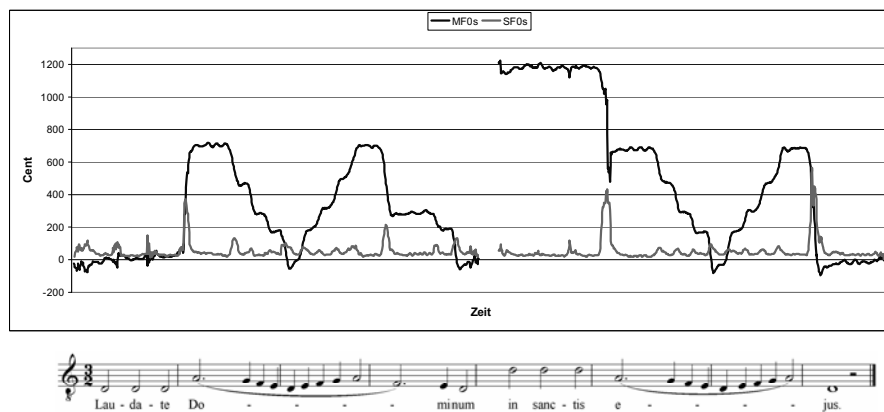
<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>		<b>Kommentar / Bedeutung</b>
$MF0_N$	$SF0_N$	Über Zeit innerhalb eines Tons ermittelt	Ein Wert pro Sänger. $MF0_N$ : mittlerer Grundtonwert in Cent für eine Note
$MF0_s$	$SF0_s$	Über Stimmen/ Sänger ermittelt	$MF0_s$ : Mittelwert des Grundtons mehrerer Sänger $SF0_s$ : Abweichung vom Grundton innerhalb der Sängergruppe Beide Werte ändern sich ständig in Abhängigkeit von der Zeit

**Tab. 1:** Definition der Abkürzungen (nach Jers 2004)

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Daten, z.B. der Frauen- und Männerstimmen, und zur weiteren Auswertung wurden zudem alle Frequenzen von Hz in Cent-Werte umgerechnet. Auf der Basis von  $a'=440$  Hz lässt sich für den Grundton des Kanons d' bei gleichschwebend temperierter Stimmung der Wert 293,66 Hz errechnen, für die Darstellungen in den Grafiken mit 0 Cent gleichgesetzt.

Die Auswertungen basieren auf den Einspielungen „unisono/ normales Tempo“. Der Chor folgte der freien Tempo-Vorgabe des Dirigenten. Eine Nachberechnung des Tempos („normales Tempo“) ergab ca. 100 bpm.

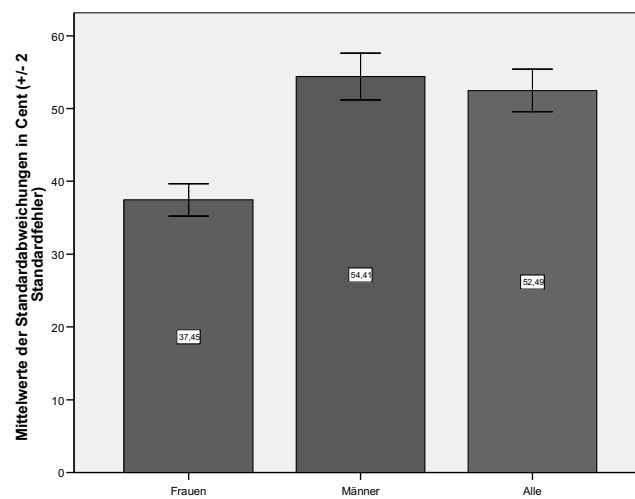
Abbildung 5 zeigt die Tonhöhenverläufe (dunkelgraue Linie) und die dazugehörigen Abweichungen (hellgraue Linie), gemittelt über alle Stimmen. Es ist beispielsweise zu erkennen, dass die Tonhöhe des Ensembles weitgehend beibehalten wird und die Stimmung am Ende nur gering um 25,12 Cent ‚absackt‘. Ebenso werden die Intervalle Quinte (674,62 Cent) und Oktave (1203,22 Cent) durchschnittlich im Sinne der gleichschwebend temperierten Stimmung (700 / 1200 Cent) intoniert. Größere Abweichungen innerhalb der Stimmen ergeben sich im Chor bei den Quintsprüngen (aufwärts/abwärts) erkennbar an den Zacken der SF0-Linie. Eine Analyse der dazugehörigen vektorisierten Daten lässt jedoch keine Tendenz zur Intonation reiner Intervalle (Quinte: 701,96 Cent / Quarte: 498,04 Cent) erkennen.



**Abb. 5:** Grundtonanalyse Hochschulchor Mittelwert MF0<sub>s</sub> (mean fundamental frequency) und Standardabweichung SF0<sub>s</sub> über 15 Sängerinnen und Sänger – normales Tempo (unisono)

Auch wenn es sich um gemittelte Werte, sind doch interessante Details zu erkennen. So müssen größere Intervallsprünge oft kompensiert werden, da die Sängerinnen und Sänger hier häufig zu weite Intervalle intonieren. Es zeigen sich zudem hohe Werte bei den Standardabweichungen. Auch die tonleiterartigen Passagen zeigen ähnliche Ungenauigkeiten: Einkerbungen bei abwärts verlaufenden Tonstufen lassen darauf schließen, dass Intervalle zunächst etwas überschätzt und im Anschluss ausgeglichen werden. Grundsätzlich ist der Höreindruck allerdings präziser als die Darstellung vermuten lässt. Die vorliegenden Daten decken sich mit den Ergebnissen aus den Untersuchungen von Jers (2004) und Sundberg (1989).

Für einen Vergleich der hohen und tiefen Stimmen wurden im Folgenden die  $MF0_s$  und  $SF0_s$  der Frauen- und Männerstimmen separat betrachtet. Schon auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass das Intonationsverhalten der Frauen in diesem Ensemble besser ausgeprägt ist als das der Männer. Abbildung 6 zeigt hierzu die Mittelwerte der Standardabweichung über das ganze Stück.



**Abb. 6:** Mittelwerte der Standardabweichungen aller 15 Sängerinnen und Sänger über das ganze Stück

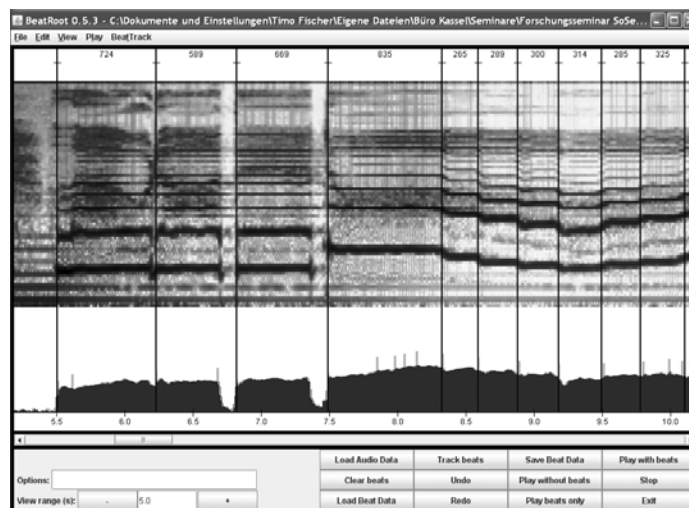




Ob und inwieweit diese Unterschiede auf andere Chöre übertragbar sind, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden. Es ist anzunehmen, dass die Differenzen aufgrund grundsätzlicher Leistungsunterschiede zustande gekommen sind.

## 2. Timing

Wie Praat erzeugt auch das Programm Beat Root<sup>4</sup> ein Spektrogramm und identifiziert unter anderem auf der Basis von Lautstärke und Tonhöhe im Signal enthaltene Pulse bzw. Tönanfänge (Onsets). In Abbildung 9 sind diese als schwarze vertikale Linien erkennbar. Bei Bedarf können diese Linien von Hand nachkorrigiert und ergänzt werden.

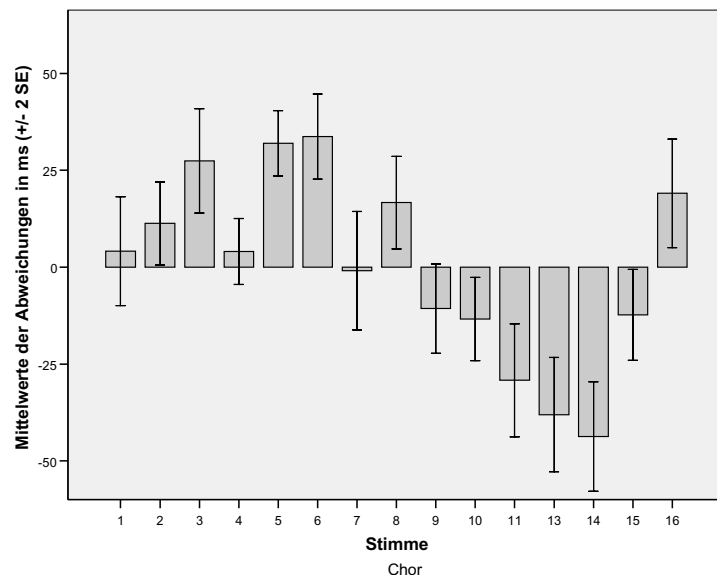


**Abb. 9:** Screenshot aus Beat Root mit Spektrogramm und Angaben zu den IOI (schwarze Striche) über die ersten Töne des Stückes

<sup>4</sup> Beat Root ist ebenfalls eine freie Software, die plattformunabhängig eingesetzt werden kann. Dokumentation und Download finden sich hier: <http://www.elec.qmul.ac.uk/people/simond/beatroot/index.html> [22.9.2010]



In Anlehnung an Rasch (1988) wurden zudem mithilfe der IOI-Werte die durchschnittlichen Abweichungen bzw. Asynchronien der einzelnen Stimmen über das ganze Stück berechnet: Chor = 33,07 ms (Männerstimmen = 31,47 und Frauenstimmen = 34,81 ms). Die Werte entsprechen den von Rasch beschriebenen Größenordnungen. Abbildung 11 zeigt, dass die Frauenstimmen (Nr. 9-15) (über alle 28 Töne) um -18 ms vor dem Stimmeinsatz-Mittelwert liegen, während die Männer 16 ms nach 0 bzw. 34 ms nach den Frauen einsetzen. Insbesondere Sängerin Nr. 14 scheint die Rolle einer Stimmführerin eingenommen zu haben. Sie setzt im Mittel deutlich früher ein als alle anderen Sängerinnen und Sänger, während ihr die unmittelbar benachbarten Sängerinnen nach und nach zu folgen scheinen.



**Abb 11:** Darstellung der Mittelwerte der Abweichungen in ms (+/- 2 SE) für alle 15 Sängerinnen und Sänger im Vergleich

## Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse erheben keinen Anspruch auf Verallgemeinerbarkeit. Dennoch lässt die Analyse der Daten interessante Schlussfolgerungen zu, die auch von anderen Forschern aufgezeichnet wurden: So werden Intervallsprünge oft überschätzt und anschließend ausgeglichen. Aufwärts verlaufende Melodien werden anders intoniert als abwärts. Es lässt sich ein kollektiv synchronisiertes Vibrato (hier nur bei Frauenstimmen) beobachten, welches auch von Jers & Ternström (2005) beschrieben wird. Das ist bemerkenswert, weil man bisher noch nicht erklären kann, wie die Kontrolle dieser kollektiven, gekoppelten Vibrati funktioniert.

Das Timingverhalten lässt vermuten, dass sich die Chormitglieder an Führungstimmen orientieren. Im untersuchten Chor waren die Männerstimmen insgesamt nicht so gut ausgebildet wie die Frauenstimmen, die über die Dauer des ganzen Stückes im Durchschnitt alle früher einsetzten als die Männer. Die Unterschiede konnten durch die Einzelanalysen und auch im Vergleich der Männer- und Frauenstimmen herausgestellt werden. Die teils großen individuellen Abweichungen im Chor gehen jedoch vom Höreindruck im Gesamtklang unter. Durch Verdeckungseffekte und den sogenannten „chorus effect“ (Jers & Ternström 2005, S.1) werden offensichtlich viele Ungenauigkeiten ausgeglichen oder geglättet, sodass ein einheitlicher homogener Gesamtklang entstehen kann.<sup>5</sup>

Hier unterscheidet sich das Intonations- und Timingverhalten im Chor erheblich vom Sologesang. Insbesondere die Intonationsfähigkeit ist im hohen Maße von der auditorischen Kontrolle abhängig. Beim Singen im Chor erreicht das Gehör allerdings nicht nur der Schall der eigenen Stimme, sondern auch der anderer Chormitglieder. Da sich die Sängerinnen und Sänger aus diesem Grund nicht zu jedem Zeitpunkt auf die auditorische Kontrolle ihrer Intonation verlassen können, ist anzunehmen, dass die kinästhetische Kontrolle beim Chorsingen zumindest zeitweise eine höhere Bedeutung zukommt als es beim Sologesang der Fall ist.

---

<sup>5</sup> Dies mag ein Grund dafür sein, dass Jers (2004) in seinen Untersuchungen keine statistisch messbaren Unterschiede zwischen den Aufnahmen eines Amateurchores und einem professionellen Chor aufdecken konnte.

Burnett et al. (1997) folgend, muss es unterschiedliche Mechanismen der kinästhetischen und auditorischen Kontrolle geben, wobei die Kontrollfähigkeiten in erheblichen Maße durch Erfahrungen und Schulung entwickelt werden (dazu auch Grell et al. 2009). Mit den hier vorgestellten Methoden ließen sich die Frage nach dem geschulten Hören beim Singen und weitere Forschungsfragen auch in kleinerem Rahmen untersuchen, um nicht zuletzt durch eine erweiterte Stichprobe zu verallgemeinerbaren Ergebnissen zu kommen, die das Innenleben des Chorgesangs weiter ausleuchten.

### **Literatur**

Burnett, Theresa A.; Senner, Jill. E. & Larson, Charles R. (1997): Voice F0 responses to pitchshifted auditory feedback. A preliminary study. In: *Journal of Voice*, 11, pp. 202–211.

Grell, Anke; Sundberg, Johan; Ternström, Sten; Altenmüller, Eckart & Ptok, Martin (2009): Rapid pitchcorrection in choir singers. In: *Acoustical Society of America*, 126 (407), pp. 407-413.

Jers, Harald (2004). *Vom Laienchor zum Profichor - Mehrkanalanalyse akustischer Unterschiede*. Stockholm: Manuskript.

Jers, Harald & Ternström, Sten (2005): Intonation analysis of a multi-channel choir recording. *Speech, Music and Hearing*. In: *Quarterly Progress and Status Report (TMH-QPSR)*, 47 (1), pp. 1-6.

Rasch, Rudolf (1979): Synchronization in performed ensemble music. In: *Acustica*, 43, pp. 121-131.

Rasch, Rudolf (1985): Perception of melodic and harmonic intonation of two-part musical fragments. In: *Music Perception*, 2, pp. 441-458.

Rasch, Rudolf (1988): Timing and synchronization in ensemble performance. In: Sloboda, John (Eds.). *Generative processes in music: The psychology of performance, improvisation and composition*. Oxford: Clarendon, pp. 70-90.

Sundberg, Johan (1989): *Synthesis of Singing by Rule*. In: *Current Directions in Computer Music*, MIT Press, Cambridge/Mass., o.A.

### **Software:**

<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>

<http://www.elec.qmul.ac.uk/people/simond/beatroot/index.html>