

Wirkungen des Chorsingens auf die cardiorespiratorische Koordination und das subjektive Befinden bei Erwachsenen

Thomas Marti

Akademie für Waldorfpädagogik, Mannheim, Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG. Gegenstand der vorliegenden Studie ist die simultane und immediate (unmittelbare) Wirkung des Chorsingens auf die cardiorespiratorische Koordination und das Befinden von Erwachsenen. Anlass ist die Frage nach der Wirkung von künstlerischen Aktivitäten in der pädagogischen Praxis der Waldorfpädagogik. Neben der Sprachgestaltung ist das Singen eine künstlerische Disziplin, die ausgeprägt rhythmisch mit der Atmung arbeitet, weshalb zu erwarten ist, dass auch ein Effekt auf die rhythmische Organisation nachzuweisen ist.

Methode: Die Untersuchung wurde an 22 freiwilligen und gesunden Laiensängern durchgeführt (8 Männer, 14 Frauen; mittleres Alter 33 ± 10 Jahre). Mittels eines tragbaren Recorders wurde bei allen Probanden während 90 Minuten ein EKG aufgezeichnet: für 15 Minuten bei sitzender Ruhe vor dem Chorsingen (Basiswerte), während 60 Minuten Chorsingen und abschließend wieder für 15 Minuten bei sitzender Ruhe. Zur Kontrolle wurden die Messungen am Folgetag bei nicht-singenden Aktivitäten wiederholt. Zu allen Messphasen füllten die Probanden einen Fragebogen zu ihrem jeweiligen Befinden aus (10-stufige VSA).

Ergebnisse: Das Chorsingen bewirkt eine auffallende interindividuelle Synchronisation der Pulsfrequenzen; die mittlere Pulsrate ist während des Chorsingens gegenüber den Ausgangswerten signifikant erhöht ($p < 0.0001$), sinkt danach aber unter die Ausgangswerte ($p < 0.05$). Die Atemfrequenz sinkt beim Chorsingen ($p = 0.8$), erhöht sich danach um rund 3 Atemzüge/Minute ($p < 0.0001$). Auch die übrigen Parameter im Zeitbereich (SDNN, RMSSD, pNN50%) zeigen im Vergleich zu den Ruhewerten und der Kontrolle eine signifikante Wirkung des Chorsingens. Während des Chorsingens ist eine signifikante Erhöhung des Puls/Atem-Quotienten ($p < 0.005$) sowie der Vegetativen Balance ($p < 0.005$) zu verzeichnen, nach dem Chorsingen vermindern sich die beiden Werte und liegen dann unter den Ausgangswerten. Subjektiv berichten die Probanden über eine Steigerung des Wohlbefindens während und nach dem Chorsingen; gegenüber den Kontrollaktivitäten steigert sich die relative Befindlichkeit durch Chorsingen um den Faktor 2,7.

Schlussfolgerungen: Aus den Ergebnissen kann der Schluss gezogen werden, dass das Chorsingen eine simultane und immediate Rhythmisierung der gesunden erwachsenen Sänger bewirkt und einen regenerativen Effekt zeitigt. Die gesundheitliche Relevanz der Ergebnisse wird diskutiert. Zum Schluss werden Fragestellungen für weitere Forschungen formuliert.

Schlüsselwörter: Cardiorespiratorische Koordination, physiologische Dreigliederung, Herzfrequenzvariabilität, vegetative Balance, Puls/Atem-Quotient, Befinden, Chorsingen, Waldorfpädagogik

ABSTRACT. The subject of the present study is the simultaneous and immediate effect of choral singing on the cardiorespiratory coordination and well-being of adults. The motive is the questioning of the effect of artistic activities in the practice of Waldorf education. In addition to the recitation of poetry, singing is an artistic discipline that works eminently with rhythmic breathing. It is therefore to be expected that an effect is demonstrated in the rhythmic organization.

Method: The study was carried out in 22 healthy volunteers and amateur singers (8 men, 14 women, mean age 33 ± 10 years). Using a portable recorder ECGs were recorded in all subjects for 90 minutes: quiet sitting for 15 minutes, choral singing for 60 minutes, and lastly quiet sitting once again for 15 minutes. The measurements were repeated the following day for non-singing activities for a control comparison. A questionnaire was completed following each phase about each subject's particular subjective condition (10-step VSA).

Results: The choral singing effects simultaneously a striking inter-individual synchronization of heart rate, and the average pulse rate is significantly increased during the chorus singing compared to the baseline ($p < 0.0001$), thereafter it falls below the baseline values ($p < 0.05$). The respiratory rate decreases with the choral singing ($p = 0.8$), thereafter it is increased by about 3-breaths/minute ($p < 0.0001$). In comparison to the basic values and the control the other parameters in the time domain (SDNN, RMSSD, pNN50%) differ significantly from the values during choral singing. During the choral singing a significant increase in heart rate/respiratory quotient ($p < 0.005$) can be observed, and in the autonomic balance as well $\ln\text{LF}/\text{HF}$ ($p < 0.005$): both are reduced after choral singing and lie below the baseline. Subjectively, subjects reported an increase in their well-being during and after the choir singing compared to the control activities. The relative sensitivities are heightened by choral singing by a factor of 2.7.

Conclusions: The results can be concluded that choral singing causes a simultaneous and immediate rhythmic coordination of healthy adult singers with a regenerative effect. The relevance for health is discussed. Finally, questions for further research are formulated.

Key words: Cardiorespiratory Coordination, Physiological Threefoldedness, Heart Rate Variability, Autonomic Balance, Well-being, Choral Singing, Waldorf Education

1. Einleitung

Rhythmisch-künstlerische Unterrichtsmethoden haben in der Waldorfpädagogik eine zentrale salutogenetische Bedeutung (Marti 2006). Die Grundlagen dafür liegen in der anthroposophischen Anthropologie, insbesondere in der funktionellen Dreigliederung des Organismus (1) in das Nerven-Sinnes-System (NSS), (2) das Stoffwechsel-Gliedmaßen-System (SSG) und (3) das Rhythmische System (RhS). Dabei stehen das NSS und das SSG in einem „polarischen“ Verhältnis zueinander und werden durch das RhS in ihrem Gegensatz vermittelt und ausgeglichen (Steiner 1922, Seite 43f). In der anthroposophischen Medizin werden viele Krankheitsprozesse als einseitiges Überhandnehmen des NSS resp. des SSG verstanden und therapeutisch über das RhS zu einem heilenden Ausgleich geführt. Deshalb kommt in der anthroposophischen Medizin auch der Kunsttherapie eine entsprechend große Bedeutung zu.

Aus den gleichen Gründen gehört die Arbeit mit dem Rhythmus auch zu den Schlüsselementen der Methodik-Didaktik der Waldorfpädagogik (Steiner 1919). Erwartet wird dadurch eine „heilende“ Wirkung auf die Entwicklung der Kinder, namentlich ungefähr in der Altersspanne zwischen Einschulung und beginnender Adoleszenz, während der das RhS seine Reifezeit hat und zur so genannten Herz/Atem-Reife führt (Marti 2006).

Bisher gibt es nur sehr spärliche empirische Untersuchungen zu diesem Themenkomplex, insbesondere zur Wirkung des rhythmisch-künstlerischen Unterrichts auf die Physiologie des RhS. Da das Singen und künstlerische Sprechen wohl am ausgeprägtesten mit der Atmung arbeitet (Steiner 2006, Seite 19f), ist das Singen und seine Wirkung auf die rhythmische Organisation, besonders der Herzfrequenzvariabilität, Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Da Sologesang vor Zuhörern in aller Regel mit zusätzlichem Stress verbunden ist (Fechir et al. 2008), wählten wir für die vorliegende Studie das Singen im Chor. Aus praktischen Gründen wird die Untersuchung zunächst an Erwachsenen durchgeführt, um später an Schulkindern fortgeführt zu werden.

2. Kontext

Die erziehungswissenschaftlich ausgerichtete Pädagogik unserer Gegenwart fokussiert meist auf schulische Bildungsprozesse und ist dazu hauptsächlich an Fragen des kognitiven, emotionalen und sozialen Lehrens und Lernens interessiert. Die Themen werden dabei weitgehend empirisch und nach dem methodischen Vorbild *naturwissenschaftlicher* Forschung bearbeitet. Gleichzeitig sind diese Themen aber auch einem *geisteswissenschaftlichen* Bildungsbegriff verpflichtet und an Kompetenzen wie Wissen, Urteilsfähigkeit, soziale Verantwortung, ästhetische Bildung etc. orientiert. Physiologische Vorgänge während des Lernens und damit eine Entwicklung und Bildung des Leibes stehen dabei kaum im Vordergrund (außer etwa in der Sportpädagogik). Althans stellt dazu fest, dass die Bedeutung des Körpers für das Lernen ein „*weitgehend unerforschtes Gebiet der Erziehungswissenschaft*“ darstellt (Althans 2009: 480), und Rittelmeyer sah sich veranlasst, gar von einer „*Leibvergessenheit der Pädagogik*“ zu sprechen (Rittelmeyer 2002:12).

Die in der Praxis bewährte Waldorfpädagogik ist in ihren theoretischen und wissenschaftlichen Grundlagen nur wenig entwickelt (Schieren 2010) und beruht vielfach auf bloßer Plausibilität und ritualisierter Tradition, was z.B. den Diskurs mit den Erziehungswissenschaften erheblich erschwert. Dies gilt beispielhaft für die Wirksamkeit des rhythmisch und künstlerisch gestalteten Unterrichts als einem Kernelement waldorfpädagogischer Methodik und Didaktik (Wiechert 2010).

Anthropologisch relevante Anknüpfungspunkte für einen Wirksamkeitsnachweis rhythmologischer Elemente in der Waldorfpädagogik¹ ergeben sich beispielsweise aus der chronomedizinischen Forschung, wie sie auf Steiner zurückgeht und hauptsächlich durch Hildebrandt und Mitarbeiter vorangetrieben wurde (siehe zur Übersicht: Hildebrandt et al 1993, Hildebrandt 1999, Marti 2006, Roßlenbroich 1994, Schad 1994). Im Zentrum steht dabei die Rhythmische Organisation des Menschen, die als koordinierender und integrierender Bereich sowohl psychischer als auch organismisch-vitaler Prozesse aufgefasst wird. Die Rhythmische Organisation mit Herz-Kreislauf und Atmung ist damit ausgesprochen psycho-somatischer Natur (Girke 1999, Heusser 2002). So stehen z.B. abbauende (anabolische) und aufbauende (katabolische) Organprozesse in enger Wechselwirkung mit dem Wechsel physischer und psychischer Ermüdung und Erholung. Die meisten dieser rhythmisch koordinierten Prozesse haben „ihre Zeit“ und zeigen je nach Funktionsbereich unterschiedliche Frequenzen (vom Sekunden- und Minutenbereich bis hin zu circalunaren und circaannualen, d.h. monatlichen und jahreszeitlichen Rhythmen). Wie Hildebrandt und seine Mitarbeiter gezeigt haben, kommt dem rhythmischen Funktionssystem des Menschen, namentlich repräsentiert durch das Zirkulations- und Respirationssystem, eine zentrale Rolle bei der Koordination gesamtorganismischer Vorgänge zu (Übersicht bei Rohen & Lütjen-Drecoll 2005). In der anthroposophischen Pädagogik steht die Entwicklung und Förderung der Gesundheitsfähigkeit des individuellen Menschen im Fokus (Marti 2006; Zdražil 2000).

Ein kennzeichnendes Merkmal organismischer Rhythmen ist deren adaptive Variabilität in Abhängigkeit von inneren und äußeren Faktoren. Ein gesunder Organismus ist u.a. durch eine optimale reaktive rhythmische Anpassungsfähigkeit ausgezeichnet, die er im Wechsel von ergotropen (leistungsorientierten) und trophotropen (erholungsorientierten) Prozessen durchläuft. In der Regel werden die ergotropen Vorgänge beim Menschen vom Sympathikus gesteuert, die trophotropen dagegen vom Parasympathikus bzw. *N. vagus*. Halten sich beide Antagonisten im rhythmisch-dynamischen Gleichgewicht, spricht man von der *vegetativen Balance*. Diese ist z.B. dann gegeben, wenn sich nach einer bestimmten Leistungsphase und der damit einhergehenden Ermüdung eine ausreichende vagotone Erholungsphase einstellen kann, die wiederum zur Entfaltung einer optimalen sympathicotonen Leistungsfähigkeit führt usw. Stress etwa zeichnet sich durch eine übermäßige Leistungsbereitschaft (Ergotropie) bei gleichzeitigem Mangel an Regenerationsfähigkeit (Trophotropie) aus, was bei chronischer Ausprägung zu einer Somatisierung in Gestalt von Erkrankungen des Herzens bis hin zum Myokardinfarkt führen kann (Heckmann & Engelke 1999).

1. Zu denken ist hier etwa an Kunstfächer wie Eurythmie, Musik und Singen, chorisches Rezitieren, Malen, Plastizieren etc, dazu besonders die rhythmisch-künstlerische Unterrichtsführung, das Bewegte Klassenzimmer, die Einrichtung des Stundenplans, die epochenweise vertiefende Behandlung vieler Unterrichtsstoffe, die curriculare Orientierung an Entwicklungsrhythmen (wie den so genannten Jahrsiebten), usw.

Da das vegetative Nervensystem mit Sympathikus und Parasympathikus den ganzen Organismus durchzieht, ist auch die Ausprägung der vegetativen Balance eine Eigenschaft des gesamten Organismus. Deshalb sind auch die Rhythmen der cardiorespiratorischen Koordination eine Folge des sympathicovagotonen Antagonismus und äußern sich bspw. in der Zeitkoordination von Herzpuls und Atemfrequenz (ausgedrückt im so genannten *Puls/Atemquotient* $Q_{p/A}$). Diesem Parameter wird in der anthroposophischen Medizin wegen seines regulativen Werts eine zentrale diagnostische Bedeutung zugemessen (Heckmann 2001). Eine in neuerer Zeit verbreitet angewendete Beschreibungsgröße ist die *Herzfrequenzvariabilität* (HRV = *Heart Rate Variability*; Task Force 1996). Der HRV liegt zugrunde, dass sich der Herzpuls bei der Inspiration (Einatmung) leicht beschleunigt, bei der Expiration (Ausatmung) dagegen wieder etwas verlangsamt (Hirsch & Bishop 1981). Dadurch überlagert der Atemrhythmus den Herzrhythmus und führt hier zur so genannten *respiratorischen Sinusarrhythmie* RSA. Durch bewusstes Atmen lässt sich damit die Herztätigkeit modifizieren und damit mittelbar auch die vegetative Balance beeinflussen.

Eine therapeutische Wirkung bewusst geführter Atmung durch Sprechen konnte in mehreren Untersuchungen nachgewiesen werden (v.Bonin et al. 2001; Bettermann et al. 2002). Ähnliche Wirkungen zeigten sich auch beim Beten des Rosenkranzes oder bewussten Sprechen anderer Mantren (Bernardi et al 2001). In den Studien zur Sprachtherapie zeigte sich, dass Interventionen die HRV sowohl simultan wie auch immediat beeinflussen, und zwar je nach Wahl der Sprechtexte entweder trophotrop (erholend) oder ergotrop (leistungsorientiert): So führte die Rezitation von Hexametern beim Sprechenden zu einer trophotropen Auslenkung seines Gesamtzustandes, wie er auch für die regenerativen Phasen während des Nachtschlafes kennzeichnend ist, während eine Alliteration durch ihren mehr willensbetonten Charakter eine ergotrope Wirkung zeigte. Entsprechend veränderte sich auch das subjektive Befinden der Patienten. Die unterschiedlichen Wirkungen werden durch das unterschiedliche Atmen während des Sprechens von Texten mit unterschiedlichen Versmaßen gedeutet. Regelmäßig und über längere Zeit angewendet entfalten solche Interventionen nachweisbar eine nachhaltige therapeutische Wirkung.

Es ist zu erwarten, dass nicht nur das Rezitieren und Deklamieren Effekte auf die rhythmische Organisation zeigt, sondern auch das Musizieren und insbesondere das Singen. Wie Seifert et al. gezeigt haben, ergeben sich auch durch Eurythmie signifikante Wirkungen auf die HRV (Seifert et al 2008). Außerhalb der anthroposophisch motivierten Forschung gibt es eine umfangreiche Literatur zur Wirkung des Musizierens. Unter pädagogischen Aspekten richten sich die Hauptfragen dabei besonders auf die Förderung von kognitiven, emotionalen und sozialen Fähigkeiten. Die meisten Befunde belegen dabei einen eindeutig positiven Effekt von aktivem Musizieren auf die *emotionale* und *soziale* Entwicklung sowie auf das aktuelle Wohlbefinden. Hingegen sind die Ergebnisse hinsichtlich einer Förderung *kognitiver* Fähigkeiten durch Musik ernüchternd, da prospektive Studien dazu weitgehend fehlen. Insbesondere gibt es bis heute keine schlüssigen Belege für einen Effekt von aktivem Musizieren auf sprachliche, mathematische oder räumlich-visuelle Leistungen oder auf die allgemeine Intelligenz (siehe zum Forschungsstand: BMBF 2006).

Neuere Untersuchungen zur Wirkung des *aktiven* Musizierens auf *körperliche* Vorgänge sind erstaunlich spärlich. So konnte etwa Altenmüller bei professionellen Musikern einen neurologischen Effekt auf die Integration der sensomotorischen und auditiven Netzwerke, deren Arealgröße und damit eine adaptive Plastizität des Gehirns nachweisen (Altenmüller 2008). Auch Untersuchungen zur physiologischen Wirkung des Singens sind kaum zu finden (siehe die Übersichten z.B. bei Clift et al. 2008; Ellis et al 2010). Kreutz et al. (2005) sowie Beck et al. (2006) konnten zeigen, dass Chorsingen bei Amateursängern neben einer Zunahme des subjektiven Wohlbefindens zu einer Stimulation der Sekretion von Immunglobulin A (IgA) und zu einer Reduktion von Cortisol (ein so genanntes Wach- und Stresshormon) führt. Grape et al. (2003) haben nachgewiesen, dass Singen bei professionellen Sängern und Amateursängern unterschiedliche Effekte hervorruft: Die Analysen der Herzfrequenzvariabilität HRV zeigten im Zeitbereich bei beiden Gruppen signifikante Unterschiede für die Gesamtleistung (Total Power) sowie in den niedrigen und hohen Frequenzbereichen (LF und HF); bei den professionellen Sängern erhöhte sich die Gesamtleistung während der Singstunden, bei den Amateuren blieb diese aber unverändert. Unterschiede zwischen den beiden Gruppen fanden die Autoren auch im subjektiven Befinden nach den Singstunden: die Amateursänger fühlten sich ausgeglichener und entspannter, während die Profis sich nach dem Singen eher angeregt

und energischer fühlten. Die Autoren interpretieren die Ergebnisse mit einer unterschiedlichen cardio-physiologischen Fitness sowie mit einer differentiellen Erwartung der Probanden an das Singen. Weitere Studien konnten nachweisen, dass die Effekte auf die HRV beim bloßen Hören von Klaviermusik im Gegensatz zu aktivem Klavierspielen schwächer oder gar nicht ausgeprägt sind (Nakahara et al. 2009, 2011). Morgenstern hat in seiner Dissertation gezeigt, dass das Hören von Musik die Parameter der HRV sowie das Atmen bei Musikern stärker beeinflusst als bei Nicht-Musikern (Morgenstern 2010). Eine nach Abschluss unserer Studie publizierte Untersuchung zeigt, dass Chorsingen mit einer signifikanten Koppelung der Herz- und Atemrhythmen unter den Sängern einhergeht, und zwar ausgeprägter beim Unisono-Singen als bei mehrstimmigen Stücken. Als Ursache der rhythmischen Kopplung sehen die Autoren neben der Art der gesungenen Musik auch die Rolle des Chorleiters als rhythmischer Koordinator (Müller et al. 2011). Nicht zuletzt sei auch die Untersuchung von Bettermann et al. (1999) erwähnt, die nachweist, dass zwischen den physiologischen Rhythmen und den Rhythmen der Musik Korrelationen vorliegen, die insbesondere unter ethno-musikalischen Aspekten auch kulturelle Elemente in der Herzrhythmik erkennen lässt.

Die referierten Untersuchungen machen offensichtlich, dass am aktiven Musikzieren und Singen zahlreiche endogene und exogene Komponenten sowohl psychischer als auch physiologischer Art beteiligt sind und wir es deshalb beim Singen und aktiven Musizieren mit einem Phänomen höchster Komplexität zu tun haben.

3. Ausgangslage, Fragestellung und Hypothese

Auf Grund chronomedizinischer Erkenntnisse besteht ein berechtigter Anlass anzunehmen, dass rhythmologische Interventionen nicht nur in der Rehabilitation oder in der Kurmedizin von therapeutischer Bedeutung sind, sondern auch eine salutogene Wirkung auf die leibliche Entwicklung heranwachsender Kinder haben. Aus der anthroposophischen Menschenkunde ergibt sich, dass die Reifung der rhythmischen Koordination ihr Zeitfenster in der mittleren Kindheit, im so genannten zweiten Jahrsiebt, hat (Marti 2006). Untersuchungen zur Entwicklung der Korrelation von Puls- und Atemfrequenz deuten darauf hin, dass diese Reifung ungefähr zwischen dem 14. und 16. Lebensjahr abgeschlossen sein dürfte, womit annähernd adulte Verhältnisse erreicht werden (Breithaupt et al. 1980; Matthiolus et al. 1995). Neuere Ergebnisse haben aufgezeigt, dass die Entwicklung im Kindesalter aber nicht linear verläuft, sondern um das ungefähr 7. bis 9. Lebensjahr einen überraschenden Verlauf aufweist (Cysarz et al. 2011). Nicht-lineare Verläufe der HRV zeigen sich auch im späteren Erwachsenenalter (Pikkujamsa et al. 1999).

Obwohl die Methodik-Didaktik an Waldorfschulen explizit auf eine Unterstützung der kindlichen Entwicklung durch einen künstlerisch-rhythmischen Unterricht ausgerichtet ist, gibt es außer vielfältigen Praxiserfahrungen und globalen Einschätzungen bis jetzt keine wissenschaftlich-empirischen Untersuchungen zur spezifischen Wirksamkeit rhythmisch-künstlerischer Tätigkeiten im Schulunterricht.

Da das Singen neben der künstlerischen Sprechschulung („Sprachgestaltung“) wohl diejenige Disziplin ist, in der am intensivsten und ausgeprägtesten mit der Atmung gearbeitet wird, ist zu erwarten, dass sich das Singen sowohl durch simultane (während des Singens) wie auch immediate (d.h. unmittelbar nach dem Singen nachweisbare) Veränderungen rhythmischer Funktionen auswirkt. Wir erwarten, dass sich die aus anderen Studien bekannten positiven Wirkungen auf das Wohlbefinden auch in den cardiorespiratorischen Funktionen niederschlagen. Da die HRV durch zahlreiche endogene und exogene Faktoren beeinflusst wird, kann nicht erwartet werden, dass Langzeitveränderungen prospektiv allein durch das Singen nachgewiesen werden können (siehe dazu auch Clifts et al. 2008).

Aus anderen Forschungsprojekten haben wir die Erfahrung gemacht, dass die Hürden zur Durchführung von EKG-Messungen in vielen Kollegien und der Elternschaft an Waldorfschulen unverhältnismäßig hoch sind. Deshalb fokussiert die vorliegende Studie zunächst auf die Wirkung des Chorsingens auf das Rhythmische System bei Erwachsenen. Mit den Ergebnissen sollen Erkenntnisse erzielt werden, die u.a. eine Fortführung der Studie auch an Schulkindern ermöglichen.

4. Design und Methode

Die Untersuchung ist als prospektive Querschnittstudie mit nachfolgendem Kontrollvergleich konzipiert.

Die Bedingung „Singen im Chor“ wurde gewählt, um zusätzliche Stressmomente beim Sologesang möglichst auszuschalten (Fechir et al. 2008).

Mittels ambulanter EKG-Recorder (MK3-ETA der Firma Tom-Medical, Graz) werden vor, während und nach dem wöchentlichen Chorsingen an der Akademie für Waldorfpädagogik Mannheim bei jeweils 8 Studierenden einmalige EKG-Messungen mit 3-adriger Ableitung vorgenommen. Dem Chorsingen von 60 Minuten Dauer gehen 15 Minuten Ruhe im Sitzen voraus; desgleichen folgen nach dem Chorsingen 15 Minuten Ruhe im Sitzen. Am Folgetag werden zur ungefähr gleichen Tageszeit (± 2 Stunden) ebenfalls einmalige Kontrollmessungen ohne Chorsingen durchgeführt. Dazu gehen die Studierenden ihren für diese Zeit üblichen Tätigkeiten nach. Da die entsprechenden Lehrveranstaltungen zwischen 60 und 90 Minuten dauern, werden die Kontrollmessungen entsprechend dem eigentlichen Chorsingen auf 60 Minuten beschränkt; dauert die Lehrinheit und damit auch die Kontroll-Messung länger, werden für die Auswertung nur die mittleren 60 Minuten berücksichtigt.

Sowohl beim Chorsingen wie auch für die Kontrollmessung füllen die Studierenden einen Kurzfragebogen aus. Neben Angaben zum Geburtsjahr, zu Körpergröße, Körpergewicht, zum aktuellen gesundheitlichen Status (insbesondere chronische oder akute Atem- und Herzbeschwerden oder Allergien, allfällig eingenommene Medikamente) sowie zu eventuell anderweitiger sängerischer Tätigkeit (regelmäßiges Singen außerhalb der Akademie, Gesangsstunden etc.) geben die Studierenden auch eine Beurteilung ihrer subjektiven Befindlichkeit unmittelbar vor, während und nach der Intervention ab (10-stufige visuelle Analogskala; VAS). Die drei abgefragten Aspekte sind: *frisch-müde; entspannt-angespannt; innerlich ruhig-unruhig*.

Während des Chorsingens protokolliert ein Beobachter den Verlauf der Chorprobe. In einem Minutenraster werden insbesondere die Aktivitäten „Singen im Sitzen“, „Singen im Stehen“, „Bewegung“ (z.B. 4-stufige Treppe auf die Bühne steigen) und „Ruhe im Sitzen“ (mit leiser Alltagskonversation, aber ohne Singen) notiert. Dazu kommen Beobachtungen zum Chorprobeverlauf (Einsingen, geprobte Lieder, vom Protokollanten gefühlte Intensität des Gesangs etc.). – Bei den Kontrollmessungen beschränkt sich das Protokoll auf eine einfache Angabe der besuchten Lehrveranstaltung (Seminar, künstlerische/handwerkliche Kurse) bzw. zur Mittagspause.

Schema des Versuchsablaufs:

| | 15' | 60' | 15' |
|-----------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| Intervention | Ruhe (Sitzen) | Chorsingen | Ruhe (Sitzen) |
| Kontrollmessung | Keine | Kontrolle (kein Chorsingen) | Keine |

5. Probanden und Studienverlauf

Die EKG-Aufzeichnungen wurden an 22 freiwilligen Studierenden der Akademie für Waldorfpädagogik Mannheim durchgeführt. Teilgenommen haben insgesamt 8 Männer und 14 Frauen; ihr durchschnittliches Alter beträgt 33 ± 10 Jahre (22-57J). Als Ausschlusskriterien galten akute oder chronische Herzbeschwerden, Atembeschwerden, Allergien (Heuschnupfen, Ekzeme), fachlich diagnostizierte psychische Beschwerden. Alle Probanden erklärten sich für aktuell gesund. Die Studierenden mit Studienziel „Lehrer/Lehrerin“ nahmen während der vorausgehenden 10 Monate regelmäßig am wöchentlichen Chorsingen teil; nur 2 Teilnehmende sangen außerhalb der Akademie in einem weiteren Chor mit oder nehmen darüber hinaus auch privaten Gesangsunterricht. Alles in allem können die Teilnehmenden als gesunde Laiensänger bezeichnet werden.

Den Probanden wurde erklärt, dass mit der Studie die Wirkung des Chorsingens auf die Herztätigkeit

untersucht werden soll und dass zur Kontrolle Messungen am Folgetag zu ungefähr der gleichen Uhrzeit durchgeführt werden müssen. Um die Motivation der Probanden nicht in Richtung der Fragestellung zu beeinflussen, wurden keine weitere Begründungen oder Erklärungen zur Studie abgegeben.

Die Messungen wurden im Juni 2009 in drei Gruppen zu maximal 8 Probanden während der regulären Chorproben jeweils montags (Chorsingen) und dienstags (Kontrolle) in der Zeit zwischen 14.00-15.30 (Chorsingen) bzw. 12.00-15.30 Uhr (Kontrolle) durchgeführt. Jeder Proband konnte nur einmal an der Studie teilnehmen (Chorsingen + Kontrollmessung).

Das Chorsingen fand auf der Bühne des großen Saals der Akademie statt. Rund 5 Minuten vor Messbeginn fanden sich die Studierenden mit bereits aufgeklebten Hautsensoren und Elektrodenkabel im Saal ein, worauf die tragbaren EKG-Geräte angeschlossen und pünktlich um 14.00 Uhr in Betrieb gesetzt wurden. Bis 14.15 Uhr saßen die Probanden im Publikumsraum und füllten ihren Fragebogen aus. Darauf wechselten sie auf die Bühne zur Chorprobe, welche teils im Sitzen, teils im Stehen erfolgte. Nach dem Chorsingen um 15.15 Uhr wechselten die Studierenden wieder in die Publikumsbestuhlung und beurteilten ihr Befinden während der Chorprobe. Um 15.30 Uhr wurden alle Geräte gleichzeitig wieder ausgeschaltet. Die Kontrollmessungen am Folgetag erfolgten individuell während der für die Studierenden regulären Lehrveranstaltungen. Diese waren: Kunst und Handwerk (9), Seminare mit theoretischen Inhalten (8), Mittagspause mit Essen (5).

Während des Chorsingens, an dem regelmäßig rund 25 bis 30 Studierende teilnehmen, wurden nach der Begrüßung und Einleitung durch den Chorleiter und einer Phase des Einsingens (ca. 7-12 Minuten) folgende vierstimmige Lieder geprobt (Angaben des Chorleiters):

- *Irish Blessing*: 4-stimmiger Chorsatz; ruhig-fließend, G-Dur, teils lange Vorhalte und chromatische Rückungen, dadurch in der Stimmung sehr wandlungsfähig.
- *Az ja pojedu*: Chorsatz aus Tschechien, G-Moll, bewegte Begleitstimmen im klaren Rhythmus, Hauptstimme getragen, Hauptstimme wechselt allerdings im Stück von Sopran auf Bass/Tenor.
- *Dana Dana*: Ungarn, D-Dur, sehr bewegt, rhythmisch sehr akzentuiert, fordert hohen Einsatz in stimmlicher und atemtechnischer Hinsicht.

Die Auswahl der Lieder erfolgte nicht studienspezifisch, der Beginn des Einstudierens hatte bereits vor der Studie eingesetzt.

6. Auswertung und statistische Analyse

Aus den EKG-Aufzeichnungen wurden für die einzelnen Sequenzen folgende Parameter ermittelt und ausgewertet:

| | | |
|-----------------|--------------------------------|---|
| Zeitbereich | HR (1/min) | Herzrate (Herzpuls): Anzahl Herzschläge pro Minute |
| | RR (ms) | Zeitabstand zwischen zwei R-Zacken im EKG (= Länge eines Pulsschlages) |
| | AF (1/m) | Atemfrequenz: Anzahl ganzer Atemzyklen (Einatmen und Ausatmen) pro Minute, errechnet aus der respiratorischen Abhängigkeit der Momentanpulsfrequenzen (edr = ecg-derived respiration) |
| | $Q_{P/A}$ | Puls/Atem-Quotient. Verhältnis der Anzahl Pulsschläge pro Atemzug. Ein erhöhter $Q_{P/A}$ deutet auf Ergotropie hin, ein erniedrigter Wert auf Trophotropie. |
| | SDNN (Hz) | <i>Standard Deviation of Normal-to-Normal (= R-R) intervals</i> : Die Standardabweichung über je 5 Minuten artefaktbereinigte RR-Intervalle ist ein Maß für die Gesamtvariabilität über alle Frequenzen im Messbereich. |
| | RMSSD (ms) | Quadratwurzel des quadratischen Mittelwertes der Summe aller Differenzen aufeinander folgender RR-Intervalle; Unterschiedlichkeit aufeinander folgender RR-Intervalle, sagt etwas über den Einfluss des Parasympathikus und damit über den Entspannungsgrad und die Erholungsfähigkeit des Organismus aus. Je höher dieser Wert, desto entspannter ist der Mensch. |
| Frequenzbereich | pNN50 % | Prozentsatz der Intervalle mit mindestens 50 ms Abweichung vom vorausgehenden Intervall. Der Parameter steht für Hochfrequente Veränderung der Pulsfolgen und korreliert mit HF. Höhere Werte weisen auf vermehrte parasympathische Aktivität hin. |
| | LF (Hz) | <i>Low Frequency</i> : Frequenzbereich von 7 – 25 Sekunden (0.04 – 0.15 Hz). Die Leistung in diesem Band wird sowohl vom Parasympathikus (trophotrop) als auch vom Sympathikus (ergotrop) beeinflusst. Der LF-Bereich der Herzfrequenzvariabilität korrespondiert mit der Blutdruckrhythmik mit einer Frequenz von ca. 0.1 Hz. |
| | HF (Hz) | <i>High Frequency</i> : Der HF-Bereich umfasst Schwankungen mit Periodendauern von 2.5 – 7 Sekunden (0.15 – 0.4 Hz). Die Leistung im HF-Band widerspiegelt die Aktivität des Parasympathikus und spiegelt hauptsächlich Herzfrequenzvariationen wieder, die auf Modulation über die Atmung (respiratorische Sinusarrhythmie) zurückzuführen sind. |
| | Power LF (ms ²) | Leistung im LF-Bereich |
| | Power HF (ms ²) | Leistung im HF-Bereich |
| | Total Power (ms ²) | Leistung im gesamten Frequenzbereich von 0.033 – 0.4 Hz |
| | lnLF/HF ratio | Natürlicher Logarithmus des Quotienten von LF und HF: spiegelt das momentane vegetative Aktivierungsniveau des Organismus wieder und ist ein Maß für die vegetative oder sympatho-vagale Balance. Höhere Werte deuten auf eine aktive, leistungsorientierte Einstellung des Organismus, tiefe Werte auf eine trophotrop ausgerichtete. |

Alle aufgezeichneten EKG-Messdaten wurden über die Software SIMPLEVIEWSCIENTIFIC (Version 2.2. Release 14) der Firma TOM-MEDICAL (Graz) in eine MATLAB-Datei exportiert und mit KUBIOSHRV Vers.2.0 der UNIVERSITÄT KUOPIO, BIOSIGNAL ANALYSIS AND MEDICAL IMAGING GROUP, Finnland, artefaktbereinigt. Die von KUBIOSHRV als txt-File ausgegebenen Daten wurden in EXCEL statistisch bearbeitet. Für die Parameter aus dem Frequenzbereich wurde das Modell der schnellen Fourier-Transformation (FFT) gewählt. Da KUBIOSHRV die Funktion zur Berechnung der Atemfrequenz aus der Pulsrate nicht unterstützt, wurden die entsprechenden Werte aus SIMPLEVIEWSCIENTIFIC manuell artefaktbereinigt und zum Puls/Atem-Quotienten $Q_{P/A}$ umgerechnet.

Die Skalenwerte aus der subjektiven Beurteilung des Befindens wurden bei allen drei Aspekten gemittelt, grafisch dargestellt und visuell mit den Ergebnissen aus den EKG-Aufzeichnungen verglichen. Berücksichtigt wurden auch die Ergebnisse jener Studierender, deren EKG-Aufzeichnungen wegen Messfehlern ausgeschieden wurden.

Für die statistische Analyse wurde ein zweiseitiger Zweistichproben t-Test unter der Annahme gleicher Varianzen angewandt und die Signifikanz auf dem 95%-Niveau geprüft. Eingesetzt wurden die statistischen Funktionen des MS EXCEL-Programms für MAC (2004). Für die Berechnung der Signifikanz wurden jeweils die Paare folgender Mittelwerte verglichen: (1) vorgängige Ruhe-Chorsingen (Rv-Ch); (2) Chorsingen-nachträgliche Ruhe (Ch-Rn); (3) vorgängige Ruhe-nachträgliche Ruhe (Rv-Rn); (4) Singen-Kontrolle (Ch-K); vorgängige Ruhe-Kontrolle (Rv-K).

Die Chorprotokolle wurden in ein Aktivitätsdiagramm übertragen und visuell mit den originalen Tachogrammen verglichen.

Drei der insgesamt 22 EKG-Datensätze waren mit Messfehlern behaftet, weshalb für Auswertung nur 19 berücksichtigt werden konnten.

7. Ergebnisse

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse aus den EKG-Messungen während des Chorsingens und der Kontrolle sind in Tabelle 1 wiedergegeben:

| | Ruhe vor | Chorsingen | Ruhe nach | Kontrolle | p | | | | |
|-----------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|
| | Rv | Ch | Rn | K | Rv-Rn | Rv-Ch | Ch-Rn | CH-K | Rv-K |
| Zeitbereich | | | | | | | | | |
| RR(ms) | 712±146 | 654±129 | 737±170 | 740±121 | 0.05 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3 |
| HR (1/min) | 83.5±9.0 | 91.7±11.5 | 81.4±12.1 | 83.4±13.3 | 0.20 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.98 |
| SDNN index (ms) | 69.8±21.6 | 59.5±17.3 | 74.2±20.1 | 71.1±23.4 | 0.96 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.7 |
| RMSSD (ms) | 31.2±13.6 | 26.3±10.3 | 35.5±19.0 | 31.5±14.3 | 0.048 | 0.007 | 0.001 | 0.02 | 0.90 |
| pNN50 (%) | 11.8±9.2 | 7.6±5.4 | 16.2±14.1 | 13.1±10.5 | 0.03 | 0.005 | 0.003 | 0.006 | 0.30 |
| AF (1/min) | 16.1±1.6 | 15.3±1.2 | 18.3±1.2 | 17.3±1.0 | 0.049 | 0.080 | 0.000 | 0.002 | 0.05 |
| Q P/A ratio | 5.2±0.7 | 6.0±0.9 | 4.5±0.7 | 4.9±0.8 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.3 |
| Frequenzbereich | | | | | | | | | |
| LF (Hz) | 0.07±0.02 | 0.06±0.02 | 0.08±0.03 | 0.06±0.02 | 0.35 | 0.14 | 0.05 | 0.60 | 0.30 |
| HF (Hz) | 0.18±0.1 | 0.16±0.03 | 0.2±0.1 | 0.17±0.04 | 0.40 | 0.10 | 0.02 | 0.16 | 0.70 |
| LF (ms ²) | 1500±958 | 1710±1053 | 1780±1365 | 1539±960 | 0.2 | 0.3 | 0.7 | 0.4 | 0.8 |
| HF (ms ²) | 486±371 | 343±246 | 668±304 | 443±321 | 0.03 | 0.09 | 0.02 | 0.07 | 0.5 |
| TotalPower | 0.2±0.1 | 0.16±0.03 | 0.2±0.1 | 0.17±0.04 | 0.4 | 0.1 | 0.02 | 0.16 | 0.7 |
| lnLF/HF ratio | 1.4±0.46 | 1.8±0.9 | 1.3±0.5 | 1.4±0.3 | 0.4 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.9 |

Tabelle 1: Mittelwerte der Messergebnisse während des Chorsingens und der Kontrolle mit der jeweiligen Standardabweichung sowie die p-Werte aus dem t-Test (n = 19 Probanden)

7.1. Verlauf der Herzrate beim Chorsingen

Abbildung 1 zeigt als repräsentatives Beispiel die Originaltachogramme der Probandengruppe I aus der ersten Messwoche mit dem dazu gehörigen Aktivitätsdiagramm. Die Pulsfrequenzen sind über 4 Schläge geglättet, dazu sind die minimalen, maximalen und mittleren Frequenzen dargestellt, gemittelt jeweils über

5 Minuten (ausgezogene Kurven). Die einzelnen Phasen im Probenverlauf sind zur leichteren Lesbarkeit grau unterlegt.

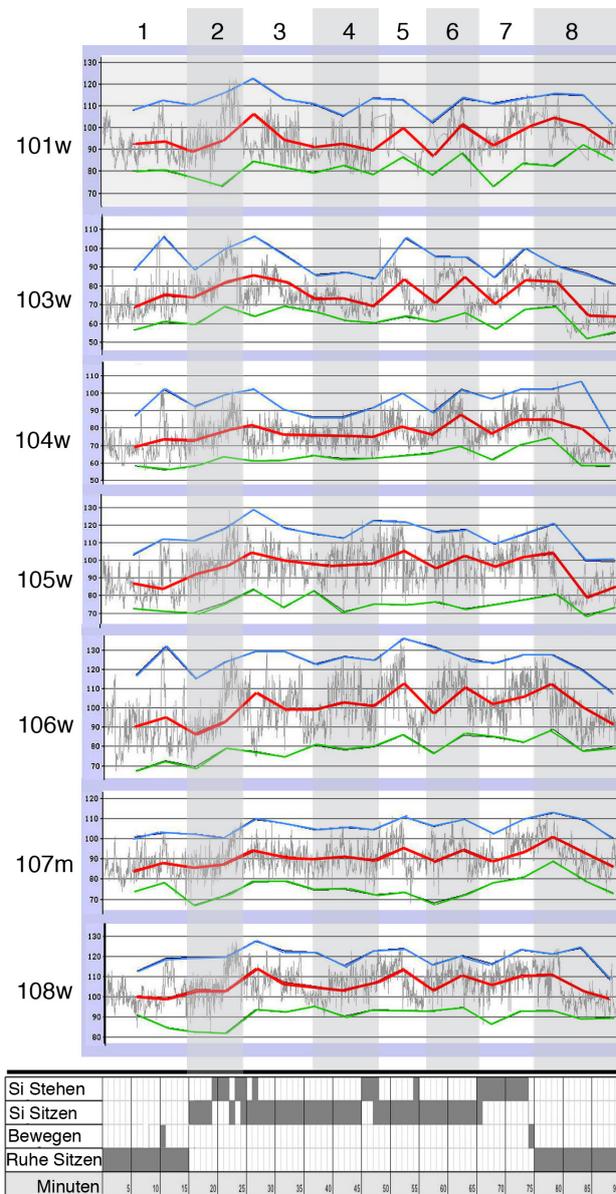


Abbildung 1: Beispiel von Originaltachogrammen mit Minimum-, Mittel- und Maximumwerten (durchgezogene Linien) und dem zugehörigen Aktivitätsdiagramm aus einer 90-Min-Sequenz Chorsingen (Probandengruppe I). Die einzelnen Phasen (1 bis 8) im Ablauf der Chorsequenz sind zur leichteren visuellen Vergleichbarkeit grau unterlegt. Die horizontalen Balken im Aktivitätsdiagramm bedeuten: Si Stehen = Singen im Stehen; Si Sitzen = Singen im Sitzen; Bewegen = Gang auf die Bühne/von der Bühne; Ruhe Sitzen = Sitzen ohne Singen; 101w etc. = Probandennummer und Geschlecht. – Die Zeitachse ist in 5-Minutenabschnitte gegliedert.

Die Tachogramme innerhalb einer Messgruppe beeindrucken durch ihre interindividuelle Synchronizität. Der Verlauf der Herzfrequenzen zeigt dabei vor dem Hintergrund des jeweiligen Aktivitätsdiagramms, dass die Veränderungen nicht zeitgleich mit dem Singen im Stehen oder Sitzen verläuft und deshalb nicht eine Folge der damit verbundenen körperlichen Anstrengung sein kann. So ist bspw. während des Einsingens (Phase 2), obwohl weitgehend ruhig stehend, ein durchgehender allmählicher Anstieg der Pulsfrequenz zu verzeichnen, desgleichen in Phase 5 oder beim konzertanten Durchsingen eines Liedes zum Schluss der Chorprobe (Phase 7). Umgekehrt sinkt der Puls während der sitzend verbrachten Viertelstunde Ruhezeit nach dem Chorsingen (Phase 8) erst nach ca. 10 Minuten wieder auf die Anfangswerte. Auch während der

Phasen sitzenden Singens fallen die Pulsfrequenzen nicht auf die Werte des Sitzens in Ruhe zurück. Aus diesen Gründen können wir den Frequenzverlauf als unmittelbare Folge der singenden Leistung interpretieren.

Zur genaueren Charakterisierung der Frequenzverläufe seien hier einzelne Phasen der Chorprobe noch etwas detaillierter angeschaut und mit den Erlebnisqualitäten während des Probens in Verbindung gebracht:

- In der Phase 1 fällt auf, dass die allermeisten Probanden sehr kurzfristig einen hohen Wert ihres Pulsschlages aufweisen. Diese Ausschläge sind gemäß Beobachtungsprotokoll die Folge des Wechsels von der Bestuhlung im Saal auf die Bühne, wo der Rest der Ruhezeit wiederum sitzend in der Chorbestuhlung verbracht wurde. Der Ausschlag ist hier eindeutig durch eine körperliche Leistung verursacht (Bewegen = Steigen von 4 Treppenstufen).
- In der Phase 2 hat während rund 10 bis 12 Minuten das Einsingen stattgefunden. Bei den allermeisten Probanden steigen die Herzfrequenzen dabei bis auf individuelle Maximalwerte an. Die für das Einsingen eingesetzten Übungen waren gekennzeichnet durch ein relativ leises Singen mit der Forderung des Chorleiters, die Stimme vokalisches ganz durchzutragen und dabei möglichst ganz auszuatmen. Gleichzeitig sollten die Chorsänger auf den dadurch erzeugten Klangraum und seine Weite achten. Das Chorsingen wurde auch vierstimmig (Sopran, Alt, Tenor und Bass) vorbereitet.
- In den Phasen 3 bis 6 war eigentliche Probenarbeit mit Unterbrechungen, korrektiven Anweisungen durch den Chorleiter, Wiederholungen, Üben von Einzelstimmen, teils kurz im Stehen, meist jedoch im Sitzen. Eine Korrelation des Verlaufs der Herzraten mit der Körperhaltung ist nicht zu erkennen.
- In der Phase 7 fand in allen Proben ein konzertantes Durchsingen eines Liedes statt. Der Chorleiter forderte höchste Aufmerksamkeit und Konzentration. Der zuhörende Protokollant erlebte diese abschließende Phase in allen Proben als unüberhörbare Steigerung der musikalischen Konzentration und Intensität des chorischen Gesangs. Bei allen Probanden ist ein deutlicher Anstieg der Pulsfrequenz zu beobachten.
- Während der abschließenden Viertelstunde sitzender Ruhe ohne Singen wirkten die Probanden auf den Protokollanten weder außer Atem noch erschöpft; dennoch zeigen deren Herzfrequenzen noch während ungefähr 5 Minuten Höchstwerte, um sich erst dann deutlich zu verringern und bis zum Schluss ungefähr die Mittelwerte vor der Probe zu erreichen.

Aus der visuellen Analyse der Tachogramme, ihrem Vergleich mit dem Aktivitätsdiagramm und der Berücksichtigung des qualitativ beobachteten Verlaufs der Chorproben ergibt sich, dass sich die Veränderungen der Pulsfrequenzen nicht durch die Körperaktivitäten „Sitzen“ oder „Stehen“ ergeben, sondern hauptsächlich durch das Singen an und für sich. Dabei lässt sich nicht entscheiden, ob sich die beschriebenen Effekte eher durch die erbrachte Atemleistung beim Singen oder durch die eingeforderte mentale Aufmerksamkeit und Konzentration einstellen. Da sich die Herzfrequenzen in der Schlussphase der sitzenden Ruhe erst gegen Ende normalisieren (Phase 8), darf eine immediate (unmittelbare) Wirkung des Singens auf die rhythmische Organisation angenommen werden.

7.2. Ergebnisse aus dem Zeitbereich

Die Ergebnisse aus dem Zeitbereich (siehe Abb. 2) zeigen bei allen Parametern signifikante Unterschiede zwischen dem Chorsingen und der Ruhe vor bzw. nach dem Singen sowie zur Kontrolle. Dabei quantifiziert v.a. die Darstellung zu RR den visuellen Eindruck aus Abb. 1. Die Unterschiede zwischen der Ruhe vor und nach dem Chorsingen sind auf dem 95%-Niveau für RR nur knapp ($p < 0.1$) und für SDNN nicht signifikant: zwischen der Ruhe vor dem Singen und der Kontrolle zeigen sich unter diesen Aspekten keine Unterschiede. Aus diesen Ergebnissen lässt sich der Schluss ziehen, dass Chorsingen im Vergleich zur Ruhe vor und nachher sowie zur Kontrolle eine signifikante Wirkung auf die Herzfrequenzvariabilität im Zeitbereich ausübt.

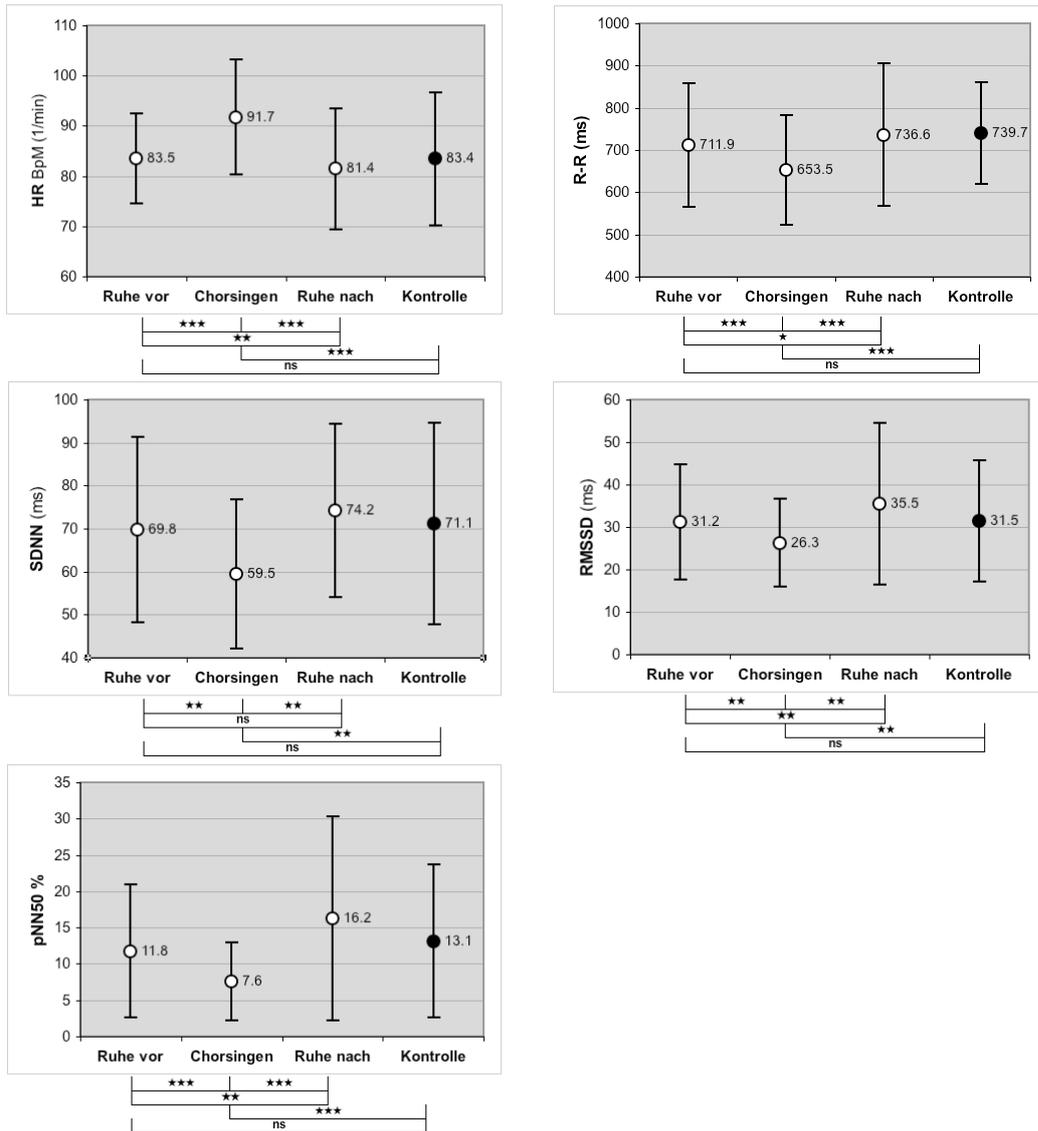


Abbildung 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Messparameter aus dem Zeitbereich sowie die p-Werte aus den jeweiligen Paarvergleichen. ★ p < 0.1; ★★ p < 0.01; ★★★ p < 0.001; ns = nicht signifikant. N = 19 Probanden. Weitere Abkürzungen siehe Text.

Die Atemfrequenz AF wird aus der respiratorischen Abhängigkeit der Atmung von den Momentanpulsfrequenzen (HR) errechnet. Die von SIMPLEVIEWSCIENTIFIC ausgegebenen Werte wurden manuell artefaktbereinigt und mit den HR-Werten zum Quotienten von Puls- und Atemfrequenz $Q_{P/A}$ verrechnet. Der Quotient gibt die pro Messperiode registrierte Anzahl Pulsschläge pro Atemzug an (Abb. 3).

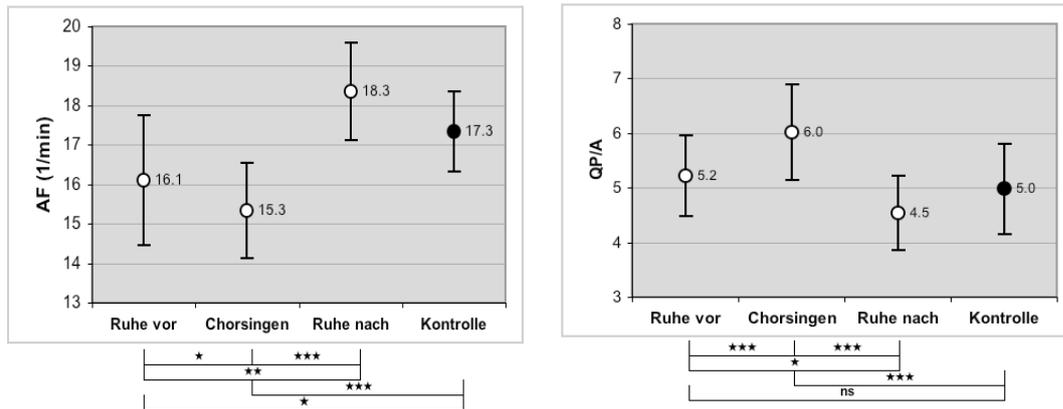


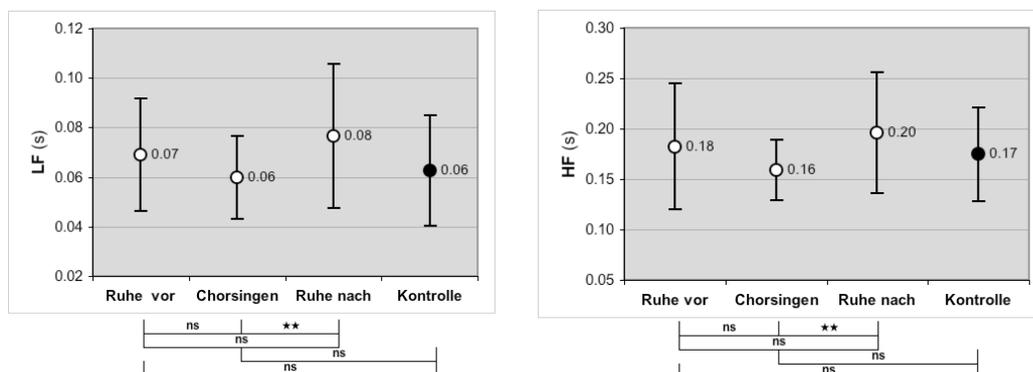
Abbildung 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Atemfrequenz AF und des Puls/Atem-Quotienten $Q_{P/A}$ sowie die p-Werte aus den jeweiligen Paarvergleichen. ★ $p < 0.1$; ★★ $p < 0.01$; ★★★ $p < 0.001$; ns = nicht signifikant. N = 19 Probanden. Weitere Abkürzungen siehe Text.

Die Atemfrequenzen zeigen nach der anfänglichen Ruhephase beim Chorsingen eine leichte und nur schwach signifikante ($p < 0.1$) Verminderung, steigen dann aber während der anschließenden Ruhephase sehr markant an ($p < 0.001$). Auch gegenüber der Kontrollmessung kann eine sehr deutliche Reduktion der Atmung durch das Chorsingen festgestellt werden ($p = 0.002$). Bemerkenswert ist weiter, dass die Atmung während der abschließenden Ruhephase gegenüber der Ruhe vor dem Chorsingen stark erhöht ist ($p < 0.05$). Insgesamt zeigt der Verlauf der AF ein den HF-Werten im Frequenzbereich ähnliches Bild, mit denen die Atmung auch physiologisch korrelieren (siehe unten Abb. 4). Alle hier festgestellten Atemfrequenzen liegen im Normbereich von Erwachsenen in Ruhe (ca. 12 bis 18 Atemzüge/Minute).

Ein vergleichbares, aber reziprokes Bild zeigen auch die Werte für $Q_{P/A}$. Am deutlichsten ist auch hier der Unterschied zwischen Chorsingen und der anschließenden Ruhephase ($p < 0.0001$). Zwischen der Kontrollmessung und der Ausgangsruhe gibt es keine Unterschiede.

7.3. Ergebnisse im Frequenzbereich

Die Ergebnisse für die Parameter aus dem Frequenzbereich zeigen (mit Ausnahme von LF Power, s.u.) ähnlich laufende Werte (Abb. 4): Nach der anfänglichen Ruhephase nehmen die Werte beim Chorsingen ab, um zur darauf folgenden Ruhephase über die Anfangswerte anzusteigen. Zwischen dem Chorsingen und der anschließenden Ruhe ergeben sich signifikante Unterschiede auf dem 95%-Niveau. Bei der vegetativen Balance $\ln LF/HF$ ist der Verlauf reziprok: hier zeigt das Chorsingen höchste und die Ruhe davor und danach Tiefstwerte an. Die Paarvergleiche Rv-Rn, Ch-Rn, Rv-Ch und Ch-K sind nur teilweise signifikant. Zwischen der Ruhephase vor dem Singen und der Kontrolle ist unter keinem Aspekt ein Unterschied festzustellen. – Zu bemerken ist, dass der Verlauf der LF-Werte während der Intervention und im Vergleich zur Kontrolle keine signifikanten Unterschiede zeigen.



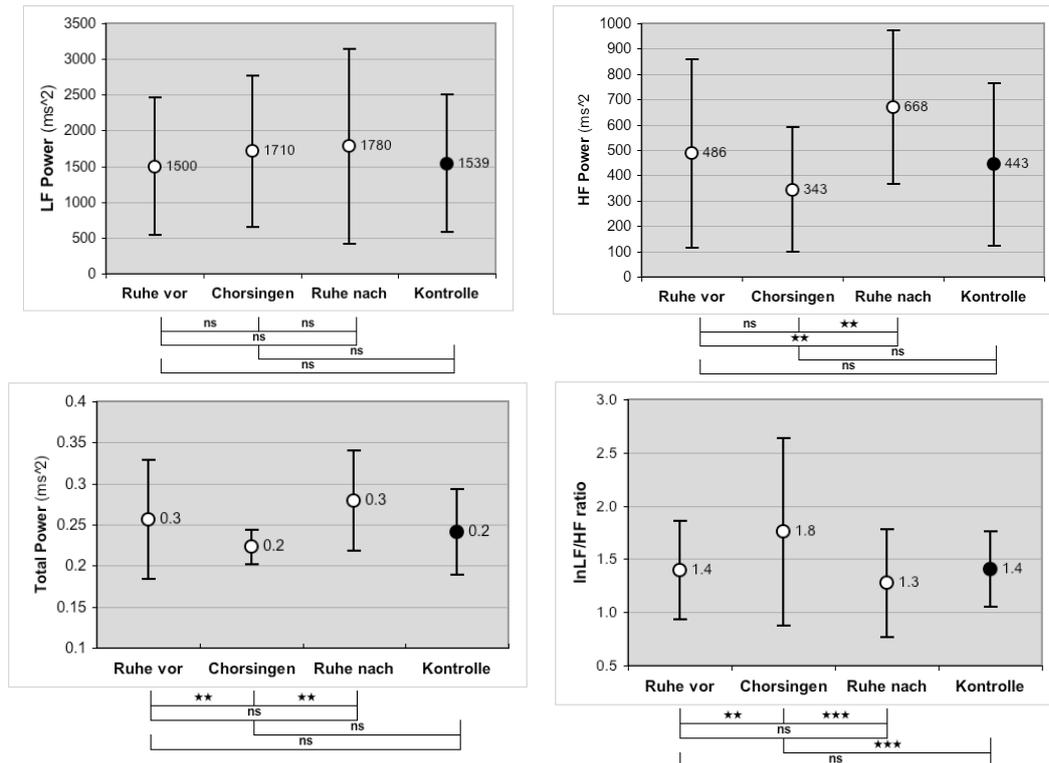


Abbildung 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Messparameter aus dem Frequenzbereich sowie die p-Werte aus den jeweiligen Paarvergleichen. ★ p < 0.1; ★★ p < 0.01; ★★★ p < 0.001; ns = nicht signifikant. N = 19 Probanden. Weitere Abkürzungen siehe Text.

7.4. Subjektives Befinden beim Chorsingen und der Kontrolle

Die drei abgefragten Aspekte zum Befinden „Entspannung-Anspannung“, „Frische-Müdigkeit“ und „innere Ruhe-innere Unruhe“ mussten von den Probanden vor, während und nach dem Chorsingen bzw. der Kontrolle auf einer 10er-Skala beurteilt werden. Je entspannter, frischer und ruhiger sich die Probanden fühlen, desto höher fallen die angekreuzten Skalenwerte aus.

Die Ergebnisse für das Chorsingen zeigen eine Zunahme des Befindens in allen drei Aspekten von rund 2 Punktwerten, während der Kontrollen sind die Zunahmen nur etwa halb so groß (siehe Abbildung 5): Die Skalenwerte für das subjektive Befinden nehmen im Mittel in allen drei Aspekten während des Chorsingens um knapp 2 Punkte zu. Bei den nicht-singenden Kontrolltätigkeiten liegen die Befindensveränderungen zwischen +0,5 und +0,8 Punktwerten. Von den 22 Probanden fühlten sich lediglich 3 durch das Chorsingen in ihrem Befinden beeinträchtigt, im Vergleich zu 8 Probanden bei einer nicht-singenden Tätigkeit. Dabei ist zu berücksichtigen, dass hierbei 9 Probanden einer künstlerisch-handwerklichen Tätigkeit nachgingen, 8 Probanden eine theoretische Lehrveranstaltung besuchten und 5 Probanden die Befindlichkeit während ihrer Mittagspause beurteilten.

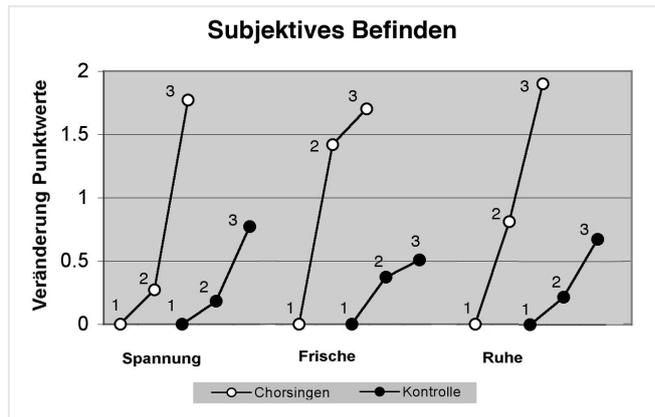


Abbildung 5: Subjektives Befinden vor (1), während (2) und nach (3) dem Chorsingen bzw. der Kontrolle. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Veränderungen sind die Ausgangswerte (1) jeweils auf 0 gesetzt. N = 22 Probanden.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass subjektive Einschätzungen mit einer gewissen Unschärfe behaftet sind (zufälliger Fehler). Da es sich beim Vergleich Chorsingen-Kontrolle um jeweils die gleiche Probandengruppe handelt, kann ein *Selektionsbias* (Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand etc.) ausgeschlossen werden. Da hingegen das Chorsingen eine durch den Chorleiter recht straff geführte und intensive Gruppenaktivität mit hohen Anforderungen an Aufmerksamkeit und Einsatz darstellt, ist nicht auszuschließen, dass sich dadurch Unterschiede zum Befinden bei einer nicht-chorischen Tätigkeit zeigt (*Performance Bias*). Weiter ist bei der Interpretation der gefundenen Unterschiede zu berücksichtigen, dass aktives Musizieren das Befinden generell stärker beeinflussen kann als die von den Probanden berichteten Tätigkeiten während der Kontrollmessungen. Da zudem die Probanden Studierende der Waldorfpädagogik sind und ihnen grundsätzlich bekannt sein dürfte, dass künstlerische Tätigkeiten sich positiv auf die psychische Verfassung auswirken (sollten) und darüber hinaus bei den Studierenden auch beliebt sind, ist auch denkbar, dass ihre Einschätzung des Befindens während des Chorsingens von einer positiven Wertung ausgeht und damit vorurteilsbelastet ist. Gegen diese Möglichkeit eines *motivationalen Bias* spricht allerdings, dass weder das Chorsingen noch die Kontrollen speziell für die Studie veranstaltet wurden und den teilnehmenden Studierenden die Absicht für die EKG-Messungen auch nur in groben Zügen bekannt war. Wir können deshalb davon ausgehen, dass die Studierenden eher „nebenher“ als speziell für die Anliegen der Studie teilnahmen. Die Möglichkeit für eine Verzerrung der vorliegenden Ergebnisse durch die Motivation bzw. Einstellung der Probanden kann als gering eingestuft werden.

Aus den drei Aspekten kann gefolgert werden, dass sich die Probanden nach dem Chorsingen generell entspannter, erfrischter bzw. weniger müde und innerlich ruhiger fühlten als vorher, und zwar im Mittel um den Punktwert 2,7 (Entspannung: 2; Frische: 3; Ruhe: 3) gegenüber einer nicht-singenden Tätigkeit (künstlerisch-handwerklich, theoretisch, Mittagspause mit Essen). Dieses Ergebnis entspricht auch den Ergebnissen von Kreuz et al. (2004) über eine ähnlich positive Wirkung des Chorsingens auf das Wohlbefinden von Erwachsenen (siehe auch die Übersicht bei Clift et al [2008]).

8. Diskussion und Schlussfolgerung

In unserer Studie untersuchen wir den Einfluss des Chorsingens auf die cardiorespiratorische Koordination und das Befinden von gesunden erwachsenen Laiensängern. Wir gehen dabei davon aus, dass die rhythmischen Regulation namentlich durch das Herz- und Atmungssystem antagonistische Prozesse wie Aufbau und Abbau (Anabolismus und Katabolismus), Akzeleration und Retardation, Bewegung und Ruhe oder Ermüdung und Erholung (Ergotropie und Trophotropie) zu einem dynamischen Ausgleich bringt und dass dadurch die Funktionen des Nerven-Sinnes-Systems und des Stoffwechsel-Gliedmaßen-Systems durchdrungen und in ihrer je einseitigen Tendenz rhythmisch gleichsam „gemittelt“ werden. Entsprechend wird dem Rhythmischen System auch pädagogisch, besonders in methodisch-didaktischer Hinsicht, eine zentrale salutogenetische Bedeutung beigemessen (Marti 2006, Rittelmeyer 2002, Schad 1994).

Zunächst finden wir beim Chorsingen eine bemerkenswerte interindividuelle Synchronizität im Verlauf der Pulsfrequenzen (Abb. 1). Ein Vergleich mit den jeweils zugehörigen Aktivitätsdiagrammen zeigt, dass das Stehen bzw. Sitzen während des Singens keinen bemerkbaren Einfluss auf die Herzaktivität hat und diese deshalb als Folge des gemeinsamen Singens interpretiert werden kann. Dabei ist nicht auszuschließen, dass sich in den synchronen Herzraten nicht nur das chorische Singen an sich, sondern auch die koordinierende Rolle des Chorleiters bemerkbar machen, wie dies Müller & Lindenberger (2011) beschrieben haben. Da wir selber die Interaktion zwischen Chor und Chorleiter nicht beobachtet haben, können wir dazu keine Aussagen treffen. Weiter ist zu berücksichtigen, dass die Sänger die Lieder nicht nur aktiv singen, sondern natürlich auch hörend erleben und dass auch durch diese Wahrnehmung eine kollektive synchrone Einstimmung denkbar ist, wie dies Bernardi et al. (2009) beobachtet hat: Die Autoren unterzogen eine Reihe von klassischen Musikstücken einer musikalischen Verlaufsanalyse und verglichen diese mit dem Verlauf der cardiorespiratorischen Parameter der Zuhörer. Sie stellten dabei eine gesicherte Gleichzeitigkeit des Verlaufs der Herz- und Atemtätigkeit mit dem musikalischen Verlauf fest, und zwar bei Musikern stärker als bei Nichtmusikern. In einer weiteren Untersuchung zeigten die Autoren, dass sich die Musik nicht nur nach Art und Tempo synchron widerspiegelt, sondern dass insbesondere die musikalischen Pausen bzw. die Stille einen positiven Effekt auf Zirkulation und Atmung ausüben (Bernard et al. 2006).

Bei den mittleren Herzraten zeigt sich, dass das Chorsingen gegenüber der vorgängigen und abschließenden Ruhe und gegenüber der Kontrolle zu einer signifikanten Erhöhung von rund 9 Schläge/Minute führt. (Abb. 2). Gleichzeitig reduziert sich die Variabilität, gemessen an SDNN, RMSSD und pNN50%, was als Ausdruck einer sympathotonen Auslenkung gedeutet werden kann. Für diese Interpretation spricht, dass sich im Frequenzbereich die Parasympathicus-assoziierte HF-Power bei unveränderter LF-Power verringert und das Verhältnis $\ln LF/HF$ sich vergrößert bzw. sich die vegetative Balance in Richtung Sympathikusaktivierung verschiebt (Delaney & Brodie 2000). Dabei ist bei der HF-Power zu bemerken, dass ihre Werte in der Ruhe nach dem Chorsingen sehr deutlich ansteigen und sich auch signifikant von den Ruhewerten vor dem Chorsingen und während der Kontrolle unterscheiden. Da die HF-Power den parasympathischen Einfluss wiedergibt, kann ihr Anstieg während der Ruhe nach dem Chorsingen auch als Ausdruck einer besonders starken Entspannung der Sänger gedeutet werden.

Bei der Atmung zeigen sich während des Chorsingens gegenüber der Ausgangsruhe niedrigere Mittelwerte, wenn auch nur schwach signifikant ($p = 0.08$). Demgegenüber steigt die Atemfrequenz nach dem Chorsingen um rund 3 Atemzüge/Minute an ($p = 0.0004$). Gleichzeitig lässt sich feststellen, dass sich die Atemfrequenz während der Kontrollmessungen als einziger hier untersuchter Parameter sehr deutlich sowohl von den Werten des Chorsingens ($p < 0.05$) als auch von der Ruhe vor ($p < 0.05$) und nach dem Singen unterscheidet (Abb. 3). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Frequenz die Atmung nur im Zeitbereich erfasst und hier auch konsistent ist mit den Werten für die HF-Power, dass die Atemfrequenz aber nichts aussagt über die Tiefe der Atemzüge bzw. das Atemvolumen. Es ist aber zu erwarten, dass das Singen je nach Art des Liedes nicht nur eine langsamere Atmung erfordert, sondern auch eine tiefere Atmung bewirkt als sonst. Insbesondere dürfte das Singen für Laiensänger ohne spezielle atemtechnische Ausbildung zusätzlich zur geforderten Aufmerksamkeit und Konzentration eine erhöhte Leistung bedeuten. Da wir den Aspekt der Atemtiefe nicht untersucht haben und auch in der Literatur keine Studien zur Atemleistung beim Singen finden konnten, muss dieser Punkt ungeklärt bleiben.

In der anthroposophisch motivierten Rhythmusforschung spielt das Verhältnis der Anzahl Pulsschläge pro Atemzug ($Q_{p/A}$) eine zentrale Rolle und wird hier aufgefasst (1) als Maß für die vegetative Reagibilität, (2) als Prognosefaktor für den Krankheitsverlauf sowie (3) als diagnostisches Merkmal für den Gesundheitszustand (Heckmann 2001). Dabei wird davon ausgegangen, dass der ganzzahlige Wert $Q_{p/A} = 4$ bei gesunden Erwachsenen ein variationsstatistischer Normwert darstellt. Wie v.a. Hildebrandt gezeigt hat (Hildebrandt et al 1993, Moser et al. 1995), streuen die individuellen $Q_{p/A}$ -Werte tageszeitlich und leistungsbedingt, erfahren aber im nächtlichen Tiefschlaf eine Normalisierung mit dem Wert 4. Wie Heckmann (2001) zeigen konnte, oszillieren die $Q_{p/A}$ -Werte bei Erwachsenen (Alter 19–28 Jahre) im Tagesverlauf um den Mittelwert 4.3. Bei Patienten nach einem Herzinfarkt ist eine solche Variabilität der $Q_{p/A}$ -Werte nicht zu beobachten („rhythmische Starre“) und stellt sich erst im Verlauf der Rehabilitation wieder ein (Heckmann

2001). Wie Balanescu et al. (2004) und Mäkikallio et al. (1996) nachgewiesen haben, zeigen sich bei einem Myokardinfarkt auch deutliche Einschränkungen der Parameter im Zeit- und Frequenzbereich. Eine signifikante Verminderung der Herzfrequenzvariabilität ergab sich auch in Untersuchungen von Krebspatienten (Bettermann et al. 2001), bei welchen sich die HRV auch als Prädiktor für die Überlebenszeit erweis (Kim et al. 2010). Nach Nötges (2008) sind Einschränkungen der HRV bei Infarktpatienten im Vergleich zu gesunden Probanden auch im Nachtschlaf nachweisbar. Diese Ergebnisse zur Symptomatik der HRV sind konsistent mit den oben referierten Untersuchungen zur diagnostischen und prognostischen Bedeutung des Puls/Atem-Quotienten $Q_{p/A}$.

In unseren Untersuchungen konnten wir während des Chorsingens einen Anstieg des mittleren $Q_{p/A}$ -Wertes von 5.2 auf 6.0 und dann zur Ruhe nach dem Singen eine hochsignifikante Verringerung auf den Wert von $Q_{p/A} = 4.5$ feststellen. Während der Kontrolle betrug der $Q_{p/A}$ -Wert 4.9. Vor dem Hintergrund der oben referierten Untersuchungen können wir den deutlich erniedrigten $Q_{p/A}$ -Ruhewert nach dem Chorsingen als Annäherung an den (gesunden) Normwert interpretieren, was auch widerspruchsfrei ist mit der signifikanten Zunahme der HRV-Werte SDNN, RMSSD und pNN50% nach dem Chorsingen. Deshalb können wir dem Chorsingen eine positive Wirkung auf die physiologische Verfassung der Sänger zumessen.

Durch alle in unserer Studie berücksichtigten Parameter stellt sich das Chorsingen selber deutlich als leistungsorientiert bzw. sympathicoton dar. Insbesondere im Vergleich zu den Ruhephasen vor- und nachher ergibt sich ein Bild, wie es sich ähnlich auch in ausgesprochenen Stresssituationen zeigt (siehe z.B. Delaney & Brodie 2000, Curic et al. 2008). Wie einige Untersuchungen aufgezeigt haben, unterscheidet sich die Wirkung beim Chorsingen (oder aktiven Musizieren) von der Wirkung beim passiven Hören von Musik, welches zu einer Verminderung der Sympathikusaktivität wie auch der subjektiv empfundenen Anspannung führt (Peng et al 2009, Weng 2010, Nakahara et al. 2009, 2011). Ähnliche simultane und immediate Entspannungseffekte können auch durch bestimmte Meditations- und Yoga-Techniken herbeigeführt und physiologisch nachgewiesen werden (Cysarz & Büssing 2005, Peng et al. 2004, Petra 2010).

In unserer Untersuchung berichten die Probanden, dass sie sich nach dem Chorsingen deutlich entspannter, frischer und innerlich ruhiger fühlten als vor und während des Chorsingens (relative Zunahme um 2 von 10 Punktwerten); während der Kontrollmessungen fiel der entsprechende Effekt unter den drei Aspekten nur ungefähr halb so stark aus. Bei diesen Ergebnissen ist nicht auszuschließen, dass sich in der Beurteilung des subjektiven Befindens auch motivationale Komponenten dem Singen gegenüber einmischen. Da die Ergebnisse aber im Wesentlichen mit denjenigen anderer Untersuchungen konform sind, die über eine Verbesserung des Wohlbefindens durch aktives Musizieren oder Singen berichten (Kreutz et al. 2004), können wir annehmen, dass die systematischen Fehler in unseren Ergebnissen geringfügig sind.

Bei allen Chorproben konnte vom Protokollant eine anhaltend sehr intensive Probenarbeit beobachtet und miterlebt werden, vom Chorleiter wurde viel Einsatz und höchste Aufmerksamkeit und Konzentration gefordert. Während der 60 Minuten dauernden Chorarbeit gab es für die Sänger höchsten dann eine kurze Verschnaufpause, wenn mit Einzelstimmen geprobt wurde. Trotz des 60 Minuten dauernden Einsatzes machten die Probanden während der Ruhephase nach der Chorprobe keinen ermüdeten oder gar erschöpften Eindruck, vielmehr wirkten sie deutlich ruhig und entspannt. Dies war auch der Eindruck, von dem die Probanden selber im Fragebogen berichteten und wie es sich auch an den Parametern der HRV nach dem Chorsingen zeigte. Da sich die HRV-Werte nach dem Chorsingen teilweise deutlich von denen vor dem Chorsingen unterscheiden, können wir dies als Entspannungszustand interpretieren. In Zusammenhang mit den referierten Studien zur HRV bei Infarkt- und Krebspatienten können wir das Chorsingen als regenerierend oder gesundend beurteilen. Zum Effekt einer therapeutischen Wirksamkeit von Musik gibt es in der Literatur nur äußerst spärliche Untersuchungen (Ellis 2010). Beispielsweise stellte Okada et al. (2009) bei dementen Patienten mit kongestiver Herzinsuffizienz CHF (Alter 82 ± 9 Jahre), die über 10 Wochen regelmäßig je einmal 45 Minuten Musiktherapie u.a. mit Singen erhielten, eine Verbesserung ihrer HRV fest im Vergleich zu gleichaltrigen Probanden ohne musiktherapeutische Intervention, gemessen jeweils vor, während und unmittelbar nach der Musiktherapie. Dabei verhielten sich die Herzraten RR und die vegetative Balance LF/HF in den beiden Probandengruppen ohne signifikante Unterschiede; signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) zeigten sich aber bei den Parametern MRSSD, pNN50% und HF

Power, jeweils während der Musiktherapie, nicht jedoch in der Zeit danach. Deutlich erniedrigt waren bei den Patienten mit Musiktherapie auch der Adrenalin- und Noradrenalinspiegel ($p < 0.05$), was auf eine Verminderung des Stresspegels während der Musiktherapie hindeutet. 10 Monate nach den Interventionen konnten die Autoren feststellen, dass bei den Patienten ohne Musiktherapie ernsthafte Probleme auf Grund der Herzinsuffizienz rund dreimal häufiger auftraten als bei den Patienten mit Musiktherapie ($p < 0.05$). Trotz nicht-signifikanter Unterschiede unmittelbar nach der therapeutischen Intervention hat sich diese aber längerfristig eindeutig positiv ausgewirkt. Dieser Befund lässt darauf schließen, dass die Effekte unmittelbar nach der Musiktherapie noch keinen sicheren Prognosewert besitzen.

Sicher lassen sich diese Ergebnisse wegen der unterschiedlichen Charakteristik der Probandengruppe nicht mit unserer Studie vergleichen. Für eine Feststellung von längerfristigen Wirkungen des Chorsingens wäre ohnehin eine Longitudinalstudie erforderlich. Auf Grund der Ergebnisse der Studie von Okada et al. lässt sich dieser Stelle nur vermuten, dass das Chorsingen auch bei gesunden Erwachsenen jüngerer Alters eine längerfristige gesunderhaltende oder gar gesundende Wirkung zeigen ließe.

9. Forschungsdesiderate

Aus den salutogenetischen Intentionen der Waldorfpädagogik und ihre anthropologischen Grundlagen ergibt sich, dass chronobiologische Untersuchungen zur psycho-physiologischen Wirksamkeit spezifisch waldorf-didaktischer Elemente wünschenswert sind.

Es existiert ein Forschungsbedarf bezüglich der simultanen, unmittelbaren (= kurzfristigen) und mittel- bis langfristigen Wirkungen des Unterrichts an Waldorfschulen, namentlich hinsichtlich Stressbelastung und Auswirkung auf die Regeneration während des Nachtschlafs der Kinder und Jugendlichen.

Insbesondere besteht ein Bedarf an prospektiven Untersuchungen mit möglichst konstanten Interventionsparametern, hauptsächlich zur Wirkung

- der chorischen Rezitationen im Klassenverband;
- der Sing-, Sprech- und Bewegungsübungen bspw. im Rahmen des Sprach- und Mathematikunterrichts der unteren Klassen;
- des Flöten- und Leierspiels in den unteren Klassen;
- des so genannt dreiteiligen Hauptunterrichts mit beginnendem Rhythmischen Teil, mittlerem Arbeitsteil und abschließendem Erzählteil;
- der Eurythmie auf allen Klassenstufen;
- des Sing- und Musikunterrichts auf allen Klassenstufen (z.B. während intensiver Projekte);
- des Unterrichts im Bewegten Klassenzimmer im Vergleich mit konventionellen Unterrichtsformen.

Über die Forschungsdesiderate hinaus ist notwendig, dass deren Fragestellungen insbesondere in den Kollegien der Waldorfschulen vermehrt als notwendig erachtet werden, damit Forschung nicht nur als Behinderung des Unterrichts empfunden, sondern als Beitrag zur Evaluation und Weiterentwicklung der waldorfspezifischen Methodik und Didaktik aufgefasst werden kann.

Dank

Ein herzlicher Dank geht an...

- die Studierenden der Akademie für Waldorfpädagogik Mannheim für ihre Bereitschaft, an der Studie mitzuwirken und dafür einen kleinen Mehraufwand auf sich nahmen;
- Dominik Petri, Dozent für Musik an der Akademie für Waldorfpädagogik Mannheim, für die Möglichkeit, während des Chorsingens die EKG-Messungen durchführen zu dürfen, für die kollegiale Kooperation sowie für die Angaben zum Charakter der geprobteten Lieder;
- Dietrich v. Bonin für die Überlassung der EKG-Recorder der KIKOM der Universität Bern sowie für kritische Anmerkung zum Studiendesign und zur Auswertung der Ergebnisse;
- Univ. Prof. Dr. Thomas Ostermann, Universität Witten-Herdecke, für Literaturhinweise und kritische Anmerkungen zum Untersuchungsentwurf,
- Prof. Dr. Henning Pätzold, für Beratungen bei der statistischen Auswertung.

Literatur

- Altenmüller E. (2008). Neurology of musical performance. *Clinical Medicine* Vol 8 No 4 August 2008.
- Althans B. (2009): Körperlernen, In: *Handwörterbuch der Erziehungswissenschaft* (Hrsg. Andresen S. et al); Weinheim
- BMBF (2006). *Macht Mozart schlau? Die Förderung kognitiver Kompetenzen durch Musik*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg), Bildungsforschung Band 18. Bonn und Berlin.
- Balanescu S., Dan Corlan A., Dorobantu M. Gherasim L. (2004). Prognostic value of heart rate variability after acute myocardial infarction. *Med Sci Monit*, 2004,10(7): CR307-315.
- Beck R. Gottfried T.L. Hall D. Cisler C. Bozeman K (2006).: Supporting the Health of College Solo Singers: The Relationship of Positive Emotions and Stress to Changes in Salivary IgA and Cortisol during Singing. *Journal for Learning through the Arts* 2(1) Article 19.
- Bernardi L., Sleight P., Bandinelli G., Cencetti S., Fattorini L., Wdowczyk-Szulc J., Lagi A. (2001).: Effect of rosary prayer and yoga mantras on autonomic cardiovascular rhythms: comparative study. *BMJ*. 2001 December 22; 323(7327): 1446–1449.
- Bernardi L, Porta C, Sleight P. (2006). Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non-musicians: the importance of silence. *Heart* 2006;92:445–452.
- Bernardi L., Porta C, Casucci G, Balsamo R, Bernardi N.F, Fogari R, Peter Sleight L. (2009). Dynamic Interactions Between Musical, Cardiovascular, and Cerebral Rhythms in Humans. *Circulation* 2009, 119:3171-3180.
- Bettermann, H., D. Amponsah, D. Cysarz, and P. Van Leeuwen (1999): Musical rhythms in heart period dynamics: a cross-cultural and interdisciplinary approach to cardiac rhythms. *Am J Physiol*. 1999 Nov;277(5 Pt 2):H1762-70
- Bettermann H, Kröz M, Girke M, Heckmann C. (2001).: Heart rate dynamics and cardiorespiratory coordination in diabetic and breast cancer patients. *Clin Physiol*. 2001 Jul;21(4):411-20.
- Bettermann H., v. Bonin D., Frühwirth M., Cysarz D., Moser M. (2002). Effects of speech therapy with poetry on heart rate rhythmicity and cardiorespiratory coordination. *International Journal of Cardiology*, 84/1, July 2002: 77-88.
- Breithaupt H., Zerm F.-J., Bestehorn H.-P. und Hildebrandt G. (1980). Über die Frequenzbeziehung von Puls und Atmung im Kindesalter. *Monatsschrift für Kinderheilkunde* 128:405-411.
- Clift S. Hancox G, Staricoff R. and Whitmore C. (2008). Singing and Health: A Systematic Mapping and Review of Non-Clinical Research. Online: <http://www.canterbury.ac.uk/Research/Centres/SDHR/Documents/ChoralSingingFull.pdf> (abgerufen 13.2.2012).
- Curic A., Männer H., Meißner S., Morawetz F. (2008).: Untersuchung zur Herzratenvariabilität unter Stress- und Entspannungsbedingung. Universität Regensburg Institut für experimentelle Psychologie. Online: http://www-cgi.uni-regensburg.de/Fakultaeten/Psychologie/Lukesch/index.php?page=front/module&id_m0=6&id_m1=11&f=1 (abgerufen 1.2.2012).
- Cysarz D, Linhard M, Edelhauser F, Langer A, Van Leeuwen P, et al. (2011). Unexpected Course of Nonlinear Cardiac Interbeat Interval Dynamics during Childhood and Adolescence. *PLoS ONE* 6(5): e19400. doi:10.1371/journal.pone.0019400
- Delaney J.P.A. & Brodie D.A. (2000).: Effects of short-term psychological stress on the time and frequency domains of heart-rate variability. *Perceptual and Motor Skills* 2000, 91. 515-524.
- Ellis R.J, Thayer J.F. (2010). Music and Autonomic Nervous System (Dys)function. *Music Percept*. 2010 April; 27(4): 317–326.

- Fechir M, Schlereth T, Purat T, Kritzmann S, Geber C, Eberle T, Gamer M, Birklein F. (2008). Patterns of sympathetic responses induced by different stress tasks. *Open Neurol J.* 2008;2:25-31.
- Girke M. (2002). Hygiogenese und funktionelle Dreigliederung des menschlichen Organismus. In: Heusser P. (Hrsg.): *Akademische Forschung in der Anthroposophischen Medizin. Komplementärmedizin im interdisziplinären Diskurs* Band 3. Peter Lang Verlag Bern.
- Grape Chr., Sandgren M., Hansson L.O., Ericson M. Theorell T. (2003). Does singing promote well-being? An empirical study of professional and amateur singers during a singing lesson. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, Vol. 38 Nr 1 January 2003.
- Heckmann Chr. & Engelke P. (1999). Hygiogenetische Aspekte im Verlauf und in der Behandlung der koronaren Herzkrankheit. In: *Akademische Forschung in der Anthroposophischen Medizin. Komplementäre Medizin im interdisziplinären Diskurs* Band 3, Peter Lang Verlag Bern.
- Heckmann Chr. (2001). Zur Frage der klinischen Bedeutung des Puls-Atem-Quotienten (QP/A). *Der Merkurstab* 2001;1:13-24).
- Heusser P. (1999). Physiologische Grundlagen der Gesundheitsförderung und das anthroposophisch-medizinische Konzept. In Heusser P. (Hrsg.): *Gesundheitsförderung – Eine neue Zeitforderung. Komplementärmedizin im interdisziplinären Diskurs* Band 6. Peter Lang Verlag Bern.
- Hildebrandt G., Moser M., Lehofer M. (1993). Chronobiologie und Chronomedizin. Biologische Rhythmen, medizinische Konsequenzen. Stuttgart.
- Hildebrandt G. (1999): Physiologische Grundlage der Hygiogenese. In: Heusser P. (Hrsg.) *Akademische Forschung in der Anthroposophischen Medizin. Komplementäre Medizin im interdisziplinären Diskurs* Band 3. Peter Lang Verlag Bern.
- Hirsch J.A. & Bishop B. (1981). : Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *Am J Physiol.* 1981 Oct; 241(4): H620-9.
- Kim D. H., Youn S.C., J.Y. Lee (2010).: Heart Rate Variability and Length of Survival in Hospice Cancer Patients. *J Korean Med Sci* 2010; 25: 1140-1145.
- Kreutz G., Bongard St., Rohrman S., Hodapp V., Grebe D. (2004). Effects of Choir Singing or Listening on Secretory Immunoglobulin A, Cortisol, and Emotional State. *Journal of Behavioral Medicine*, Heft Volume 27, Number 6 / Dezember 2004:623-635.
- Mäkikallio T.H., Seppanen T., Nieme M., Airaksinen J., Tulpo M., Huikuri H.V. (1996).: Abnormalities in Beat to Beat Complexity of Heart Rate Dynamics in Patients With a Previous Myocardial Infarction. *JACC* Vol. 28, No. 4 October 1996:1005-11.
- Marti T. (2006). *Wie kann Schule die Gesundheit fördern?* Erziehungskunst und Salutogenese. Stuttgart.
- Matthiolus H., Thiemann H.M. und Hildebrandt G. (1995). Wandlungen der rhythmischen Funktionsordnung von Puls und Atmung im Schulalter. *Der Merkurstab* 4/1995, pp. 297-312.
- Morgenstern M. (2010). The Psycho-physiological Effects of Music. The Influence of Musical Rhythm on Cardiovascular, Respiratory, and Electrodermal Activity. Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften. Saarbrücken (Dissertation an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg).
- Moser M., Lehofer G., Hildebrandt G., Voica M., Egner S., Kenner T. (1995).: Phase- and Frequency Coordination of Cardiac and Respiratory Function. *Biological Rhythm Research* 1995, Vol. 26, No. 1 pp. 100-111.
- Müller V, Lindenberger U (2011). Cardiac and Respiratory Patterns Synchronize between Persons during Choir Singing. *PLoS ONE* 6(9): e24893.
- Nakahara H, Furuya S, Obata S, Masuko T, Kinoshita H. (2009). Emotion-related changes in heart rate and its variability during performance and perception of music. *Ann NY Acad Sci.* 2009 Jul;1169:359-362.

- Nakahara H, Furuyab S, Masukoc T, Francis P.R, Kinoshita H. (2011). Performing music can induce greater modulation of emotion-related psychophysiological responses than listening to music. *International Journal of Psychophysiology*, Volume 81, Issue 3, September 2011, Pages 152–158.
- Nötges J.-J. (2008): QT-Intervall-Dynamik und Herzfrequenzvariabilität bei Patienten mit subakutem Myokardinfarkt während der verschiedenen Schlafphasen. Dissertation Universität Lübeck.
- Okada K., Kurita A. Takase P. Otsuka T. Kodani E. Kusama Y. Atarashi H., Mizuno K. (2009): Effects of Music Therapy on Autonomic Nervous System Activity, Incidence of Heart Failure Events, and Plasma Cytokine and Catecholamine Levels in Elderly Patients With Cerebrovascular Disease and Dementia. *Int Heart J* Jan 2009, 95-110.
- Peng CK, Henry IC, Mietus JE, Hausdorff JM, Khalsa G, Benson H, Goldberger AL. (2004): Heart rate dynamics during three forms of meditation. *Int J Cardiol.* 2004 May;95(1):19-27.
- Peng SM, Koo M, Yu ZR (2009): Effects of music and essential oil inhalation on cardiac autonomic balance in healthy individuals. *J Altern Complement Med.* 2009 Jan;15 (1):53-7.
- Pikkujamsa SM, Makikallio TH, Sourander LB, Raiha IJ, Puukka P, et al. (1999). Cardiac interbeat interval dynamics from childhood to senescence – Comparison of conventional and new measures based on fractals and chaos theory. *Circulation* 100: 393–399.
- Randoll D. (2010): Empirische Forschung und Waldorfpädagogik. In: Paschen (H. (Hrsg). *Erziehungswissenschaftliche Zugänge zur Waldorfpädagogik*. VS Verlag für Sozialwissenschaften. Wiesbaden.
- Rittelmeyer Chr. (2002). Pädagogische Anthropologie des Leibes. Biologische Voraussetzungen der Erziehung und Bildung. Juventa Weinheim.
- Rohen J. & Lügen-Decroll E. (2005): Funktionelle Anatomie des Menschen. Lehrbuch der makroskopischen Anatomie nach funktionellen Gesichtspunkten. Schattauer, Stuttgart.
- Roßlenbroich B. (1994). Die rhythmische Organisation des Menschen. Aus der chronobiologischen Forschung. Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart
- Schad W. (1994). Die Zeitordnung im Menschen und ihre pädagogische Bedeutung. *Erziehungskunst* 58.Jg. Heft 5, Mai 1994. pp.393-416.
- Schieren J. (2010). Die Veranlagung von intuitiven Fähigkeiten in der Pädagogik. *Research on Steiner Education RoSE*; Volume 1 Number 1, pp. 7-18, January 2010 (online www.rosejournal.com).
- Seifert G., Driever P, Pretzer K., Edelhäuser F, Bach S., v. Laue H.B., Längler A., Musial-Bright L., Henze G. and Cysarz D. (2008): Effects of complementary eurythmy therapy on heart rate variability. *Complementary Therapies in Medicine* (2009) 17, 161—167.
- Singer W. (2002). Der Beobachter im Gehirn. Essays zur Hirnforschung. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Steiner R. (1919). Allgemeine Menschenkunde als Grundlage der Pädagogik. Steiner-Verlag, Dornach 1973.
- Steiner R. (1922). *Physiologisch-Therapeutisches auf der Grundlage der Geisteswissenschaft*. Vorträge 9.10 und 26.10.1922. GA 314. Steiner-Verlag, Dornach 1983.
- Steiner R. (2006). *Unterricht und Gesundheit*. Quellensammlung aus dem Werk Rudolf Steiners, zusammengestellt von Tomáš Zdražil. Pädagogische Forschungsstelle Stuttgart.
- Task Force (1996). Heart Rate Variability. Standards of Measurement, Physiological and Clinical Use. American heart Association, Inc. *Circulation* 1996; 93:1043-1065.
- v. Bonin D., Frühwirth M., Heusser P, Moser M. (2001). Effects of Speech Therapy with Poetry on Heart Rate Variability and Well-Being. *Forschende Komplementärmedizin und Klassische Naturheilkunde* 2001;8:144-160.

- Weng Ming-Chia (2010).: Assessment of mental fatigue in VDT tasks by using heart rate variability.
Dissertation online: http://ethesys.chna.edu.tw/ETD-db/ETD-search/view_etd?URN=etd-0713111-210739
(abgerufen: 12.2.2012).
- Wiechert Chr. (2010). Zur Frage der Dreiteiligkeit des Unterrichts. ***Rundbrief Nr. 38 der Pädagogischen Sektion am Goetheanum.*** Dornach.
- Zdražil T. (2000). ***Gesundheitsförderung und Waldorfpädagogik.*** Dissertation, Universität Bielefeld.