Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

Druckmessungen im Kehlkopf: Relation zwischen intraglottalem Druck und Phonation

Dissertation
zur Erlangung der Würde der Doktorin der
Fachbereiche Sprache, Literatur, Medien & Europäische Sprachen
und Literaturen
der Universität Hamburg

vorgelegt von
Christiane Mantay
aus Speyer
Hamburg, 2010

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.

1. Auflage 2011
ISBN: 978-3-8248-0819-9
Alle Rechte vorbehalten
© Schulz-Kirchner Verlag GmbH, Idstein 2011
Mollweg 2, D-65510 Idstein,
Vertretungsberechtigter Geschäftsführer: Dr. Ullrich Schulz-Kirchner

Die Informationen in diesem Buch sind von der Verfasserin und dem Verlag sorgfältig erwogen und geprüft, dennoch kann eine Garantie nicht übernommen werden. Eine Haftung der Verfasserin bzw. des Verlages und seiner Beauftragten für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

Besuchen Sie uns im Internet: www.schulz-kirchner.de

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

„Voices. I think they must go deeper than other things. I have often fancied heaven might be made of voices."

Mary Ann Evans,
bekannter unter ihrem Pseudonym George Eliot

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

Für meine Eltern

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Die menschliche Stimme mit ihren vielfältigen Ausdrucksmöglichkeiten ist ein faszinierender Forschungsgegenstand. Die lateinische Wortwurzel des deutschen Wortes Person wird häufig herangezogen, um zu verdeutlichen, wie eng Stimme und Persönlichkeit miteinander verbunden sind. "Per-sonare", was soviel bedeutet wie "hindurch-klingen".

Doch neben dieser oft eher ganzheitlichen Betrachtung größerer Zusammenhänge von Stimmklang und menschlichem Selbst gibt es weitere Zugänge zum Faszinosum Stimme. Man könnte es eine Mikroperspektive nennen, die in der vorliegenden Arbeit bei der Betrachtung von Druckwerten eingenommen wird. Dem komplexen Phänomen Stimme kann man sich eben auch in einer solchen Mikroperspektive nähern, indem man die Wertebereiche des Drucks an verschiedenen Positionen zwischen den Stimmlippen während der Phonation bestimmt und die Messergebnisse von Männern und Frauen, von Stimmgesunden und Stimmpatienten bei lauter und leiser Stimme sowie bei hohen und tiefen Tönen vergleicht. Berücksichtigt man die natürlichen Schutzmechanismen wie etwa den Würgereflex und die relative Größe des Kehlkopfes und seiner Struktur, dann wird schnell deutlich, dass es sich bei einer solchen Datenerhebung um ein diffiziles Unterfangen handelt, das nach der Literaturrecherche der Autorin aber im Ergebnis zur größten bislang vorliegenden Datensammlung von Druckwerten führt. Diese Datensammlung ermöglicht neue Erkenntnisse, zeigt, inwieweit der objektive Druck zwischen den Stimmlippen mit verschiedenen Aspekten der Stimmgebung wie Tonhöhe oder Intensität korreliert.

Aus Sicht des Deutschen Bundesverbandes für Logopädie ist es überaus erfreulich, dass eine solche Forschungsarbeit von einer Logopädin für den dbl-Forschungspreis eingereicht und nach der anonymen Begutachtung für

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

den dbl-Forschungspreis 2009 ausgewählt wurde. Denn in dieser Arbeit werden vier Merkmale der Logopädie in besonderer Weise deutlich.

Zunächst einmal zeigt die Forschungsarbeit, dass Logopädinnen sich in einem sehr breiten Forschungsfeld einbringen können und das auch tun. Neben der naheliegenden Therapieforschung gehört eben auch die Grundlagenforschung zum Interessengebiet von Logopädinnen.

Dabei zeigt sich in der vorliegenden Arbeit auch die Dynamik, die im Verhältnis von Gegenstand und Methode liegt. Neue Untersuchungsmethoden, wie hier eine neue Generation von Subminiatursensoren, ermöglichen neue Erkenntnisse über den Untersuchungsgegenstand. Gleichzeitig müssen die so erhobenen Daten daraufhin überprüft werden, wie sie den Gegenstand rekonstruieren. Übertragen auf die Logopädie als Fach geht es in Diagnostik und Therapie insgesamt nicht um die bloße Anwendung von (neuen) Methoden, sondern um eine kritische Reflexion des beruflichen Handelns vor dem Hintergrund der wechselseitigen Abhängigkeit von Gegenstand und Methode.

Als drittes Merkmal weist die ausgezeichnete Arbeit auf die enorme Bedeutung von Technik und technologischen Innovationen für Erkenntnisfortschritte der Logopädie hin. Die aufwändige intralaryngeale Druckmessung ist nur durch eine neue Generation von Sensoren möglich.

Schließlich ist es die Teamarbeit, die die vorliegende Arbeit wie auch die Logopädie insgesamt auszeichnet. Die diffizile Messung stellt große Herausforderungen an das gesamte Forschungsteam, schreibt die Autorin. Betrachtet man das Ergebnis, die schon erwähnte größte Datensammlung und darauf aufbauenden neuen Erkenntnisse, so sind die Herausforderungen bewältigt worden, so gut bewältigt worden, dass der eingereichte Forschungsbericht mit dem dbl-Forschungspreis 2009 ausgezeichnet wurde.

Dieser Forschungspreis, der vom Schulz-Kirchner-Verlag und dem Deutschen Bundesverband für Logopädie gemeinsam gestiftet wird, möge den erarbeiteten Ergebnissen zur angemessenen Verbreitung verhelfen, damit die gewonnenen Erkenntnisse in breitem Umfang genutzt werden und zu neuen Untersuchungen inspirieren können.

Dr. Monika Rausch

Präsidentin des dbl

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

Inhaltverzeichnis

1. Einleitung 6
   - 1.1 Generelle Problematik der Messung des intraglottalen Kontaktdruckes 7
   - 1.2 State of the Art 9
   - 1.3 Anatomische Grundlagen und Terminologie 12
   - 1.3.1 Aufbau der Stimmlippen 12
   - 1.3.2 Einteilung der Glottisregion 13
   - 1.3.3 Räume des Kehlkopfes 14
   - 1.4 Motivation und Fragestellung für die Studie 16
   - 1.5 Hypothesen 18
2. Methode 20
   - 2.1 Sensorauswahl 20
   - 2.1.1 Kalibrierung des Sensors 23
   - 2.1.2 Mögliche Artefakte 24
   - 2.1.3 Geräteaufbau 25
   - 2.1.4 Kalibrierung des Mikrofons 28
   - 2.2 Probanden 29
   - 2.2.1 Umfang der Stichprobe 29
   - 2.2.2 Auswahl der stimmgesunden Probanden 30
   - 2.2.3 Auswahl der Patienten mit organischer Stimmstörung 33
   - 2.3 Versuchsleiter 35
   - 2.4 Durchführung 36
   - 2.4.1 Durchführung der Untersuchung 36
   - 2.4.2 Aufgabenstellung 38
   - 2.5 Methode der Auswertung 40
   - 2.5.1 Analyse der Rohdaten 40
3. Ergebnisse 43
   - 3.1 Einleitung zur Darstellung der Ergebnisse 43
   - 3.2 Relation zwischen Stimmlippenposition und Kontaktdruck 45
   - 3.2.1 Intermembranöser Kontaktdruck während Phonation bei Stimmgesunden 46
   - 3.2.2 Intermembranöser versus interarytenoidaler Kontaktdruck während Phonation bei Stimmgesunden 48
   - 3.2.3 Vergleich des intermembranösen Kontaktdruckes während Phonation bei Stimmgesunden und bei Patienten mit organischer Stimmstörung 50
   - 3.2.4 Vergleich des intermembranösen und interarytenoidalen Kontaktdruckes während Phonation bei Stimmgesunden und bei Patienten mit organischer Stimmstörung 52
   - 3.3 Relation zwischen Lautstärke und Kontaktdruck 54

3.3.1 Einfluss der Lautstärke auf den intermembranösen Kontaktdruck bei Stimmgesunden 56
3.3.2 Einfluss der Lautstärke auf den Kontaktdruck zwischen den Processus vocales und im Interarytenoidbereich bei Stimmgesunden 57
3.3.3 Einfluss der Lautstärke auf den intermembranösen Kontaktdruck bei Stimmgesunden im Vergleich zu Patienten mit organischer Stimmstörung 59
3.4 Relation zwischen Frequenz und Kontaktdruck 62
3.4.1 Einfluss der Frequenz auf den intermembranösen Kontaktdruck bei Stimmgesunden 62
3.4.2 Einfluss der Frequenz auf den Kontaktdruck zwischen den Processus vocales und im Interarytenoidbereich bei Stimmgesunden 64
3.4.3 Einfluss der Frequenz auf den intermembranösen Kontaktdruck bei Stimmgesunden im Vergleich zu Patienten mit organischer Stimmstörung 67
3.5 Relation zwischen non-phonatorischen Aufgaben und Kontaktdruck 69
3.5.1 Intermembranöser Kontaktdruck während non-phonatorischer Aufgaben bei Stimmgesunden 69
3.5.2 Interarytenoidaler Kontaktdruck während non-phonatorischer Aufgaben bei Stimmgesunden 71
3.5.3 Vergleich des intermembranösen Kontaktdruckes während non-phonatorischer Aufgaben bei Stimmgesunden und bei Patienten mit organischer Stimmstörung 72
3.5.4 Vergleich des interarytenoidalen Kontaktdruckes während non-phonatorischer Aufgaben bei Stimmgesunden und bei Patienten mit organischer Stimmstörung 74
4. Diskussion 76
4.1 Diskussion der Ergebnisse 76
4.1.1 Relation zwischen Stimmlippenposition und Kontaktdruck 76
4.1.2 Relation zwischen Lautstärke und Kontaktdruck 81
4.1.3 Relation zwischen Frequenz und Kontaktdruck 82
4.1.4 Relation zwischen non-phonatorischen Aufgaben und Kontaktdruck 84
4.2 Schlussfolgerungen in Bezug auf den theoretischen Rahmen 86
4.3 Fragestellungen für weitere Experimente 86
5. Zusammenfassung 89
6. Literatur 92

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

7. Anhang..... 97
7.1 Beispieldatenblatt für einen Messwert 97
7.2 Abkürzungs- und Begriffsverzeichnis..... 98

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Resultierende Kraftrichtungen an der Stimmlippe . 9
Abbildung 2: Aufbau der Stimmlippe 13
Abbildung 3: Einteilung der Glottisregion 14
Abbildung 4: Kehlkopfräume 15
Abbildung 5: Subminiatursensor 22
Abbildung 6: Führungsröhre mit Sensor 23
Abbildung 7: Kalibrierkurve 24
Abbildung 8: Untersuchungsaufbau 27
Abbildung 9: Organische Veränderungen der Stimmlippen 34
Abbildung 10: Sensorpositionierung während der Untersuchung 38
Abbildung 11: Laryngoskopisches Videobild 41
Abbildung 12: Signalauswertung 42
Abbildung 13: Schema Boxplot 45
Abbildung 14: Sensorpositionen 46
Abbildung 15: Intermembranöser Kontaktdruck gemessen an den Stimmlippenpositionen *vorderes Drittel*, *Übergang* und *mittleres Drittel* während Phonation bei stimmgesunden Frauen und Männern 47
Abbildung 16: Kontaktdruck gemessen an den Stimmlippenpositionen *vorderes Drittel*, *Übergang*, *mittleres Drittel*, *Prozessus vocales* und *interarytenoidal* während Phonation bei stimmgesunden Frauen und Männern ... 49
Abbildung 17: Vergleich des intermembranösen Kontaktdruckes gemessen an den Stimmlippenpositionen *vorderes Drittel*, *Übergang* und *mittleres Drittel* während Phonation bei Stimmgesunden und bei Patienten mit organischer Stimmstörung 51
Abbildung 18: Vergleich des Kontaktdruckes gemessen an den Stimmlippenpositionen *vorderes Drittel*, *Übergang*, *mittleres Drittel*, *Prozessus vocales* und *interarytenoidal* während Phonation bei Stimmgesunden und bei Patienten mit organischer Stimmstörung 53
Abbildung 19: Stimmumfangsprofil für Frauen mit Markierung der Lautstärkekategorie *mittellaut* 55
Abbildung 20: Stimmumfangsprofil für Männer mit Markierung der Lautstärkekategorie *mittellaut* 55
Abbildung 21: Einfluss der Lautstärke auf den intermembranösen Kontaktdruck bei stimmgesunden Frauen und Männern 57
Abbildung 22: Einfluss der Lautstärke auf den Kontaktdruck zwischen den Processus vocales bei stimmgesunden Frauen und Männern 58

Abbildung 23: Einfluss der Lautstärke auf den Kontaktdruck im Interarytenoidbereich bei stimmgesunden Frauen und Männern 59
Abbildung 24: Einfluss der Lautstärke auf den intermembranösen Kontaktdruck bei Stimmgesunden im Vergleich zu Patienten mit organischer Stimmstörung 61
Abbildung 25: Einfluss der Frequenz auf den intermembranösen Kontaktdruck bei stimmgesunden Frauen und Männern 64
Abbildung 26: Einfluss der Frequenz auf den Kontaktdruck zwischen den Processus vocales bei stimmgesunden Frauen und Männern 65
Abbildung 27: Einfluss der Frequenz auf den Kontaktdruck im Interarytenoidbereich bei stimmgesunden Frauen und Männern 66
Abbildung 28: Einfluss der Frequenz auf den intermembranösen Kontaktdruck bei Stimmgesunden im Vergleich zu Patienten mit organischer Stimmstörung 67
Abbildung 29: Einfluss non-phonatorischer Aufgaben auf den intermembranösen Kontaktdruck bei stimmgesunden Frauen und Männern 70
Abbildung 30: Einfluss non-phonatorischer Aufgaben auf den interarytenoidalen Kontaktdruck bei stimmgesunden Frauen und Männern 72
Abbildung 31: Einfluss non-phonatorischer Aufgaben auf den intermembranösen Kontaktdruck bei Stimmgesunden im Vergleich zu Patienten mit organischer Stimmstörung.. 73
Abbildung 32: Einfluss non-phonatorischer Aufgaben auf den interarytenoidalen Kontaktdruck bei Stimmgesunden im Vergleich zu Patienten mit organischer Stimmstörung.. 75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Sensorspezifikationen 20
Tabelle 2: Alter und Geschlecht der stimmgesunden Probanden 32
Tabelle 3: Phoniatrische Diagnosen, Alter und Geschlecht der Patienten 35
Tabelle 4: Phonatorische und non-phonatorische Aufgaben 40

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

1. EINLEITUNG

Trotz zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen in diversen Fachgebieten der Stimmforschung bleiben einige zentrale Fragen zur Stimmproduktion unbeantwortet. Je profunder wir die subtilen Stimmlippenschwingungen zu verstehen versuchen, desto schwieriger gestaltet sich die Datenerhebung während der komplexen Interaktion der muskulären, biomechanischen und aerodynamischen Kräfte. Auf dem Weg Mikrobausteine zum komplexen Verständnis der Stimmentstehung zu sammeln, steht die Forschung in Wechselwirkung mit den Erfahrungen aus dem klinischen Alltag der Phoniatrie – dem medizinischen Fachbereich für Stimm-, Sprech-, Sprach-, Hör- und Schluckstörungen – in dem sich mehrere Untersuchungsverfahren zur Stimmbeurteilung etabliert haben.

Zum technischen Standard heute gehören z.B. bildgebende Methoden wie die Lupenlaryngoskopie zur Beurteilung der anatomischen Beschaffenheit des Larynx (Kehlkopfes), insbesondere der Stimmlippen und deren Grobbeweglichkeit, die Lupenlaryngostroboskopie zur Analyse der Schwingungsamplituden und der Randkantenverschiebung, ebenso computergestützte elektroakustische Stimmschallanalysen zur Beurteilung von Qualitätsparametern, die Elektroglottographie zur Darstellung der medialen Kontaktfläche während des gesamten Glottiszyklus, aerodynamische Messverfahren zur Charakterisierung der Wellenform der glottalen Schallquelle und nicht zuletzt Ultrahighspeed Filme (Hochgeschwindigkeitsfilme), die Echtzeitaufnahmen- und analysen von einzelnen vibratorischen Zyklen ermöglichen (Baken & Orlikoff 2000).

Eine der grundlegenden noch offenen Fragen zur Stimmfunktion ist die des Wertebereichs des auftretenden intraglottalen Kontaktdruckes – der Druckwerte, die in der Phase des Stimmlippenschlusses entstehen. Die vorliegende Arbeit geht dieser Frage nach, wobei die Beantwortung aus

zweierlei Hinsicht interessant ist. Erstens liefert sie einen relevanten Baustein für die Grundlagenforschung und zweitens berührt sie die klinisch zentrale Frage, ob hohe Kontaktdruckwerte organische Stimmveränderungen provozieren.

1.1 Generelle Problematik der Messung des intraglottalen Kontaktdruckes

Ein Hauptgrund für die Einschränkung der experimentellen Methoden zur Messung des intraglottalen Kontaktdruckes ist der technische Standard. Lange Zeit waren die Drucksensoren zu groß für die feinen anatomischen Strukturen im Larynx, dadurch waren lediglich Messungen im Arytenoidbereich (zwischen den Stellknorpeln) möglich und nur in seltenen Fällen gelang die Datenerhebung im stimmphysiologisch sehr interessanten membranösen Teil der Stimmlippen (Hess et al. 1998). Dank der Entwicklung einer neuen Generation von Subminiatursensoren steht nun ein Instrumentarium zur Verfügung, das die Schwingungsabläufe der Stimmlippen quasi unbeeinflusst lässt und intraglottale Kontaktdruckmessungen auch im membranösen Teil ermöglicht.

Aus messtechnischer Sicht relevant sind gleichfalls die Spezifikationen des Drucksensors. Bei der Suche nach einem geeigneten Modell muss die Empfindlichkeit des Sensors auf verschiedene Einflüsse berücksichtigt werden, wie Temperatur, Störungen durch das elektrische Leitungsnetz in Form von elektromagnetischer Strahlung oder Feuchtigkeit. Beispielsweise ist die Temperaturempfindlichkeit verantwortlich für Signalschwankungen durch die Temperaturunterschiede im Larynx zwischen einströmender Raumluft und ausströmender Luft aus den Lungen. Falls eine Empfindlichkeit nicht im vernachlässigbaren Bereich liegt, muss sie kompensiert werden. Bei der Bewertung des Sensorsignals müssen die Kennlinien für den Frequenzgang,

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

die Signaldrift und der Verlauf der Langzeitempfindlichkeit berücksichtigt werden. So sollte der Frequenzgang in dem für die Messung relevanten Bereich nur geringe Schwankungen aufweisen, um eine Abhängigkeit des Signals von der Tonhöhe auszuschließen.

Als besondere Herausforderung bei Messungen an wachen Probanden stellt sich der Zugang zum Kehlkopf dar, der primär eine Schutzfunktion hat und mit entsprechenden Reflexen reagiert. Erfahrungen von Spezialisten auf dem Gebiet der Phonochirurgie (operative Eingriffe bei organischen Stimmerkrankungen) bilden eine unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung der intraglottalen Kontaktdruckmessungen in vivo.

Bei der Planung von Messungen des intraglottalen Kontaktdruckes muss beachtet werden, dass an der Stimmlippenoberfläche zwei resultierende Kräfte existieren: die Kontaktkraft und die Scherkraft. Die Kontaktkraft besteht aus den Komponenten: Massenträgheit, extrinsische Muskelkraft des M. cricothyreoideus (Musculus cricothyreoideus) und intrinsische Muskelkraft des M. thyreoarytenoideus (Titze 1994). Die Scherkraft setzt sich zusammen aus der vertikalen und der longitudinalen Scherkraft parallel zur Kontaktebene (Abbildung 1). Die beschriebenen Kräfte wirken an den Stimmlippen in unterschiedlichen Richtungen: Die Kontaktkraft wirkt in x-Richtung, die longitudinale Scherkraft in y-Richtung und die vertikale Scherkraft in z-Richtung.

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de

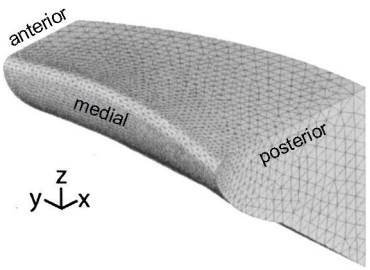


Abbildung 1: Resultierende Kraftrichtungen an der Stimmlippe: x – Kontaktkraft, y – longitudinale Scherkraft, z – vertikale Scherkraft (nach Gunter 2003)

Da die Kraft bei der Stimmlippe flächig angreift, ist es angebracht als Messgröße den Kontaktdruck *p* zu wählen. Dieser ergibt sich aus:

$$p = \frac{F}{A}$$

wobei *F* gleich der Kontaktkraft ist und *A* gleich der medialen Stimmlippenfläche, die mit der Gegenseite Kontakt hat. Ein generelles Problem der Messung der an der Stimmlippenoberfläche wirksamen Kräfte ist, dass die direkte Messung der Scherkraft als einer der beiden resultierenden Kräfte mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten nicht durchführbar ist. Wie in diesem Kapitel beschrieben, stellt die Messung des intraglottalen Kontaktdruckes eine große Herausforderung dar, ist aber aufgrund der Fortschritte in der Sensorentwicklung und der Erfahrungen auf dem Gebiet der Phonochirurgie durchführbar.

1.2 State of the Art

Unter den bereits vorliegenden experimentellen Untersuchungen zu Kehlkopfdruckmessungen finden sich nur wenige Studien, die am Menschen im Wachzustand durchgeführt wurden. In den Neunziger Jahren gelang es, erste Druckwerte im Kehlkopf zu messen. Reed et al. (1990) zeichneten den intraglottalen Druckverlauf bei einem Freiwilligen ohne Quantifizierung der

Urheberrechtlich geschütztes Material. Copyright: Schulz-Kirchner Verlag, Idstein. Vervielfältigungen jeglicher Art nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung des Verlags gegen Entgelt möglich. info@schulz-kirchner.de