

Aus der Poliklinik für Hör-, Stimm- und Sprachheilkunde  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Markus Hess  
des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf

# Über den Einfluss des Stimmeinsatzes auf die stationäre Phase der Stimmgebung

Dissertation  
zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde

dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg vorgelegt von

Steffen Oppermann  
aus Hamburg

Hamburg, Dezember 2007

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Universität Hamburg am  
22.4.2008.

Veröffentlichung mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der  
Universität Hamburg.

Prüfungsausschuß:

Vorsitzender:	Prof. Dr. M. Hess
2. Gutachter:	Prof. Dr. M. Jaehnke
3. Gutachter:	Prof. Dr. F.U. Metternich

# 1. Inhaltsverzeichnis

<b>1. Inhaltsverzeichnis</b> .....	00
<b>2. Kurzbeschreibung</b> .....	02
<b>3. Einleitung</b> .....	04
3.1.0 Physikalische und physiologische Grundlagen	04
3.1.1 Stimmlippenaufbau	05
3.1.2 Schwingungsformen	06
3.1.3 Einfaches Modell der Lauterzeugung	07
3.1.4 Filterung des Primärschalls im Vokaltrakt	08
3.1.5 Schallentstehung und Schwingungszyklus	08
3.1.6 Bewegung der Stimmlippen während der Phonation	09
3.1.7 Phonationszyklus und Randkantenverschiebung	11
3.1.8 Kriterien der Stimmwahrnehmung	13
3.1.9 Stimmeinsatz	14
3.2.0 Glottisöffnung und Öffnungsquotient	15
3.2.1 Untersuchungsmethoden	16
3.2.2 Funktionsweise des EGG	17
3.2.3 Lx-Kurve	21
3.3.0 Idealisierter Lx-Kurvenverlauf	22
3.3.1 Closed-phase Quotient oder Kontaktquotient	23
<b>4. Fragestellung</b> .....	24
<b>5. Methodik</b> .....	25
5.1.0 Testkonzeption und Zielsetzung	25
5.1.1 Probandenrekrutierung und Einschlusskriterien	26
5.1.2 Durchführung der Aufgabenstellung	27
5.1.3 Geräte zur Datenerfassung und –bearbeitung	29
5.1.4 Software zur Analyse der Daten	29
5.1.5 Datenprozessierung	30
5.1.6 Statistische Methoden	31
5.1.7 Auswertung	32
<b>6. Ergebnis</b> .....	32

<b>7. Diskussion</b> .....	36
7.1.0 Einleitung und Epikrise	36
7.1.1 Diskussion	37
7.1.2 Fehlerquellen	39
7.2.0 Eingrenzung des Kontaktquotienten	44
7.2.1 Abhängigkeit des KQ von Variablen	45
7.3.0 Startpunktdefinierung, Übertragungsfehler	47
7.3.1 Probandenkohorte	48
<b>8. Zusammenfassung</b> .....	49
<b>9. Literaturverzeichnis</b> .....	50
<b>10. Graphikverzeichnis</b> .....	10
<b>11. Anhang</b> .....	60
<b>12. Danksagung</b> .....	69
<b>13. Lebenslauf</b> .....	70
<b>14. Erklärung</b> .....	72

## 2. Kurzbeschreibung

Die Stimme stellt ein zentrales Werkzeug innerhalb der menschlichen Kommunikation dar. Neben der Vermittlung von Informationen durch Sprache lässt sich anhand der Stimme auch eine Vielzahl weiterer Mitteilungen über den Sprecher ableiten. Eine Quelle dieser Nebeninformationen stellt dabei der Stimmeinsatz dar, der hart, physiologisch oder behaucht ausfallen kann.

Der Stimmeinsatz wird durch die Kontaktfläche der Stimmlippen während des Beginns der Phonation bestimmt. Seine Qualität hat nicht nur Auswirkungen auf die Wahrnehmung und Beurteilung einer menschlichen Stimme, sondern auch Einfluss auf den Stimmapparat des Sprechers. Ein harter Einsatz beansprucht den Stimmapparat hierbei mehr als ein physiologischer, weicherer Einsatz. Der härtere Einsatz geht mit einem vergrößerten Kontakt der Stimmlippen im Moment des Phonationsbeginns einher. Häufige Stimmeinsätze dieser Art können sich negativ auf die Stimmlippen und den Stimmapparat auswirken. Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Klärung der Frage, ob die Qualität des Stimmeinsatzes einen Einfluss auf die anschließende Stimmgebung hat. Sollte sich die Hypothese bestätigen, dass härtere Stimmeinsätze auch eine gepresste Stimmgebung in der darauffolgenden stationären Phase nach sich ziehen, könnte diese Erkenntnis einen wichtigen Einfluss auf spätere logopädische und stimmtherapeutische Maßnahmen haben.

Zur Klärung dieser Frage wurden von uns 49 Probanden untersucht. Anhand eines Randomisationsplanes wurde die Art der Stimmgebung vorgegeben und während der Ausführung durch eine Logopädin überprüft. Die auf den Laut /a/ durchgeführte Phonation wurde 3 Sekunden lang gehalten und aufgezeichnet. Die Auswertung erfolgte durch Ableitung der EGG-Signale während der Phonation und Erfassung der Daten mittels der Software „Speech Studio“. Anschließend wurden die relevanten

Messreihen manuell herausgesucht, in maschinenlesbare Form überführt und einer statistischen Auswertung unterzogen.

In der Auswertung zeigt sich eine generelle leichte Zunahme des Kontaktquotienten über einen Zeitraum von 1000ms ab der 100. Millisekunde für die Einsatzqualitäten „gehaucht“ und „physiologisch“.

Während der gehaltenen Phonation der Einsatzqualität „hart“ kommt es hingegen zu einer kaum merklichen Veränderung des Kontaktquotienten über den genannten Zeitraum. Die Unterschiede im Steigungsgrad sind in Bezug auf die Geschlechter bei den Qualitäten „gehaucht“ und „physiologisch“ noch nicht signifikant, weisen aber eine Tendenz auf.

Aus dieser Untersuchung geht hervor, dass sich ein harter Stimmeinsatz auch in der stationären Phase bemerkbar macht, wenn man den Kontaktquotienten als Maß betrachtet. Interessanterweise kommt es auch bei gehauchten und physiologischen Stimmeinsätzen zu einer Zunahme des Kontaktquotienten- und zwar mit eindeutiger Tendenz bezüglich der Steigungen. Bei den weiblichen Probanden fielen diese steiler aus als bei den männlichen.

Diese Ergebnisse sind unter wissenschaftlich-akademischen Gesichtspunkten zu betrachten, da in der Alltagssprache Phonationen kaum länger als wenige Millisekunden gehalten werden. Dennoch können sie dazu dienen, weitergehende Untersuchungen der Verhältnisse des Stimmlippenkontaktes unter dem Einfluss wechselnder Einsatzqualitäten zu fördern und in eventuell spätere Therapieansätze bei Stimm- und Sprechstörungen einfließen.

## 3. Einleitung

Die menschliche Sprache, auf Grundlage ihrer morphologischen Basis der Stimme, ist das effektivste und schnellste Kommunikationsmittel, das zugleich auch hoch komplex und äußerst fein abgestimmt ist. Jede andere Verständigungsart (Gebärdensprache, Piktographie, alphabetische Sprache) ist der Lautsprache in der Geschwindigkeit des Informationsaustausches unterlegen. Sie ist einzig dem Menschen eigen und bezeichnet eine spezifische Teilfunktion der Kommunikationsarten, über deren Vielfalt im Tier- und Pflanzenreich kein Mangel herrscht. Dabei hat sich die gesprochene Sprache, als spezielle Unterform der Kommunikation, entwicklungsgeschichtlich erst spät (circa 100.000- 50.000 v. Chr.) herausgebildet (Wendler et al 1995, Friedrich 1995). Dies findet sein physiologisches Korrelat im fehlenden Vorhandensein eines primären Stimmorgans. Dem Kehlkopf mit seinen Stimmlippen, den für die Schallbildung zuständigen Strukturen, fällt primär die Aufgabe des Verschlusses der unteren Atemwege gegen Fremdkörper zu. Erst zu einem späteren Zeitpunkt in der Phylogenese des Menschen kam es zur Integration der Lauterzeugung als Sekundärfunktion (Friedrich 1995). Dieses schlägt sich auch in der Repräsentanz auf corticaler Ebene nieder, wie Leischner und Friedrich/ Bigenzahn (1979/1995) sowie Jürgens/Ploog (1976) ausführlich darstellen.

### 3.1.0 Physikalische und physiologische Grundlagen

Die Stimme ist die Grundlage der oralen Sprache. An ihrer Entstehung sind sowohl zentralnervöse, motorische Zentren wie Atemregulierung und Steuerung der Kehlkopfinnervation wie auch psychologische Einflüsse, physikalische Aspekte der Stimmlippen, des Ansatzrohrs und Resonanzraumes und direkt reflektorische Einflüsse, die teils von zentralen Steuerungsvorgängen des audiophonatorischen Kontrollsystems überlagert werden, beteiligt. Um die Funktionseinheit des Stimmapparates zu

verstehen, muss kurz auf die Physiologie und Anatomie des menschlichen Vokaltraktes eingegangen werden.

Für den geregelten Ablauf der Phonation sind neben solchen Faktoren wie ausreichende Luftströmung, schwingungsfähigem Gewebe und Verschluss der Stimmritze, auf die später noch ausführlich eingegangen wird, eine Reihe von muskulären Einstellbewegungen nötig. Dabei ist zunächst die Vorspannung der Stimmlippen als wichtige Aufgabe der Muskulatur zu sehen. Ohne eine ausreichende Vorspannung kann kein regelrechter Schwingungsablauf stattfinden. Über den Spannungszustand der Stimmlippen definiert sich aber auch deren Schwingungsfrequenz, wobei wie bei den Saiten einer Gitarre gilt: je stärker gespannt die schwingende Saite ist, desto höher der entstehende Ton und umgekehrt. Je höher also die Grundfrequenz ist, desto stärker der Spannungszustand der Stimmbänder. Zeitgleich kommt es zu einer Elongation der Stimmbänder, die damit länger, stärker gespannt und dünner werden.

Die Kehlkopfmuskeln haben aber auch die Aufgabe, die Stimme zu modulieren. Die wichtigsten Muskeln in diesem Zusammenhang dienen der Spannungsänderung der Stimmlippen sowie der Veränderung der Stimmritzenweite. Die *Mm. cricoarytaenoideus lateralis* und *postalis*, die von der Ringknorpelplatte an den *Proc. muscularis* des Aryknorpels ziehen, wirken als Öffner und Schließer der Stimmritze. Der *M. thyroarytenoideus* (syn.: *M. vocalis*) reguliert die Feineinstellung der Stimmlippen, während der *M. cricothyroideus* für die Grobeinstellung des Spannungszustandes der Stimmlippen zuständig ist. Sein Gegenspieler, der *M. cricopharyngeus*, entspannt die Stimmlippen.

### 3.1.1 Stimmlippenaufbau

Die Stimmlippen bestehen aus mehreren Schichten unterschiedlichen Gewebes. Hierzu zählen *Ligamentum vocale* (das eigentliche Stimmband) einem muskulären Anteil (*M. vocalis*), Bindegewebe, Gefäßen und Nervengewebe sowie der alles umhüllenden Schleimhaut, die auf ihrer

Unterlage verschieblich ist. Dieser „Randkantenverschieblichkeit“<sup>1</sup> kommt eine besondere Bedeutung während der Phonation zu, denn sie „arbeitet als Initialvibrator, und die Stimmlippenmuskulatur bildet den schwachgedämpften frequenzbestimmenden Schwingungsmechanismus, der danach erregt wird“ wie H.K. Schutte schreibt (in Wendler/ Lehrbuch der Phoniatrie u. Pädaudiologie 1996). Der subepitheliale Raum unterhalb der Schleimhaut wird als Reinke'scher Raum nach dessen Entdecker benannt. Ist die Verschieblichkeit des Epithels gegenüber der darunter liegenden Muskelschicht nicht mehr gegeben, kommt es zu Stimmstörungen. Die vorderen zwei Drittel der Stimmlippen sind überwiegend durch ligamentäre Anteile geprägt und befinden sich im Bereich der vorderen Kommissur in Adduktion. Der Vocalismuskel wiederum besteht aus zwei Teilen und ist durch seine spezifische, zopfförmige Muskelfaseranordnung in der Lage, den Spannungszustand der Stimmlippen sehr präzise zu regulieren. Er ist für die Feineinstellung der Spannung zuständig und ermöglicht dem geübten Sprecher die Wiedergabe auch feinsten Nuancen stimmlicher Tonhöhenänderungen.

### 3.1.2 Schwingungsformen

Physikalisch betrachtet handelt es sich bei jeder wahrgenommenen Schalläußerung um eine Schwingung des umgebenden Mediums, in der Regel der Luft. Dabei überträgt ein sich bewegendes Körper seine kinetische Energie auf das umgebende Medium, das seinerseits in Schwingungen versetzt wird. Die mechanische Schwingung des Körpers regt die Luftmoleküle an und diese beginnen in charakteristischer Weise zu schwingen. Diese Schwingung kann periodisch-gleichmäßig oder unperiodisch-unregelmäßig sein. Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde bestimmt die Frequenz. Die schwingenden Luftmoleküle breiten sich nun wellenförmig aus und werden beim Auftreffen auf den Hörapparat als Schalläußerung wahrgenommen. Die Ausbreitung der Schallwellen in Gasen und Flüssigkeiten erfolgt dabei als sog. Longitudinalwellen, d.h.

---

<sup>1</sup> Siehe auch unter: „3.6 Bewegung der Stimmlippen während der Phonation“

stets parallel zur Ausbreitungsrichtung. Eine aperiodische Schwingung wird vom menschlichen Gehör als Rauschen wahrgenommen und zeichnet sich physikalisch durch eine unregelmäßige Amplitude und fehlende Periode aus, während eine periodische Schwingung stets eine regelmäßige Periode und eine definierte Amplitude aufweist. Für Letzteres stellt die Sinusschwingung das beste Beispiel dar, die mit nur einer einzigen Frequenz schwingt. Reine Sinustöne kommen in der menschlichen Stimme praktisch nicht vor, da bei der Lauterzeugung stets mehrere Frequenzen generiert, und durch Verstärkungs- und Unterdrückungseffekte die abgestrahlten Schallwellen immer multiplen Frequenzlinien entsprechen. Für die Wahrnehmung von Klängen oder Geräuschen spielt dieses eine grundlegende Rolle, da, wie bereits ausgeführt, eine unperiodische Schwingung als Rauschen, eine periodische dagegen als Klang empfunden wird.

### 3.1.3 Einfaches Modell der Lauterzeugung

Die Lauterzeugung des menschlichen Stimmapparates lässt sich veranschaulichend mit der Funktion einer Orgelpfeife vergleichen (Habermann 1978/ Friedrich). Dem Vergleich zugrunde gelegt werden drei Funktionseinheiten, bei denen der Atemapparat (1) als Korrelat zum Blasebalg der Orgelpfeife betrachtet wird, der Kehlkopf (2) als Zungenwerk und das Ansatzrohr (3) als Orgelpfeife. Unter dem Begriff des Ansatzrohres versteht man alle luftgefüllten Hohlräume oberhalb der Glottis, die durch akustische Phänomene entscheidenden Einfluß auf die Frequenzen des abgestrahlten Schalls nehmen. Der Mensch ist überdies in der Lage, durch Veränderung des Ansatzrohres, etwa beim Öffnen des Mundes oder Verschieben der Zunge, die physikalischen Effekte des Vokaltraktes zu beeinflussen und so den abgestrahlten Schall zu modifizieren. Wengleich das beschriebene Modell nur als simple Veranschaulichung dienen soll, sollte es aber um eine vierte Funktionseinheit erweitert werden: um die übergeordnete Steuerung dieses Systems. Der Organist ist dann gleichzusetzen mit dem zentralen

Nervensystem, ohne dessen Funktion keine sinnvolle Wiedergabe möglich ist.

#### 3.1.4 Filterung des Primärschalls im Vokaltrakt

Der Ort der Schallentstehung ist, wie bereits beschrieben, der Kehlkopf mit seiner Funktionseinheit aus Stimmbändern, Muskulatur, Bindegewebe, Schleimhaut und Innervation. Werden die Stimmlippen durch das Entweichen der unter Druck stehenden subglottischen Luft in Schwingungen versetzt, entsteht ein Primärschall, der sich in der Luftsäule oberhalb der Stimmbänder fortpflanzt. Hier erfährt der Schall eine „Verformung“, oder besser eine Filterung im Sinne verschiedener Verstärkungs- und Abschwächungsphänomene in den Resonanzräumen des Ansatzrohres. Eine gängige Theorie zur Erklärung der selektiven Filterung basiert auf der Annahme eines Systems aus zusammengesetzten Röhren (Wendler 1996). Deren differierender Durchmesser sorgt durch Schallreflexionen an den Grenzflächen der Röhren für eine unterschiedliche Transmission des Primärschalls, aufgeteilt nach Frequenzen. Einige Frequenzen passieren den Vokaltrakt besonders gut, während andere starken Reflexionen unterworfen sind. Durch Interferenzen der abgestrahlten mit den reflektierten Wellen kommt es zu Abschwächungs- oder gar Auslöschungsphänomenen, während andere Frequenzen eine Verstärkung erfahren. Je nach Einstellung des Vokaltraktes beim Sprechen werden bestimmte Frequenzen hervorgehoben, andere hingegen unterdrückt oder abgeschwächt. Die besonders hervortretenden Frequenzen werden als Resonanzfrequenzen bezeichnet und stellen sich in der Analyse als Formanten dar. Die Ausprägung der Formanten bestimmt einerseits den individuellen Stimmklang, andererseits werden durch die Formanten die Vokale gebildet.

#### 3.1.5 Schallentstehung und Schwingungszyklus

Der Mechanismus der Schallentstehung während der Phonation findet nach der myoelastisch-aerodynamischen Theorie, die van den Berg 1958

formulierte und die nach wie vor Gültigkeit besitzt (Schade 2003), auf folgende Weise statt: der Verschluss der Atemwege durch die in Adduktionsstellung befindlichen Stimmlippen schafft die Voraussetzung für eine Druckerhöhung der subglottischen Luft. Durch Anspannen der respiratorischen Muskulatur wird der Druckgradient zwischen subglottischer- und Umgebungsluft stetig erhöht. Wenn er ausreicht, um die Stimmlippen auseinander zu drängen, also die Qualität des erforderlichen, sog. Anblasedruck erreicht hat, werden die Randkanten der Stimmlippen beiseite gepresst und es entweicht Luft. Die Kontaktfläche der Stimmlippen verkleinert sich, während diese sich voneinander entfernen. Setzt man einen gleichbleibenden Gesamtluftstrom voraus, tritt nun ein physikalisches Gesetz in Kraft, ohne dessen Wirken sich kein Flugzeug in der Luft halten könnte: es kommt zu einer Verringerung des Druckes; einer Sogwirkung der durch die Stimmlippen strömenden Luft. Dieses Bernoulli-Effekt genannte Naturgesetz bewirkt einen Druckabfall, wenn sich die Geschwindigkeit der strömenden Luft erhöht:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const} = p_0$$

$\rho$  - Gasdichte

$v$  - Geschwindigkeit

$p_0$  - Luftdruck

Genau dieses ist im Vokaltrakt an der Stelle des Larynx der Fall, dessen Querschnitt sanduhrförmig ist. Die Verringerung des Lumens an der engsten Stelle des Larynx bewirkt eine Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit, sofern der Gesamtluftstrom gleich bleibt:

$$\text{Luftstrom} = vq = \Delta p / R$$

$R$  - Strömungswiderstand

$\Delta p$  - Druckdifferenz

$v$  - Strömungsgeschwindigkeit

q - Querschnittsfläche

(der Luftstrom verhält sich proportional zur Druckdifferenz)

Die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit sorgt für eine Sogwirkung, die man sich z.B. in der Aerodynamik zunutze macht: das gebogene Profil der Tragflächen bei Flugzeugen lässt die Luftströmung an der Oberseite der Tragflügel schneller strömen als an der Unterseite; die resultierende negative Kraft an der Oberseite hält das Flugzeug in der Luft. Ähnlich verhält es sich im Vokaltrakt: beim Durchströmen der Larynxenge wirkt eine negative Kraft auf die Stimmlippen. Durch diesen Sog kommt es zu einem erneuten Kontakt der Stimmlippen mit resultierendem Verschluss der Glottis. Andere Faktoren wie Massenträgheit des schwingenden Gewebes und die Eigenelastizität der Stimmlippen sowie der Reibungswiderstand spielen ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Ausbildung der Rückstellkraft. (Arndt 1986 / Childers et al 1986/ Dejonckere & Leblanc 1981) Mathematische Modelle zur Erklärung und Quantifizierung der Schwingungsanregung liegen vor, sind jedoch noch lückenhaft. (Ishizaka et al, Titze, Arnd) Der gesamte Zyklus wiederholt sich, sobald der Anblasdruck erreicht wird. Es entsteht eine periodische Schwingung der Stimmlippen, die durch den Luftstrom als treibende Kraft unterhalten wird.

Der Anblasdruck stellt den Motor des Schwingungssystems dar, dessen Energie die Stimmlippen zu einer Bewegung veranlassen. Physikalische Grundvoraussetzung für das Entstehen einer geordneten Schwingung ist dabei eine Grundspannung der Stimmlippen, eine hinreichend große Dehnbarkeit und Eigenelastizität, das Einhalten gewisser Beschränkungen hinsichtlich der Masseverhältnisse der schwingenden Körper, sowie eine ausreichende Energiezufuhr durch den subglottischen Druck. Sind diese Faktoren erfüllt, kann es zu dem oben beschriebenen Schwingungsablauf kommen. Die Qualität und Quantität der Schwingung sind daneben auch von anderen Einflüssen wie z.B. Wassergehalt der Stimmlippen abhängig (Chan & Tayama 2002)

### 3.1.6 Bewegung der Stimmlippen während der Phonation

Die Stellung der Stimmlippen kann grob in eine Respirations- und eine Phonationsstellung unterteilt werden, wenngleich diese Einteilung sich nicht zwangsläufig auf die Funktion beziehen muss. Bei Pathologien des Stimmapparates z.B. kann es zu paradoxen Erscheinungen kommen, wenn etwa eine respiratorisch voll bewegliche und funktionstüchtige Stimmlippe nicht mehr in der Lage ist, geordnet zu schwingen- dies tritt u.a. bei Stimmlippengranulomen oder Tumoren auf. Im umgekehrten Falle ist bei Innervationsstörungen der Stimmlippen, etwa infolge einer Parese des N. laryngeus inf., die Atmung mitunter stark behindert, während die Stimmgebung noch relativ gut möglich ist.

In der Phonationsstellung befinden sich die Stimmlippen in der Medianlinie der Glottis in engem Kontakt (Adduktionsstellung der Stimmlippen) - die Stimmritze ist verschlossen, und erst während der Phonation weichen die Stimmbänder auseinander. In der Respirationsstellung hat sich die Glottis geweitet, um dem Atemstrom möglichst wenig Widerstand entgegen zu bringen (Abduktionsstellung der Stimmlippen). Es besteht kein Stimmlippenkontakt. Im Einzelnen können die Bewegungsabläufe während der geordneten Phonation durch stroboskopische Untersuchungen sichtbar gemacht werden. Auf die instrumentellen Verfahren zur Untersuchung des Larynx wird später noch eingegangen.

### 3.1.7 Phonationszyklus und Randkantenverschiebung

Jeder Phonationszyklus beginnt mit dem Auseinanderpressen der Stimmlippen, die durch den subglottischen Anblasedruck aus ihrer Adduktionsstellung gebracht werden. Wie bereits beschrieben, findet in jedem Schwingungszyklus eine solche Lateralbewegung statt. Der Schwingungsablauf beginnt an den Randkanten, die sich weitestgehend unabhängig von den Stimmbändern bewegen. Ermöglicht wird dies durch die ausgeprägte Verschieblichkeit der Schleimhaut gegenüber ihrer Unterlage, wie bereits weiter oben erwähnt. Während die Stimmbänder

selbst sowohl eine vertikale, als auch eine horizontale Bewegung ausführen, finden die Bewegungen der Schleimhautschicht teils sogar entgegengesetzt statt. Die Schleimhaut rollt wellenförmig über ihre Unterlage. Dabei nähern sich die kaudalen Anteile der Schleimhaut schon zu einem früheren Zeitpunkt einander an, als die kranialen Anteile, so dass der Verschluss der Glottis entgegen dem Schwingungszyklus der Stimmbänder selbst von kaudal erfolgt (Schönhärl 1960). Die Ausprägung der Randkantenverschiebung ist von der muskulären Anspannung der Stimmlippen direkt abhängig, wie Hirano in seiner „Body cover“ Theorie darlegt (Hirano 1974). Mit steigender Spannung der Stimmlippen gerät auch das oberflächliche Epithel unter eine zunehmend elongierende Kraft, die in einer herabgesetzten Verschieblichkeit resultiert. Dieses wirkt sich auf die Amplitude und die Beweglichkeit der Schleimhaut aus, denn die Amplitude ist bei maximaler Anspannung der Stimmlippen gering, und es findet keine Wellenbewegung mehr statt.

Im umgekehrten Falle, also bei tiefen Tönen und geringer Spannung der Stimmbänder, ist die Amplitude dagegen groß und auch die Randkantenverschiebung ist deutlicher ausgeprägt. Bei einer Zunahme der Stimmintensität ist das ebenfalls so. Schade schreibt dazu: „Nach physikalischen Grundgesetzen besteht ein Wachstum der Schallintensität mit dem Quadrat der Amplitude der Stimmlippenschwingungen“. Die Stimmintensität ist v.a. vom Druckgradienten der subglottischen Luft abhängig und steht bei physiologischen Strömungsgeschwindigkeiten von 150-660 ml/s in annähernd linearer Beziehung zu den logarithmischen Werten des subglottischen Drucks ( $p_{\text{sub}}$ ). Erst bei der Phonation hoher Töne mit größerer Stimmintensität ändert sich das Verhältnis zugunsten eines vermehrten Luftstromes (Seidner/ Wendler 1975). Koike und Hirano konnten zeigen, dass allen Vokalen, die mit der gleichen Frequenz und der gleichen Intensität phoniert werden, der gleiche subglottische Druck zugrunde liegt.

### 3.1.8 Kriterien der Stimmwahrnehmung

Die auditive Beurteilung einer Stimme erfolgt nach vielen Kriterien. So spielen nicht nur die stimmliche Grundfrequenz (Stimmhöhe,  $F_0$ ), die Stimmintensität, die Klangfarbe oder die Phonationsdauer eine wichtige Rolle, sondern es werden daneben eine ganze Reihe von weiteren Informationen erfasst, die sich nicht apparativ messen lassen oder zu deren Interpretation es noch weiterer Forschung bedarf. So weisen Fleischer und Hess darauf hin, dass sich ohne die Hilfe technischer Untersuchungsmethoden schon wichtige Aspekte in der Diagnostik von Stimmpathologien finden lassen (Fleischer/Hess 2001). Auf beiden Seiten der Informationsübermittlung, sowohl beim Sprecher als auch bei dem Hörer, beeinflussen weiterhin psychische und emotionale Faktoren die Wahrnehmung der sprachlichen Information. Welchem Teilaspekt der auf den Empfänger einwirkenden Informationen Bedeutung zuerkannt wird, hängt ebenfalls von individuellen Erfahrungen und dem jeweiligen Kommunikationsumfeld, sowie von kulturellen und sozialen Unterschieden ab. Dabei muss eine sprachliche Äußerung nicht einmal aus einem Wort bestehen. Leonhard weist darauf hin, dass selbst Ausdruckslaute, die aus keinem bekannten Wort bestehen und in Zusammenhang mit Empfindungen wie Unglauben, Wohlgefühl, Bedauern, Ratlosigkeit etc. gemacht werden, eine starke Ausdruckskraft haben (Leonhard 1968). Seidner und Wendler sehen dies als einen der Gründe an, warum Gesangspartien, die in einer Fremdsprache gesungen werden, trotzdem verstanden werden können (Seidner/ Wendler 1997).

### 3.1.9 Stimmeinsatz

Ein Aspekt der Wahrnehmung und Beurteilung einer sprachlichen Nachricht stellt die Art des Stimmeinsatzes dar. Damit wird sowohl der Beginn der Phonation, also das Durchströmen der Glottis mit Luft, als auch der damit verbundene Höreindruck bezeichnet. Der Stimmeinsatz nimmt in der Phonation gewissermaßen eine Sonderstellung ein, da er nicht durch auditive Rückkoppelung kontrolliert werden kann. Es wird zwischen drei Qualitäten unterschieden.

Beim gehauchten Stimmeinsatz strömt schon Luft durch die Glottis, bevor die Stimmlippen die Phonationsstellung erreicht haben und ohne dass die Stimmlippen schwingen. Das langsame Anschwingen sowie die bereits vorher entwichene Luft resultieren in einem reibenden Schallereignis zu Beginn der Phonation.

Beim physiologischen Stimmeinsatz, der weich oder hart ausfallen kann, befinden sich die Stimmlippen in mehr oder weniger locker aneinander liegender Phonationsstellung und werden durch die subglottische Luft beiseite gepresst. Der Stimmeinsatz erfolgt bei der weicheren physiologischen Form ohne hörbares Geräusch und geht mit einem langsamen Anschwingen der in lockerem Kontakt liegenden Stimmlippen vonstatten. Beim physiologisch harten Stimmeinsatz befinden sich die leicht gespannten Stimmlippen in engem Kontakt, so dass der subglottische Luftstrom einen höheren Widerstand überwinden muss.

Der dritte Stimmeinsatz ist durch einen unphysiologischen Glottisschlag gekennzeichnet. Dieser harte Stimmeinsatz, der auch als Sprengeneinsatz bezeichnet wird, findet sein Korrelat in straff gespannten und eng aneinander liegenden Stimmlippen. Ein hoher subglottischer Druck ist nötig, um die zusammen gepressten Stimmlippen zu sprengen und Luft durch die sich schlagartig öffnende Glottis zu pressen. Die Schwingungen beginnen plötzlich und der Stimmeinsatz ist durch ein hartes Geräusch zu Beginn gekennzeichnet. Nach gängiger Meinung belastet der harte Einsatz den Stimmapparat übermäßig und sorgt für eine rasche Stimmermüdung. Stimmschädigende Wirkungen sind bei häufigem harten Einsatz wahrscheinlich. Genau so stellen dauerhafte Verschiebungen der mittleren Sprechstimmlage von der Indifferenzlage eine Stimmbelastung dar und können sich stimmschädigend auswirken (Ptok 1997).

### 3.2.0 Glottisöffnung und Öffnungsquotient

Die Abduktions- und Adduktionsfähigkeit der Stimmlippen bedingt eine unterschiedliche Weite der Glottis. Während der normalen Phonation erfolgt ein regelmäßiger und wiederkehrender Wechsel aus Öffnungsbewegung und Schließbewegung der Glottis. Diese reicht beim

Gesunden von vollständig geschlossen (Glottisweite = 0%) bis hin zur maximalen Öffnung der Glottis (Glottisweite = 100%) bei der Inspiration und wird aus der Distanz zwischen den beiden Mitten der Stimmlippen zueinander bestimmt. Aus der graphischen Darstellung der Bewegung beider Stimmlippen von der Median- zur Lateralposition, aufgetragen gegen die Zeit, ergibt sich eine kurvenförmige Funktion. Sie korrespondiert mit einer Genauigkeit von mehr als 98% mit der Fläche der Glottisöffnung (Koike/Hirano 1973). Der Scheitelpunkt der Kurven kennzeichnet den Punkt der maximalen Entfernung der Stimmlippen von der Medianlinie (Glottisweite 100%). Zur Beschreibung des Funktionsgraphen wird nur eine der beiden Kurven betrachtet und diese phasenweise unterteilt. Der aufsteigende Schenkel kennzeichnet die Öffnungsbewegung der Glottis mit der Lateralbewegung der Stimmlippen, die sog. Öffnungsphase. Der absteigende Schenkel spiegelt die Rückkehr der Stimmlippe in ihre Medianposition wider und wird „Schließungsphase“ genannt. Beide Abschnitte werden unter „Offenphase“ subsumiert. Die dritte Phase, die sog. „Schlußphase“ bezeichnet den Teil des Phonationszyklus, in dem der subglottische Druck in der Adduktionsstellung der Stimmlippen aufgebaut wird, um die Glottis erneut zu öffnen. Während der normalen Phonation bei mittlerer Intensität erfolgt ein regelmäßiger und wiederkehrender Wechsel aller drei Phasen der Glottisweite.

Aus dem beschriebenen Graphen lassen sich einige Parameter ableiten, die Aussagen über Aspekte der Glottisfunktion zulassen. Baken (2000) nennt hier vier Funktionen, die sich alle mit dem Verhältnis der einzelnen Phasen zueinander beschäftigen. So beschreibt der „Offenquotient“ etwa das Verhältnis der Offenphase zum gesamten Schwingungszyklus der Glottis:

Offenquotient  $O_q = \text{Offenphase} / \text{Gesamtzyklus der Glottisschwingung}$

Einige Autoren verwenden hingegen den Schließungsquotienten, der umgekehrt die Phase des Glottisverschlusses abbilden soll. Wichtig ist in beiden Fällen der Bezug zu den tatsächlich herrschenden

Öffnungszuständen der Glottis während des Phonationszyklus im Unterschied zum Funktionsgraphen des EGG, der nur den Stimmlippenkontakt abbildet.

### 3.2.1 Untersuchungsmethoden

Um Aussagen über die Vorgänge im Larynx und die Stimmqualität treffen zu können, lassen sich einige Techniken der Beurteilung anwenden.

Hierzu gehören:

- auditive Methoden, z.B: Hörtests
- visuelle Methoden, wie Stroboskopie, Laryngoskopie, high-speed Kinematographie
- Messungen der Bewegungen im Larynx: Elektrolottographie, Echoglottographie
- digitale Verarbeitung von akustischen Signalen: Mikrophone

Während früher einzig und allein das menschliche Gehör als hinreichend genau zur Beurteilung der Qualität galt, sind inzwischen viele Parameter auch technisch mess- und beurteilbar. Die Kehlkopffunktion spielt bei diesen Betrachtungen eine entscheidende Rolle, da sie der Ort der Primärschallentstehung ist. Zugleich nimmt die Bewegung der Stimmlippen während eines Phonationszyklus großen Einfluss auf den abgestrahlten Schall, wie bereits oben beschrieben. Die meisten der technischen Verfahren zur objektiven Messung einzelner Stimmparameter konzentrieren sich folgerichtig auf die Glottisbewegung. Diese Verfahren werden unter dem Oberbegriff „Glottographie“ zusammengefasst ( Ptok 1997). Während stroboskopische Untersuchungen Aussagen über die Regelmäßigkeit der Stimmlippenschwingungen zulassen, können elektrolottographische Verfahren die Größe der Kontaktfläche der Stimmlippen bestimmen.

### 3.2.2 Funktionsweise des EGG

Das EGG (Abkürzung für Elektrolottographie, bzw. Elektrolottogramm) wurde 1957 von Fabre entwickelt. Dieses nicht-invasive Verfahren misst die Änderungen des elektrischen Widerstandes der Halsweichteile während der Phonation. Obwohl der Name es nahe legt, wird hierbei nicht die Glottisweite gemessen. Da sich die Bezeichnung EGG für das Verfahren aber inzwischen eingebürgert hat, wird dieser Name international beibehalten. Die Vorteile (s.u.) des Elektrolottogramms führten schon bald nach seiner Entwicklung zum Einsatz dieses Instrumentes im experimentellen Umfeld und zur Klärung der Gegebenheiten während der normalen Phonation (Reintsch/ Gobsch 1972, Rothenberg 1981). Die erzielten Messwerte und auch die praktische Relevanz waren jedoch lange Zeit strittig. Verschiedene Autoren kamen bei der Interpretation der Lx-Kurve (graphische Darstellung des Verlaufs der Widerstandsmessung) zu unterschiedlichen Ergebnissen. Dennoch konnte sich auch im klinischen Gebrauch diese Untersuchungsmethode durchsetzen. Angetrieben durch ein gesteigertes Interesse an den Vorgängen während des Glottiszyklus und der allgemeinen Tendenz zu technisch-apparativen Messmethoden bot sie als noninvasive und relativ kostengünstige Echtzeituntersuchung einige große Vorteile. Zusätzlich konnte eine große Anzahl von Messdaten gewonnen werden und die Untersuchung beeinflusste keine weiteren Messungen wie etwa die des glottal airflows oder stroboskopische Untersuchungen. Die gewonnenen Daten wurden allerdings zunächst uneinheitlich bewertet, und bis heute sind nicht alle Fragen geklärt. Mittlerweile hat sich jedoch die folgende Interpretation durchgesetzt:

- mit dem EGG lassen sich Impedanzänderungen messen, die von Änderungen der Stimmlippen-Kontaktflächen herrühren (Fourcin 1974, Kelman 1981, Orlikoff 1998).
- Es sind keine Aussagen über den absoluten Öffnungszustand der Stimmlippen möglich, abgebildet wird einzig das relative Verhältnis der Stimmlippen zueinander (Köster/Smith 1970). Ob die Glottis zum Zeitpunkt des maximalen Stimmlippenkontakts, gemessen anhand der EGG-Kurve, tatsächlich komplett verschlossen ist, lässt

sich ohne zusätzliche Untersuchungen nicht bestimmen (Orlikoff 1998). Ebenso muss die Glottisweite zum Zeitpunkt des größten Widerstandswertes in der Messung nicht zwangsläufig 100% entsprechen.

- Der Moment des (annähernd) kompletten Verschlusses der Stimmlippen korreliert im EGG mit dem Punkt des minimalsten Widerstandes (Baken/Orlikoff 2000).
- Der Kurvenverlauf zwischen diesen beiden Punkten spiegelt nur in weiten Teilen die Öffnungs- und Schließbewegung der Stimmlippen wider, eine exakte Bestimmung des aktuellen Zustandes ist aus dem Kurvenverlauf nicht möglich.
- Es sind mehr Informationen über die Schlussphase des Glottiszyklus als über die Offenphase zu erhalten (Baken/ Orlikoff 2000, Sataloff, S.231).
- Die Amplitude der EGG-Kurve ist nicht korreliert mit der Stimmintensität (Baken/Orlikoff 2000).

Aus dieser Aufzählung ergeben sich dann auch die Vorteile dieses Untersuchungsverfahrens, mit dem sich Pathologien der Stimmlippen-Kontaktfläche schnell und einfach erkennen lassen. Im Gegensatz zu stroboskopischen Untersuchungen findet die komplette Messung nicht-invasiv statt, d.h. es können die tatsächlichen Gegebenheiten unter realistischen Bedingungen getestet werden. Es liegt auf der Hand, dass beispielsweise Stimmlippengranulome durch die Vergrößerung der Oberfläche der Stimmlippenränder Veränderungen in der EGG-Kurve hervorrufen.

Der physische Aufbau besteht aus zwei Halselektroden, einem Oszillator zur Erzeugung einer Sinusspannung, einer Auswertungseinheit und einem Aufzeichnungsgerät.

Unter Berücksichtigung der Erkenntnis, dass menschliches Gewebe aufgrund des hohen Wassergehaltes eine gute Leitfähigkeit besitzt und Luft als Isolator wirkt, kann der Widerstand zwischen zwei Messpunkten bestimmt werden. Dazu wird ein elektrischer Strom durch das Gewebe

geleitet. Unter Anwendung des Ohm'schen Gesetzes lässt sich dann, bei bekannter Stromstärke und Spannung, der Widerstandswert des durchströmten Gewebes definieren:

$$R = U/I$$

R - Widerstand

U - Spannung

I - Stromstärke

Die Messpunkte stellen im EGG die beiden Messelektroden dar, die auf Höhe der Glottis am Hals des Probanden angebracht werden (siehe Abbildung Nr. 1). In der Theorie bilden die Stimmlippen nun die einzige veränderliche Komponente in dieser Anordnung, denn ihre Schwingungen bewirken Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit. Dabei gilt: je größer die Kontaktfläche der Stimmlippen, desto kleiner der elektrische Widerstand, da die umgebende Luftschicht als Hindernis für den Stromfluss wirkt. Da der Stromfluss aber nicht nur auf direktem Weg zwischen den beiden Elektroden stattfindet, sondern sich auch über nebenliegende Gewebeschichten, entlang von Leitungsbahnen und Strecken mit erhöhter Leitfähigkeit ausbreitet, wurde die alleinige Erfassung der Stimmlippenbewegung schnell angezweifelt. Experimentell kann jedoch durch Einbringen eines dünnen Isolatorstreifens aus Plastik zwischen die Stimmlippen und gleichzeitiger Messung des Widerstandswertes der Nachweis erbracht werden, dass es sich tatsächlich um die Messung der Stimmlippenkontaktfläche handelt ( Gilbert/ Potter/ Hoodin 1984).



Abbildung 1 (links)

Der korrekte Sitz der Messelektroden auf Höhe der Glottis kann durch Bestimmung der Signalstärke validiert werden.

Aus physikalischen Gründen (bessere Permeabilität der Hautbarriere, keine Erregung der mot. Endplatten der Halsmuskulatur etc.) wird ein hochfrequenter Wechselstrom verwendet. Die applizierten Stromstärken sind im Bereich von wenigen Milliampere, die Spannung beträgt im Regelfall circa 5 Volt.

Die oben beschriebene Messung des Widerstandes wird in der Praxis durch eine Reihe von Problemen kompliziert. Eine Störgröße sind z.B. muskulär bedingte Bewegungsartefakte. Auch die Einstellbewegungen der Kehlkopfmuskulatur verändern die Impedanz in weit größerem Ausmaß als es die relativ geringen Widerstandsänderungen der Stimmlippenkontaktfläche hervorrufen. Und auch individuelle Faktoren wie der Hautwiderstand und das als elektrischer Isolator wirkende subkutane Fettgewebe sind in weiten Bereichen veränderlich. Um diese Art von Fehlerquellen zu umgehen, sind zusätzliche technische Bauteile nötig. Frequenzfilter, die in die Geräte integriert sind, lassen nur die schnellen Impedanzänderungen passieren. Die langsamen Impedanzänderungen entsprechen am ehesten den muskulären Einstellbewegungen zu Beginn und Ende der Phonation und werden meistens nicht weiter beachtet. Eine Verstärkerstufe amplifiziert die Signale, die sonst aufgrund der geringen Amplitude nur schwer oder gar nicht auszuwerten wären. In der Diskussion der Ergebnisse wird näher auf die Fehlerquellen und Störgrößen der EGG-Anwendung eingegangen.

Trotz der vielen Einschränkungen hat sich die EGG-Untersuchung aufgrund ihrer leichten Durchführbarkeit, des großen Anwendungsspektrums zur Diagnose von Veränderungen des Stimmlippenkontaktes während der Phonation und da es sich um eine Echtzeituntersuchung handelt, im klinischen Alltag durchsetzen können.

### 3.2.3 Lx-Kurve

Die graphische Funktion der bereits gefilterten und verstärkten Signale des EGG wurde von Fourcin (1981) als Lx-Kurve titulierte. Sie setzt sich aus einer Anzahl von untrennbar miteinander verbundenen Signalen zusammen, die während eines Phonationszyklus auftreten (Baken/Orlikoff, 421 f.). Obwohl die alleinige Betrachtung der Stimmlippenschwingungen also nicht möglich ist, lassen sich dennoch eine ganze Reihe von Aussagen anhand des Kurvenverlaufs ableiten (Titze 1984/1989, Painter 1988/1990, Larson, Ramig, Scherer 1994). Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Korrelation zwischen tatsächlicher Glottisphase und Lx-Kurve nicht möglich ist, wie die Arbeiten von Lecluse zeigten. Dieser hatte simultane elektroglottographische und synchronstroboskopische Untersuchungen durchgeführt und kam zu dem Schluss, dass die Lx-Kurve zwar den etwaigen Verlauf des Glottiszyklus nachbildet, jedoch keine direkte Korrelation möglich ist (Lecluse 1974/1977, Lecluse, Brocaar, Verschuure 1975). Folglich wurden von Baken et al die Interpretationen der Lx-Kurve in Bezug auf den Phonationszyklus gefordert, da auf diese Weise klar werden würde, dass „maximaler Stimmlippenkontakt“ nicht mit einem kompletten Glottisverschluss gleichzusetzen sei (Baken/Orlikoff 2000, S. 426, Baer, Löfqvist, McGarr 1983, Orlikoff 1998).

### 3.3.0 Idealisierter Lx-Kurvenverlauf

Eine idealisierte Lx-Kurve ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Stimmlippenkontaktfläche ist auf der Y-Achse zunehmend dargestellt. Diese Angabe ist beim Literaturvergleich wichtig, da die Darstellung von Autor zu Autor abweichen kann (Marasek 1997). Hier soll der Empfehlung des Voice Committee der IALP (Baken 1992) folgend die Darstellung mit zunehmender Kontaktfläche auf der Y-Achse erfolgen. Punkt 1 entspricht dann einer minimalen Kontaktfläche (größter Widerstandswert) der Stimmlippen. Der steile Anstieg der Kurve ab Punkt 2 kennzeichnet den Beginn des Stimmlippenverschlusses, wenn sich die unteren Ränder einander nähern. Der leichte „Knick“ im Kurvenverlauf wird von den meisten Autoren, der Auffassung Fourcins (1981) folgend, mit der

Ausbildung einer Schleimbrücke zwischen den beiden Stimmbändern erklärt. Diese reduziert den elektrischen Widerstand und es kommt zu einem plötzlichen Kurvenanstieg. Im oberen Plateau der Kurve (Abschnitt 3) ist der Widerstandswert am geringsten, die Stimmlippen haben hier maximalen Kontakt. Am abfallenden Schenkel der Kurve (Abschnitt 4) trennen sich die Stimmlippen wieder, der Widerstand steigt an und erreicht einen Maximalwert, wenn die Kontaktfläche minimal ist. Die Glottis ist an dieser Stelle geöffnet, der Widerstand kann deshalb nicht weiter ansteigen – auch wenn sich die Glottisweite noch verändern sollte, ist dieses aus der Impedanzmessung nicht zu erkennen. Anhand zahlreicher Studien, photoglottographischer und stroboskopischer Untersuchungen und Ultra-high speed Aufnahmen konnte die Übereinstimmung zwischen Kurvenverlauf und Stimmlippenbewegung, insbesondere der vertikalen Kontaktfläche, nachgewiesen werden (Scherer, Druker, Titze 1988, Fourcin 1981, Rothenberg 1981, Van Michel, Pfister, Luchsinger 1970, Childers, Krishnamurthy 1985, Baer, Titze, Yoshioka 1983). Jede weitergehende Interpretation ist aufgrund der Vielzahl der möglichen Einflüsse problematisch. Auch sollte eine direkte Korrelation zum Glottiszyklus unterbleiben, wie bereits weiter oben beschrieben.

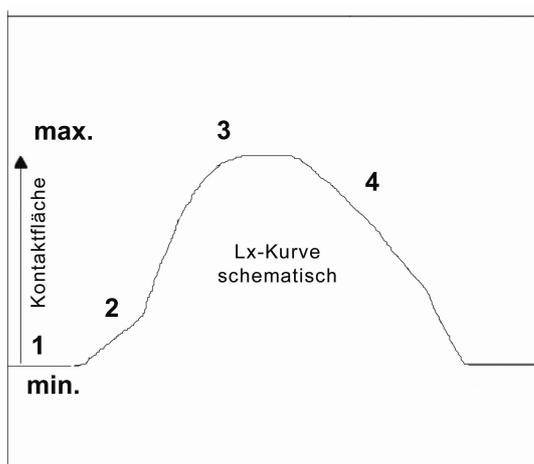


Abbildung 2 (links)  
Schematischer Aufbau der Lx-Kurve (modifiziert nach Rothenberg 1981),  
Erklärungen im Text.

### 3.3.1 Closed-phase Quotient oder Kontaktquotient

Aus der Lx-Kurve lassen sich Rückschlüsse auf die Kontaktfläche der Stimmlippen, nicht jedoch auf die Glottisweite ziehen. Um dennoch eine leicht zugängliche Quelle für Untersuchungen des Phonationszyklus in vivo hinsichtlich des Öffnungszustandes zu haben, kann der Kontaktquotient bestimmt werden. Er ist definiert als derjenige Anteil des gesamten Schwingungszyklus, in dem die Kontaktfläche einen bestimmten Minimalwert, meist 30% der Amplitudenhöhe einer Lx-Schwingung, überschreitet (Fourcin, 1997, Rothenberg, Mashie 1988, Scherer, Druker, Titze 1988, Orlikoff 1991, Houben, Buekers, Kingma 1992). In einigen Publikationen wird ebenfalls der Name „closed phase quotient“ für diese Größe verwendet. Wie schon erwähnt, handelt es sich, genau genommen, aber nicht um ein Maß des Glottisverschlusses, weshalb hier, wenn immer möglich, auf diese Bezeichnung verzichtet wird.

Mathematisch errechnet sich der Kontaktquotient als:

$$\text{Kontaktquotient} = (\text{Kontaktphase} / \text{Gesamtzyklus}) \times 100\%$$

Die Software Speech studio berechnet den Kontaktquotient automatisch und gibt die Werte unter der Bezeichnung „Qx“ wieder.

In der normalen Sprechstimmlage bei Stimmgesunden hat der Kontaktquotient eine Größe von circa 40-60%. Normwerte zur Größe des Quotienten etwa bei gehauchten, normalen und harten Stimmeinsätzen lassen sich aufgrund unterschiedlicher Auswertungsarten nicht angeben<sup>2</sup> (Winkler/ Sendlmeier 2005). Geschlechtsspezifische Unterschiede des Kontaktquotienten sind nicht signifikant (Scherer et al 1995, Orlikoff et al 1997). Mit zunehmender Stimmhöhe ( $F_0$ ) konnte bei Frauen eine Zunahme des Kontaktquotienten beobachtet werden. (Lindsey et al 1988, Howard 1995). Mit zunehmender Stimmintensität steigt der Kontaktquotient ebenfalls an (Hacki 1989,1996, Dromey et al 1992).

---

<sup>2</sup> siehe auch unter Kap. 7: Eingrenzung des Kontaktquotienten

## 4. Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, mögliche Einflüsse des Stimmeinsatzes auf die stationäre Phase der Stimmgebung zu untersuchen. Dabei sollte die Hypothese überprüft werden, dass bei einem harten Stimmeinsatz immer auch eine gepresste Stimmgebung und bei einem gehauchten Stimmeinsatz immer auch eine behauchte Stimmgebung folgt und somit die stationäre Phase der Stimmgebung abhängig von der Qualität des Stimmeinsatzes ist. Dies ist insbesondere bei harten, unphysiologischen Einsätzen von Bedeutung, da diese Pathologien hervorrufen können. Als besonders geeignetes Instrument zur Überprüfung des Stimmlippenkontaktes und des hieraus resultierenden Stimmeinsatzes gilt das EEG. Diese einfache Messung der Impedanzänderungen am Kehlkopf erlaubt gute Rückschlüsse auf den Schwingungsverlauf und den Kontakt der Stimmlippen, ohne die Nachteile invasiver Messmethoden zu bieten. Somit bietet sie ideale Voraussetzungen, um ein möglichst genaues Profil des Stimmlippenkontakts über einen längeren Zeitraum (gehaltene Phonation) zu erhalten.

Die Einflüsse des Stimmeinsatzes und die Verifizierung oder Falsifizierung der Hypothese könnten einen wichtigen Aspekt für zukünftige, stimmtherapeutische Maßnahmen darstellen.

## 5. Methodik

### 5.1.0 Testkonzeption und Zielsetzung

Zur Beantwortung der Fragestellung sollten Testreihen an Probanden durchgeführt werden. Durch Aufzeichnung und Auswertung der EGG-Signale während der Phonation sollten Daten über den Verlauf des Kontaktquotienten gesammelt werden. Dieser erlaubt Rückschlüsse auf die Kontaktflächenänderung der Stimmlippen und, unter Berücksichtigung der schon beschriebenen Einschränkungen, den Öffnungszustand der Glottis.

In Absprache mit dem Institut für medizinische Statistik des Universitätsklinikums Hamburg- Eppendorf wurden folgende Zielsetzungen definiert:

- a) Primäre Zielgröße ist die Steigung der Geraden der Q<sub>x</sub>-Werte im Zeitraum von 100-1100 ms nach Beginn der Phonation, getrennt nach Geschlecht.
- b) Sekundäre Zielgröße sind die Mittelwerte des Kontaktquotienten über die Dauer von 100 Millisekunden, bestimmt im Zeitraum 0-100ms und 1000-1100 ms nach Beginn der Phonation.

Hypothesen:

H<sub>0</sub>: Der Kontaktquotient wird durch den Stimmeinsatz nicht beeinflusst.  
( $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ )

H<sub>1</sub>: Mindestens ein Erwartungswert für den Kontaktquotient unterscheidet sich von den anderen.

Zur praktischen Überprüfung der Hypothese wurde ein einfacher Blindversuch mit einer Mindestteilnehmerzahl von 40 Personen durchgeführt. Die nötige Anzahl der Probanden errechnete sich, legt man einen Fehler 1. Art von 5% und eine Macht von 80% zur Aufdeckung eines minimal medizinisch relevanten Unterschiedes von 0,5 Standardabweichungen zwischen den Erwartungswerten zugrunde und geht zudem von einer Korrelation der Kontaktquotienten innerhalb der Person von 0,5 aus. Um Perioden- und/oder Carry-over Effekte auszuschließen, wurde die

Durchführung der Phonation durch eine Logopädin überprüft. Die Reihenfolge der Phonation wurde nach der Methode der permutierten Blöcke anhand eines Randomisationsplanes festgelegt. Insgesamt wurden 49 Probanden untersucht.

Die Auswertung der Messdaten sollte deskriptiv erfolgen, mittels tabellarischer Darstellung von Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum sowie einer Aufteilung nach Geschlecht der Testpersonen.

#### 5.1.1 Probandenrekrutierung und Einschlußkriterien

Die Teilnehmer der vorliegenden Studie rekrutierten sich vollständig aus freiwilligen Probanden, die über Mund-zu-Mund Propaganda und Aushänge an schwarzen Brettern der Universität Hamburg, Fachbereich Medizin, gewonnen wurden. Es handelte sich somit um eine heterogene Gruppe aus männlichen und weiblichen Teilnehmern der geforderten Altersstruktur. Da es sich bei der durchgeführten Arbeit um keine invasive Messmethode handelte und außer der gehaltenen Phonation keine weiteren Anforderungen an die Probanden gestellt wurden, war eine Bewilligung durch die Ethikkommission nicht erforderlich.

An die Probanden wurden folgende Einschlusskriterien gestellt:

Das Alter sollte zwischen 20 und 55 Jahren liegen. Dies entspricht der Erwachsenenstimme. Die Probanden sollten sich jeweils zur Hälfte aus männlichen und weiblichen Teilnehmern rekrutieren. Eine Mindestanzahl von 40 Personen sollte sich zur Teilnahme bereit erklären. Die Probanden sollten gesund sein, voll geschäftsfähig und nicht erkennbar schwanger. Um etwaige Einflüsse sprachspezifischer Besonderheiten auszuschließen, wurden nur Personen mit deutscher Muttersprache in die Untersuchung einbezogen. Ein weiteres Kriterium war die auditive Selbstwahrnehmung und die Umsetzungsfähigkeit der Anweisungen durch den Probanden. Konnten die gewünschten Stimmeinsätze durch den Probanden nicht erzeugt werden, wurde die Messung zwar weitergeführt, die Ergebnisse wurden jedoch nicht in die Auswertung einbezogen. Dieses Verfahren

wurde gewählt, da es sich um eine freiwillige Teilnahme handelte und verhindert werden sollte, dass weitere Personen der Messung fernblieben in der Ansicht, ihre Stimme sei eventuell nicht geeignet. Vor der Testdurchführung wurde in einem kurzen Gespräch die bevorstehende Aufgabenstellung erläutert, ohne den Probanden die Fragestellung der vorliegenden Arbeit zu erklären. Auch nach Beendigung der Datenerhebung wurden auf Nachfragen der Probanden keine weiteren Angaben gemacht. Nach Abschluss der gesamten Datenerhebung hatten die Teilnehmer die Möglichkeit, die Fragestellung zu erfahren. Dieses Vorgehen wählten wir, da es sich in der vorliegenden Arbeit um eine Blindstudie handelt und die Verbreitung der Fragestellung unter den Teilnehmern negative Auswirkungen auf die erfassten Daten hätte haben können.

#### 5.1.2 Durchführung der Aufgabenstellung

Allen Probanden wurde vor Testbeginn die durchzuführende Phonation und die unterschiedlichen Qualitäten des Stimmesinsatzes erklärt. Diese Instruktionen bezogen sich jedoch nur auf den Stimmesinsatz, nicht aber auf die Qualität der daran anschließenden Phonation, um die Validität der Messergebnisse nicht zu gefährden. Jede Testperson sollte dann ein Beispiel für den gewünschten Stimmesinsatz phonieren. Eine erfahrene Logopädin führte eine auditive Evaluation der Probandenstimmen durch. Probanden, die nicht zweifelsfrei stimmgesund waren, wurden nicht in die Untersuchung eingeschlossen. Jedem Probanden wurde eine Nummer zugeteilt, nach der die Reihenfolge der Einsatzqualitäten gemäß des im Anhang eingefügten Randomisationsplans festgelegt wurde. Auf den Laut /a/ wurde in neun Messreihen jeweils dreimal hintereinander eine bestimmte Qualität des Stimmesinsatzes phoniert. Die jeweils erste Messung in einem Triplet wurde verworfen, ebenso die letzte Messung, um den Kriterien des Blindversuches zu entsprechen und den Testpersonen Gelegenheit zu geben, sich an das Testumfeld zu gewöhnen. Auf diese Weise wurden von den ursprünglichen 27 Phonationen pro Proband nur 9 für die Auswertung herangezogen- und zwar für jede der drei Einsatzqualitäten "weich", "physiologisch" und "hart" drei Phonationen

pro Testperson. Jede dieser Einzelphonationen sollte dabei mind. 3 Sekunden gehalten werden. Das Erreichen des Zeitlimits wurde dem Probanden per Handzeichen signalisiert. Es wurde genau auf die Einhaltung eines normierten Mund-Mikrofon Abstandes bei den einzelnen Testpersonen geachtet, um den Einfluß der Phonationslautstärke auf die Messung zu minimieren. Ebenso genau wurde auf die korrekte Anbringung der Halselektroden geachtet. Jeder Proband wurde instruiert, alle Phonationen in derselben Intensität und Tonhöhe zu halten. Dies wurde durch den Tester und die Logopädin überwacht und beurteilt. Vor jeder Messung wurde durch eine Probephonation die bestmögliche Ableitung des Signals ermittelt. Bei Bedarf konnte durch minimale Lageänderungen der beiden Elektroden das Signal optimiert werden. Die anwesende Logopädin beurteilte die Verwertbarkeit der Phonation im Rahmen der Fragestellung. Messungen konnten wiederholt werden, wenn sie nicht beurteilbar waren. Dies war der Fall z.B. bei technischen Problemen (Aufzeichnung setzte nicht rechtzeitig ein, Softwareprobleme während der Phonation, Speicherkapazität war erschöpft), bei Störgeräuschen aus dem Hintergrund (Lüfter anderer Instrumente im Untersuchungsraum, Baustellenlärm, vorüber fahrende Busse) oder wenn die gewünschte Stimmeinsatzqualität nicht erzielt werden konnte.

#### 5.1.3 Geräte zur Datenerfassung und -bearbeitung

Die Daten wurden unter Verwendung des Laryngograph processors der Firma Laryngograph Ltd., London akquiriert. Dieses Gerät stellt einen transportablen Laryngographen, einen Mikrofonverstärker und verschiedene Filtersysteme zur Verfügung, deren Ausgangssignale sich aufzeichnen lassen. Für diese Arbeit wurde jedoch die (wahlweise am Prozessor einzustellende) Möglichkeit der direkten Einspeisung der Daten in ein EDV-System genutzt. Die Ableitung der EGG-Signale geschieht über Sensoren, die mittels eines Halsbandes mit Klettverschluss positioniert werden. An den Ableitungskabeln befindet sich auch das Mikrofon, das die Tonsignale erfasst.

Im Live-Betriebsmodus, d.h. bei der direkten Erfassung der Messdaten ohne vorherige Zwischenspeicherung auf Datenträgern, werden die Ausgangssignale des Laryngograph processors über eine Kabelverbindung in einen PC gespeist. Hier übernimmt eine ISA-Einsteckkarte die weitere Prozessierung der Daten und stellt diese der Auswertungssoftware zur Verfügung.

Zum Einsatz kam ein Siemens Science Rechner mit 600 MHz, 40 Gb Festplatte und Windows 98 SE Betriebssystem.

#### 5.1.4 Software zur Analyse der Daten

Verwendet wurde die Software „Lx Speech Studio“ der Firma Laryngograph Ltd. Dieses Programm besteht aus zwei Anwendungen: SPEAD (Speech Pattern Element Acquisition and Display) und Qa (Quantitative Analysis).

Das Programm SPEAD verwendet die Daten des Laryngograph Processors und der PCLX Karte, bereitet diese graphisch auf und stellt eine Oberfläche zur Überwachung der Messung bereit. In Echtzeit lassen sich so u.a. analoge Wellenformen, Frequenzspektren, Lx Kontaktquotient und nasale Anteile darstellen. Gleichzeitig werden die Daten auf der Festplatte des Rechners gespeichert. Nach Beendigung der Messung stehen dem Untersucher die Wave-Datei der aufgezeichneten Audiosignale und eine weitere Datei mit Parametern der Messung, die vom Programm angelegt wurde, zur Verfügung. Es lassen sich bis zu 60 min. Audiosignale aufzeichnen. Durch Markieren der zu untersuchenden Abschnitte können einzelne Amplituden oder Kurvenverläufe vergrößert werden. Ebenfalls können ganze Messungen auf einem Bildschirm dargestellt werden, was das Auffinden bestimmter Passagen erleichtert. Bereits markierte Abschnitte werden invers dargestellt und können ausgelesen oder einer statistischen Auswertung zugeführt werden.

Die Anwendung „Quantitative Analysis“ führt eine Reihe unterschiedlicher statistischer Berechnungen durch. So lassen sich beispielsweise Diagramme und Verteilungsmuster als Graphen darstellen, die dann ausgedruckt werden können. Für die vorliegende Arbeit konnte diese Funktion allerdings nicht genutzt werden, da die zu untersuchenden Daten zu umfangreich waren und speziellere Abfragen als die Standardfunktionen der Software nötig waren.

#### 5.1.5 Datenprozessierung

Stattdessen musste ein anderer, aufwändigerer Weg beschritten werden. Zunächst mussten mehrere Modifikationen an der Erfassungssoftware vorgenommen werden. In der Auslieferungsversion verfügte diese nicht über die Möglichkeit, die für die vorliegende Arbeit relevanten Daten in maschinenlesbarer Form auszugeben. Da die rein graphische Auswertung der Messdaten aber für eine statistische Validierung nicht ausreicht, war es nötig eine Möglichkeit zu schaffen, alle Messwerte in Form von Textdateien auszulesen. Mit der freundlichen Hilfe des Entwicklers des Programms in London wurden schließlich die erforderlichen Änderungen an der Originalsoftware vorgenommen und eingepflegt.

Aus den erfassten Rohdaten der jeweils dreimalig durchgeführten Phonation wurde manuell die zweite Messung herausgesucht. Laut Fragestellung der vorliegenden Arbeit sollte nur diese Messung betrachtet werden. Die beiden anderen Messungen wurden verworfen. Im Anschluß daran konnten .txt-Dateien aus den Daten erstellt werden, die manuell in Excel<sup>3</sup>-Tabellen übernommen wurden.

---

<sup>3</sup> geschützte Bezeichnung der Microsoft Corporation 1987-2007

### 5.1.6 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung der so prozessierten Einzelmessungen geschah mit StatView 5.0® der Firma SAS (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina 27513, USA). Dieses Programm ist in der Lage, aus den vorgelegten Excel®-Tabellen die relevanten Berechnungen wie p-Wert, Regressionskoeffizient, Korrelationskoeffizient etc. zu errechnen. Eine Berechnung mittels Excel® ist zwar grundsätzlich auch möglich, doch hätten bei jeder der circa 500 Messungen manuell Start- und Endzeiten der Einzelwerte herausgesucht und in bis zu 5 Abfragen eingefügt werden müssen. Aus Gründen der Ökonomie und um Fehlerquellen, wie unpräzise Eingrenzung der Messdatenreihen und Übertragungsfehler zu vermeiden, wurde die Berechnung deshalb mit StatView® durchgeführt.

Zur weiteren Verarbeitung der Daten wurde erneut eine Excel-Tabelle angefertigt, in die per Hand die relevanten Ergebnisse der StatView Auswertung eingetragen wurden. Diese Tabelle<sup>4</sup> diente als Grundlage für die deskriptiven Auswertungen nach folgendem Muster:

Zur Beschreibung der kontinuierlichen Variablen wurden Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet und als solche angegeben (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung).

Bei unabhängigen Stichproben wurde zur Bestimmung der Signifikanz von Mittelwertunterschieden zwischen mehr als zwei Gruppen der Kruskal-Wallis-H-Test durchgeführt (Bortz und Lienert 1998).

Zur Bestimmung von Mittelwertunterschieden zweier Gruppen und der statistischen Signifikanz dieser Unterschiede (p-Wert) kam der verteilungsfreie (nonparametrische) Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben zum Einsatz.

Die Bestimmung des Regressionskoeffizienten diente nur zur Beschreibung der Steigung der Geraden.

---

<sup>4</sup> siehe Anhang S.68, Tabelle 15.

### 5.1.7 Auswertung

Die Betrachtung einzelner Qx-Werte oder der interindividuelle Vergleich ist zur Beantwortung der Fragestellung nicht relevant. Die Gründe liegen in der schlechten Vergleichbarkeit der Messwerte, da diese stark von individuellen, akustischen und frequenzbedingten Faktoren abhängen, wie bereits weiter oben erläutert. Stattdessen wird in der vorliegenden Arbeit der temporäre Verlauf der Werte über einen definierten Zeitraum von 1000ms betrachtet. Hierfür ist die Steigung der Geraden geeignet. Bei positiven Steigungen nimmt der Kontaktquotient zu, bei negativen entsprechend ab. Die Steigung der Geraden ist dimensionslos und kann verglichen werden. Die ersten 100ms jedes Phonationszyklus bilden die Einschwingzeit der Stimmlippen<sup>5</sup> und wurden bei der Auswertung in Form der Qx-Mittelwerte abgebildet. Ebenso wurden die Qx-Mittelwerte des Zeitraums 1000-1100ms abgebildet. Die Angaben erfolgten jeweils inklusive der Standardabweichung (siehe Graphik Nr.14 u. 15, S. 65 f.). Um die Möglichkeit zu erhalten, den intraindividuellen Verlauf des Kontaktquotienten über alle drei Stimmeinsatzqualitäten in der stationären Phase (nach 1 sec. gehaltener Phonation) zu verfolgen, wurden über 100ms die Qx-Werte gemittelt und für jede Person und nach Geschlecht getrennt als Kurvengraphik dargestellt (Abbildung Nr. 3 und 4, S. 34 f.).

## 6. Ergebnisse

Die Steigung der Geraden der Qx-Funktion ist bei beiden Geschlechtern für den gehauchten Stimmeinsatz positiv. Im Vergleich zeigt sich bei den weiblichen Teilnehmern aber eine deutlich größere, d.h. steilere Steigung ( $66 \times 10^{-4}$  bei den Frauen,  $16 \times 10^{-4}$  bei den Männern). Dieser Unterschied ist noch nicht signifikant ( $p=0,0603$ ), es lässt sich aber eine eindeutige Tendenz erkennen.

---

<sup>5</sup> siehe auch Abbildung Nr. 8, Seite 46

Ebenso verhält es sich bei den physiologischen Stimmeinsätzen. Bei beiden Geschlechtern sind die Steigungen positiv, jedoch ist wiederum bei den Frauen die steilere Kurve zu erkennen (Frauen:  $18 \times 10^{-4}$ , Männer:  $6 \times 10^{-4}$ ). Auch hier lässt sich eine Tendenz im Vergleich zwischen den Geschlechtern erkennen, die aber ebenfalls nicht signifikant ( $p=0,0617$ ) ist.

Die harten Stimmeinsätze sind bei den männlichen Versuchspersonen durch eine geringfügig negative Steigung der Qx-Funktion gekennzeichnet ( $-3 \times 10^{-4}$ ). Dieser Messwert ist besonders hervorzuheben, da er als Einziger ein negatives Vorzeichen besitzt, wenngleich die Gerade vergleichsweise flach ausfällt. Im Gegensatz dazu ist die Steigung der Qx-Funktion bei den weiblichen Probanden positiv und sehr viel steiler ( $+8,5 \times 10^{-4}$ ). Bei Betrachtung des Gesamtbildes handelt es sich allerdings auch hier um eine nur flache Kurve. Im Vergleich zwischen den Geschlechtern ergibt sich keine Signifikanz ( $p=0,518$ )

Bei Betrachtung der Zahlenreihen fällt auf, dass es bei den weiblichen Probanden zu steileren Steigungen kommt als bei den männlichen. Bei Letzteren sind die Kurvenverläufe deutlich flacher und die Streuung der Qx-Steigungskurve ist größer (sie reicht von  $-3 \times 10^{-4}$  bis  $+16 \times 10^{-4}$ ).

Bei den Frauen der Untersuchungsgruppe ist die Streuung der Steigungen nicht so ausgeprägt; insgesamt kommt es zu einem steileren Kurvenverlauf.

Anhand dieser Ergebnisse lässt sich zeigen, dass der Kontaktquotient bei gehaltener Phonation und gehauchten sowie physiologischen Stimmeinsätzen tendenziell größer wird. Das Ausmaß der Zunahme ist bei den Frauen größer als bei den Männern der untersuchten Probandengruppe. Diese Unterschiede sind statistisch nicht signifikant, weisen aber eine Tendenz auf ( $p=0,06$  und  $0,061$ ).

Anders verhält es sich bei gepressten, harten Stimmeinsätzen. Hier zeigen sich in der Probandengruppe bei den Männern leicht abfallende Werte, bei den Frauen kommt es hingegen zu einer leichten Steigerung des

Kontaktquotienten. In beiden Fällen sind die Änderungen jedoch sehr gering, somit fällt auch die Steigung annähernd neutral aus, und es besteht weiterhin kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Auf die Fragestellung bezogen lässt sich also feststellen, dass einem harten Stimmeinsatz auch eine gepresste stationäre Phase der Stimmgebung folgt.

In Abbildung 3 und 4 sind die intraindividuellen Verläufe des Kontaktquotienten während der drei Stimmeinsatzqualitäten aufgezeigt. Zugrunde liegt die Auswertung eines 100ms langen Teilstücks einer jeden Stimmeinsatzqualität, zwischen den Abschnitten 1000 bis 1100 ms. Die Ergebnisse aller drei Messdurchläufe pro Qualität des Stimmeinsatzes wurden dann gemittelt und als Punktwert, für jeden Probanden einzeln, in die Tabelle eingefügt.

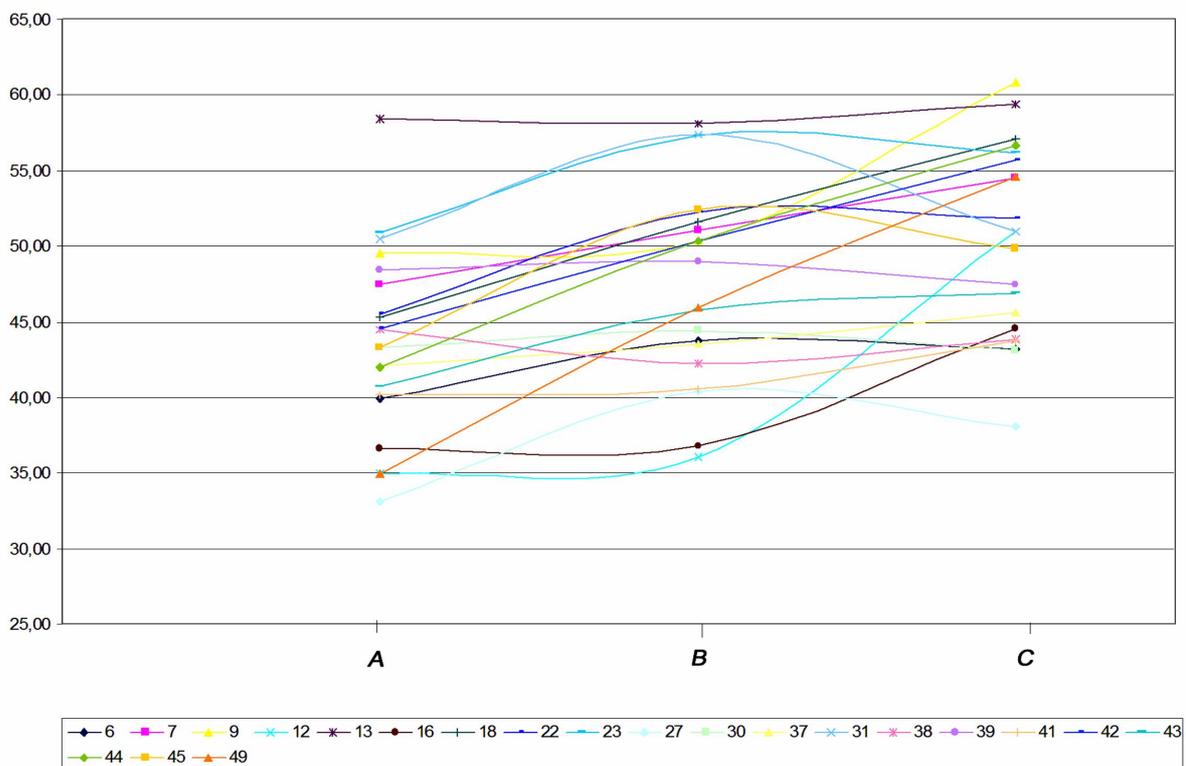


Abb. 3: Tabelle der intraindividuellen Verläufe des CQ in der stationären Phase bei männlichen Probanden.

X-Achse: Stimmeinsatz: A= gehaucht, B= normal, C= hart

Y-Achse: Kontaktquotient in Prozent

Legende: Probandennummer/ individuelle Zuordnung

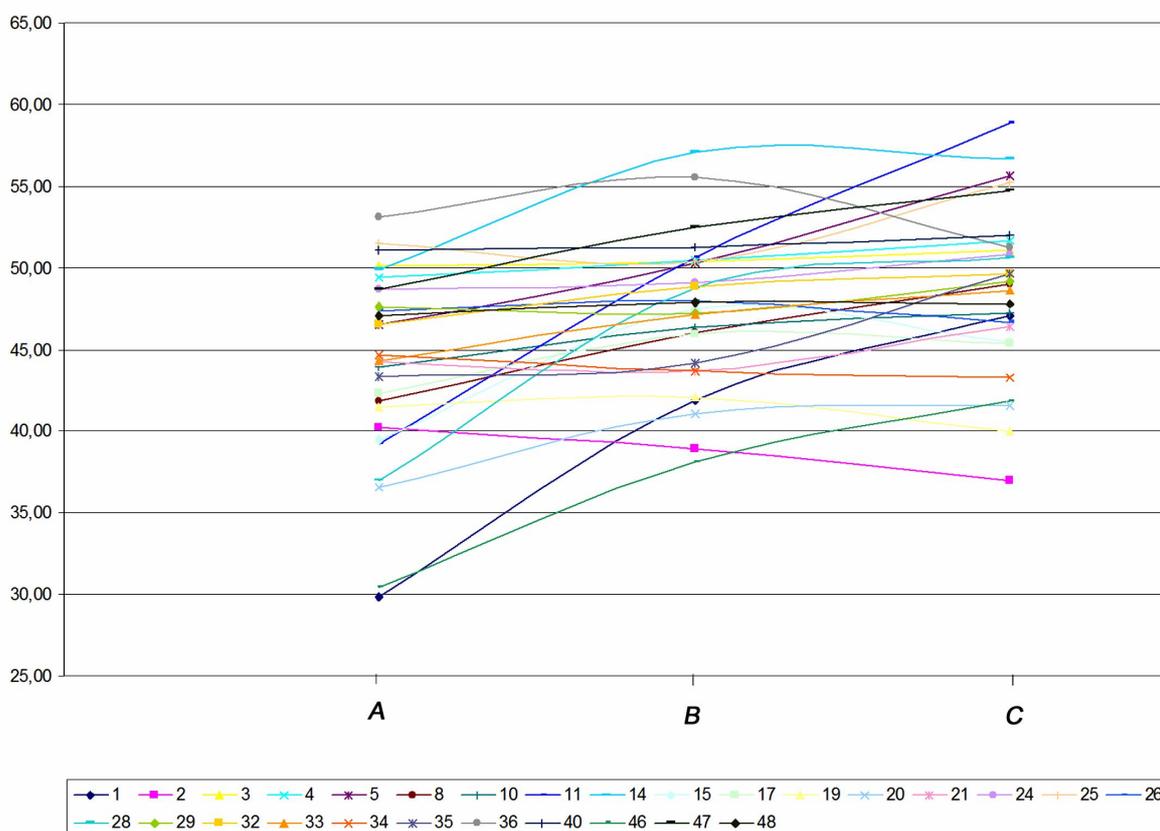


Abb. 4: Tabelle der intraindividuellen Verläufe des CQ in der stationären Phase bei weiblichen Probanden.

X-Achse: Stimmeinsatz: A= gehaucht, B= normal, C= hart

Y-Achse: Kontaktquotient in Prozent

Legende: Probandennummer/ individuelle Zuordnung

Trotz annähernd gleicher Stimmintensität kann man eine Zunahme des Kontaktquotienten vom gehauchten hin zum harten Stimmeinsatz bei der Mehrheit der Probanden beobachten. Dieser Eindruck bestätigt die Ergebnisse der statistisch-deskriptiven Auswertung, die weiter oben beschrieben wurden. Auch im intraindividuellen Verlauf kann eine Steigerung des Kontaktquotienten beobachtet werden, die offensichtlich nicht von anderen Faktoren wie Stimmintensität oder Stimmhöhe hervorgerufen wird.

## 7. Diskussion

### 7.1.0 Einleitung und Epikrise

Aus Untersuchungen ist bekannt, dass es mit zunehmender Stimmintensität zu einer Verlagerung der Phasenverhältnisse des Glottiszyklus kommt. Die Schlussphase verlängert sich gegenüber der Öffnungsphase (Sonesson 1960, Seidner/Wendler 1997, Schade 2003). Damit steigt der Kontaktquotient bei gleichzeitig ansteigendem dB-Level an (Hacki 1989, 1996, Dromey et al 1992). In den vorliegenden Messreihen konnte trotz gleichbleibenden oder sogar leicht (bis circa 5 dB) fallenden Lautstärken eine Zunahme des Kontaktquotienten beobachtet werden. Dieses Ergebnis bezieht sich auf normale und gehauchte Stimmeinsätze.

Im Falle der harten Stimmeinsätze scheint der Kontaktquotient eher beständig hoch zu bleiben. Bei männlichen und weiblichen Probanden sind die Steigungen der harten Phonation bis zum Faktor 10 geringer als bei den anderen Einsatzqualitäten. Der Vergleich zwischen den Geschlechtern ergibt bei harten Stimmeinsätzen keine Signifikanz, eine Tendenz ist ebenfalls nicht zu erkennen. Es handelt sich eher um eine zufällige Anordnung ( $p=0,518$ ) Insofern ist der zunächst gewonnene Eindruck, es handele sich bei der negativen Steigung des harten Stimmeinsatzes der Männer um eine Besonderheit, zu relativieren. Die vorliegende Arbeit sollte die Frage beantworten, ob einem harten Stimmeinsatz stets auch eine gepresste Stimmgebung folgt. In der untersuchten Probandengruppe konnten für die harten Stimmeinsätze nur sehr geringe Veränderungen des Kontaktquotienten über eine stationäre Phase von 1000ms festgestellt werden. Daraus lässt sich folgern, dass den harten Stimmeinsätzen in den von uns untersuchten Probanden auch eine gepresste Stimmgebung folgte.

Während also bei harten Einsätzen häufig im Anschluss gepresst wird, zeigte sich, dass bei gehauchten und normalen, physiologischen Stimmeinsätzen selten eine gepresste stationäre Phase folgte. Zwar kommt es auch bei den Einsatzqualitäten „gehaucht“ und „physiologisch“ zu

einem Anstieg des CQ und damit einer Zunahme des Stimmlippenkontaktes. Bei den weiblichen Probanden ist diese positive Steigung deutlicher, vor allem bei den gehauchten Einsätzen. Dennoch erreichen die Messwerte nicht die Grenzen einer gepressten Stimmlage<sup>6</sup>.

Dieses Ergebnis ist, übertragen auf die klinische Arbeit, ein interessanter Aspekt und könnte bei der Planung und Beurteilung von logopädischen Therapieansätzen Beachtung finden.

### 7.1.1 Diskussion

Der CQ-Anstieg bei der gehauchten Einsatzqualität ist nicht weiter verwunderlich, setzt man ein Bestreben des Stimmapparates, in die Indifferenzlage zurück zu kehren, voraus. Bei den weiblichen Probanden scheint es zu einer stärkeren Rückstellung der Stimmbänder zu kommen als bei den Männern, da die Steigungen bei den Frauen deutlich positiver ausfallen. Aber auch bei den physiologischen Einsätzen lässt sich eine Zunahme des Kontaktquotienten beobachten. Obgleich aus Untersuchungen bekannt ist, dass die Erhebung von EGG-Daten bei Kindern und Frauen aufgrund der geringeren Masse der schwingenden Stimmlippen, weiter gestellter knorpeliger Anteile der Thyroidea und unterschiedlichen Verteilungsverhältnissen der Gewebe zueinander erschwert sein kann (Colton & Conture, 1990), findet sich kein Hinweis auf ein Ansteigen des CQ während gehaltener Phonation bei weiblichen Probanden. Ob dieser Anstieg aber ein Anzeichen dafür sein kann, dass Frauen jede Phonation „behauchter“ beginnen, und deshalb die Steigerung des Kontaktquotienten stärker und ausgeprägter auftritt als bei Männern, müsste noch untersucht werden. Marasek beschreibt eine Untersuchung der englischen Laute /h/ und /l/ mittels inverser Filtertechnik und dem L-F (Liljencrants-Fant) voice source model (Fant, 1995), die einen signifikanten Unterschied in den Offenquotienten erbrachte. Die Laute auf /h/ hatten einen größeren Offenquotienten als die Laute auf /l/. Da alle Phonationen in unseren

---

<sup>6</sup> siehe auch Abbildung Nr. 4, Seite 35

Messungen auf den denselben Laut /a/ ausgeführt wurden, sind solche Effekte ausgeschlossen.

Wie schon erwähnt, ist das EGG kein Verfahren, mit dem sich absolute Werte erzielen lassen. Vielmehr muss die Interpretation der Messreihen unter Berücksichtigung zahlreicher Nebenfaktoren erfolgen, die jeweils Einfluss auf die Ergebnisse nehmen. So weisen Isshiki, Neimann und Seidner darauf hin, dass mit zunehmendem Tonhalten auch eine Steigerung der pathologischen Merkmale auftritt (*Isshiki 1967, Neimann 1981, Seidner 1975*). Bei der Interpretation der Ergebnisse darf auch nicht außer Acht gelassen werden, dass es in der gesprochenen Sprache kaum Situationen gibt, in denen ein einzelner Laut länger als wenige hundertstel Sekunden gehalten wird. Die unter Studienbedingungen geforderten Phonationszeiten von bis zu 3 Sekunden sind damit nicht physiologisch und können nur unter wissenschaftlichen Kriterien betrachtet werden.

Die möglichen Störeinflüsse bei der Datenerfassung und Auswertung werden im Folgenden zur besseren Übersicht in drei Kategorien unterteilt.

### 7.1.2 Fehlerquellen

Kategorie 1: Störfaktoren bei der Datenerfassung.

Trotz größtmöglicher Sorgfalt entziehen sich einige der Einflussfaktoren während der Datenaufzeichnung der Kontrolle des Untersuchers, bzw. sind aus physikalischen oder biologischen Gründen nicht zu vermeiden. Die folgenden Aspekte sind als mögliche Störgrößen zu nennen:

- Veränderungen des Hautwiderstandes des Probanden unter der Messung. Dies ist z.B. möglich, wenn es unter den Hautelektroden zu vermehrter Transpiration kommt, etwa bei warmer Witterung oder bei psychischem Stress. Die Impedanzschwankung hat eine langsame Änderung des EGG-Signals zur Folge, die jedoch meistens durch Filterung des Eingangssignals, wie ohnehin üblich, zu beheben ist. Anders verhält es sich bei schnellen Impedanzänderungen, die etwa bei lose sitzenden Elektroden oder schlechtem Hautkontakt auftreten

können. Diese Störungen sind nicht durch Filterung zu beseitigen und müssen im Vorfeld der Messung, durch gewissenhaftes Befestigen der Elektroden und Probemessungen, ausgeschlossen werden.

- Muskuläre Einstellbewegungen. Jede Bewegung der Halsmuskulatur ruft über eine Verschiebung der Gewebeschichten und partielle Kompressionen/Elongationen eine Veränderung des Widerstandswertes hervor. Die vom muskulären Grundtonus ausgehenden Impedanzänderungen werden durch Filterung eliminiert, während die schnellen Änderungen, z.B. bei Kopfdrehung, nicht herausgefiltert werden können. Aus diesem Grund ist eine ruhige und entspannte Kopfhaltung bei der Aufzeichnung von Messdaten sicherzustellen.
- Inkorrektes Anbringen der Halselektroden. Nur wenn die Halselektroden auf Höhe der Stimmbänder angebracht werden, ist die Aufzeichnung der maximalen Signalstärke möglich. Der Einfluss von Störfaktoren wird umso höher, je weiter die Messelektroden aus der Stimmbandebene rutschen. Den korrekten Ort zur Anbringung der Elektroden zu finden, ist am Besten im Vorfeld per Probemessung möglich.
- Erniedrigte Leitfähigkeit des Gewebes. Dieses tritt am ehesten bei adipösen Personen und bei starker Ausprägung des subkutanen Fettgewebes auf. Fett stellt einen schlechten Leiter für elektrischen Strom dar, so dass es zu einer mangelhaften Signalstärke bei der Ableitung der EGG-Signale kommen kann.
- Durch Kehlkopfbewegungen hervorgerufene Signaländerungen. Bei einigen Phonationen kann es durch stärkere Kehlkopfbewegungen zu einer Verschiebung der Glottis aus der Messebene kommen. Die Signalstärke reduziert sich wie bereits weiter oben beschrieben und es kann zu Störungen kommen. Ebenso ist bekannt, dass die Impedanzänderungen der schwingenden Stimmlippen zu gering sein

können, um aufgezeichnet zu werden (Childers & Krishnamurthy, 1985; Colton & Conture, 1990; Marasek, 1995b).

#### Kategorie 2: Filterung und Prozessierung des Signals

Die Rohdaten der Widerstandsmessung spiegeln den Gesamtwiderstand der Halsweichteile wider. Durch Filterung wird nur der Teil dargestellt, der der Bewegung der Stimmlippen entspricht. Dabei handelt es sich jedoch nur um circa 1-2 % des Gesamtwiderstandes (Baken 1992). Der Hauptteil des Halsgewebes spielt für die Untersuchung keine Rolle, nimmt aber einen großen Anteil an den gewonnenen Signalen ein. Erst der Einsatz von wirksamen elektronischen Filtern macht den gewünschten Teilbereich des EGG-Signals sichtbar. Die Diskriminierung zwischen gewünschten und unerwünschten Signalen wird durch den Umstand erleichtert, dass es sich bei den durch z.B. wechselnden Muskeltonus hervorgerufenen Signalen um langsame Änderungen der Impedanz handelt. Im Gegensatz dazu finden die Stimmbandbewegungen schnell statt, so dass hier die Möglichkeit besteht, über geeignete Filter das darzustellende Signal zu wählen. Der nötige Filter ist ein sog. Hochfrequenzfilter, der nur die schnellen Anteile der Impedanzänderung passieren lässt. Die langsamen Anteile werden herausgefiltert und sind in der Lx-Kurve nicht mehr vorhanden. Eine Darstellung des ungefilterten Signals ist als sog. Gx-Kurve (Fourcin 1981) möglich, hat aber wenig Aussagekraft. Anschließend werden die Signale verstärkt. Dies ist nötig, um die Amplitudenänderung sichtbar zu machen.

Filterungen und Verstärkungen des Originalsignals bergen immer die Gefahr der Signalverzerrung. Dies trifft auch auf das EGG zu. Die Lx-Kurve ist nicht unbeeinflusst und kann durch Artefakte, die während dieses Prozesses entstehen, verändert werden. Möglich sind Signalauslöschungen, Veränderungen des Kurvenverlaufs und Amplitudenmodifikationen.

### Kategorie 3: Interpretation der Lx-Kurve

Wie weiter oben beschrieben, lassen sich aus dem Verlauf der Lx-Kurve keine Aussagen über die tatsächliche Glottisweite, akustische Phänomene, Druckverhältnisse, die Stimmqualität oder andere Aspekte der Phonation treffen. Einzig die Kontaktfläche der Stimmlippen wird in ihrem dynamischen und temporalen Verlauf während eines Schwingungszyklus abgebildet. Diese Beschränkungen sorgen dafür, dass alle Diagnosen, die im Zusammenhang mit einer EGG-Untersuchung erhoben werden, nur in Kombination mit dem klinischen Gesamtbild und möglicherweise weiteren Untersuchungen möglich sind. Ebenso ist die Interpretation von Auffälligkeiten während der Offenphase des Schwingungszyklus problematisch, da es in diesem Zeitbereich zu den stärksten Filterungsartefakten kommt (Baken/Orlikoff 2000, Rothenberg 1981). In dieser Phase sollte die Lx-Kurve eigentlich einen flachen Verlauf haben, da der Widerstandswert bei minimalem Kontakt der Stimmlippen gleichbleibend ist. Durch Filterartefakte, die insbesondere durch Hochfrequenzfilter hervorgerufen werden können, kann der Verlauf der Kurve aber ansteigen. Dieses Phänomen kann gravierende Auswirkungen auf die Auswertung des Qx-Verlaufs haben, da die Software fälschlicherweise den Beginn der Messung nach vorne verlagern könnte. Insbesondere bei Aussagen über den Kontaktquotienten während des gehauchten Stimmeinsatzes ist dies von Bedeutung, weil dieser Stimmeinsatz durch eine allgemein verkürzte Kontaktphase gekennzeichnet ist. In den Abbildungen Nr. 5-7 ist allerdings zu sehen, dass es bei unseren Messungen zu keinem solchen Filterungsartefakt gekommen ist (zu erkennen am flachen Verlauf der Lx-Kurve während der Offenphase bzw. Minimal-Kontakt-Phase).

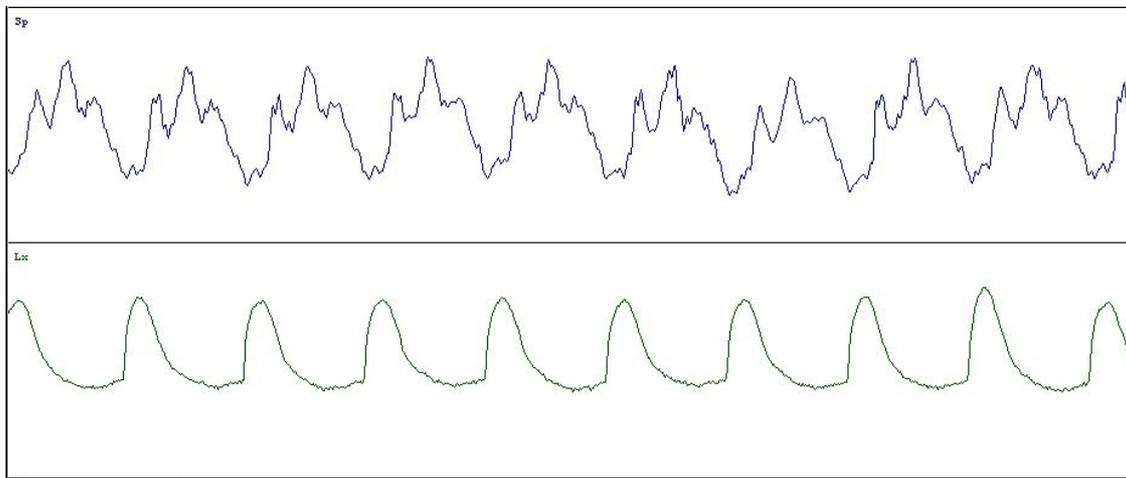


Abbildung Nr. 5: gehauchter Stimmeinsatz, Proband weiblich.

„Sp“-Kurve (oben): Mikrophonsignal

„Lx“-Kurve (unten): EGG-Signal nach Filterung, am oberen Scheitelpunkt der Amplitude ist der Stimmlippenkontakt maximal.

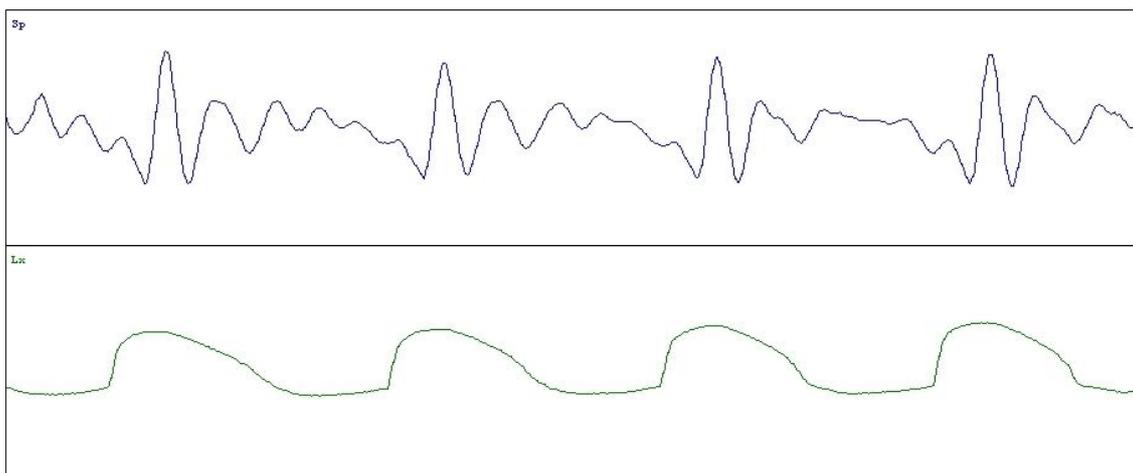


Abbildung Nr. 6: physiologischer Stimmeinsatz, Proband männlich.

„Sp“-Kurve (oben): Mikrophonsignal

„Lx“-Kurve (unten): EGG-Signal nach Filterung, am oberen Scheitelpunkt der Amplitude ist der Stimmlippenkontakt maximal.

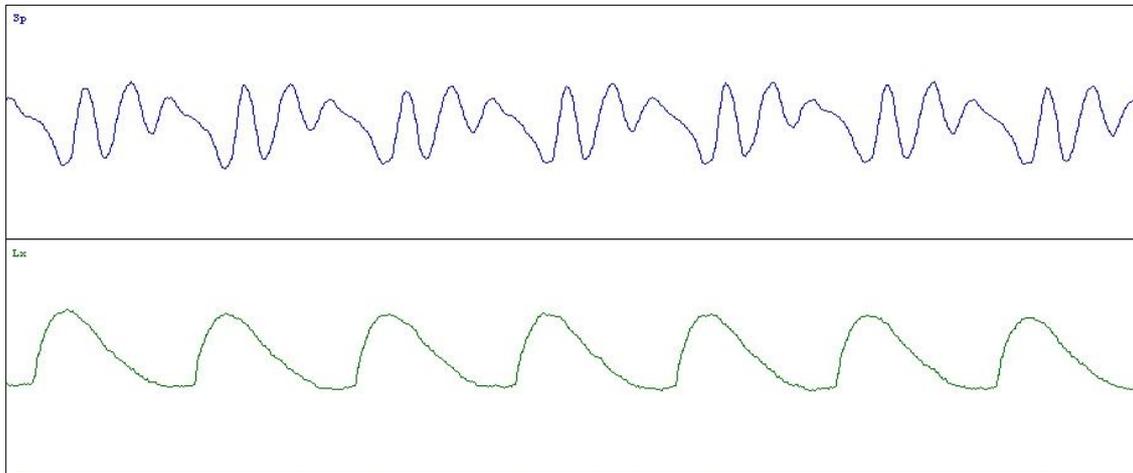


Abbildung Nr. 7: harter Stimmeinsatz, Proband weiblich.

„Sp“-Kurve (oben): Mikrophonsignal

„Lx“-Kurve (unten): EGG-Signal nach Filterung, am oberen Scheitelpunkt der Amplitude ist der Stimmlippenkontakt maximal.

In Bezug auf den Anstieg der Steigung des Kontaktquotienten, wie es in den vorliegenden Messungen der Fall ist, könnten Beeinflussungen durch langsame Impedanzänderungen die Validität der Messung in Frage stellen. Sollten die Impedanzschwankungen für die positiven Steigungen verantwortlich sein, würde man den Effekt allerdings bei allen Messungen erwarten.

In der Literatur werden die langsamen Impedanzänderungen durchweg als kontrollierbar beschrieben (mittels Filterung) (Orlikoff 1998, Baken 1992, 2000). Der Verlauf des „baseline-shifts“ (die Steigung der Lx-Kurve, die durch die langsamen Impedanzänderungen hervorgerufen wird) wird in Abhängigkeit der Elektrodenplatzierung als positiv oder negativ beschrieben (Orlikoff 1998). Somit hätte es bei sämtlichen Probanden zu einer falschen Platzierung der Halselektroden in Kombination mit einem Versagen des Hochfrequenzfilters des EGG kommen müssen, um einen Einfluss auf die Messergebnisse nehmen zu können.

### 7.2.0 Eingrenzung des Kontaktquotienten

Folgt man der Empfehlung von Baken bezüglich der Kurvendarstellung, ist die Kontaktfläche der Stimmlippen am Scheitelpunkt der Lx-Kurve am größten. Dies entspricht dem geringsten Widerstandswert in der Messung eines Phonationszyklus. Die Software Speech studio errechnet den Kontaktquotienten, indem 70% der Amplitudenhöhe, gemessen vom Scheitelpunkt aus, als „closed phase“ definiert werden. Diese Einteilung ist aber nirgendwo in der Literatur oder in Empfehlungen festgelegt, sondern basiert einzig auf einem allgemeinen Konsens und den Vorstellungen des Herstellers. Auch gibt es keine Möglichkeit, diesen Wert in der Software zu verändern. In der Literatur werden Anteile von 60-80% der Schwingungsamplitude als mögliche Minimalgrößen zur Errechnung des Kontaktquotienten beschrieben (Forcin 1997, Marasek 1997). Zwar sind die gewählten 70% des Herstellers damit genau im Mittelfeld, bei der Verwendung einer anderen Auswertungssoftware sind abweichende Ergebnisse trotz gleichen Rohdatenmaterials somit aber nicht ausgeschlossen. Dieses Problem behindert ebenfalls Vergleiche zwischen den in dieser Studie erhobenen Qx-Werten und andernorts gewonnenen Daten. Da keine Normierung bezüglich der Interpretation der „closed phase“ vorliegt, können die resultierenden Qx-Daten relevant voneinander abweichen. Somit ist auch keine Angabe zu Normwerten etc. möglich. Dennoch besteht Einigkeit, dass die Ergebnisse innerhalb einer Studie nicht von der Definition der „closed phase“ abhängen, solange diese in der gesamten Messung konsequent beibehalten wird (Winker/ Sendlmeier 2005).

### 7.2.1 Abhängigkeit des KQ von Variablen

Der Kontaktquotient ist in seiner Größe von diversen Faktoren abhängig, wie bereits weiter oben erläutert. Um den Einfluss von unerwünschten Variablen auf die Messung zu unterdrücken, waren einige Kriterien bei der Datenerfassung besonders wichtig. Hierzu zählten zur Ausschaltung von Lautstärkeänderungen die Einhaltung eines normierten Mikrofon-Mund Abstandes bei jeder Messung (Titze/ Winholtz 1993). Diese Vorgabe wird

schon alleine durch den Aufbau des Messsystems eingehalten, bei dem das Mikrophon fest an der Ableitungseinheit sitzt. Intraindividuelle Unterschiede der Phonationslautstärke wurden durch Instruierung des Probanden im Vorfeld zu umgehen versucht. Während der Messung kontrollierten eine Logopädin und der Untersucher die Konstanz der Phonationslautstärke auditiv und mittels des Kurvenverlaufs am Bildschirm. Sollten sich Veränderungen ergeben, wurde die Messung daraufhin verworfen und neu gestartet. Ebenso wurde mit der Stimmfrequenz verfahren. Auch hier erfolgte eine vorherige Instruierung der Probanden, sowie eine auditive und instrumentelle Kontrolle der Einhaltung der geforderten Indifferenztonlage.

Bei wenigen Probanden kam es zu Verschiebungen der Grundfrequenz beim Wechsel zwischen gehauchten und gepressten Einsätzen. Hier schienen psychologische Aspekte eine Rolle zu spielen, die die Probanden veranlassten, einen gepressten Stimmeinsatz mit einer erhöhten Stimmfrequenz und einen gehauchten Stimmeinsatz mit einer niedrigeren Stimmfrequenz zu verbinden. Während des physiologischen Stimmeinsatzes war dieser Effekt nicht zu beobachten. Meistens konnten sich die betroffenen Probanden selbst gut korrigieren, wenn man sie auf diesen Umstand hinwies. In wenigen Fällen mussten die Messungen aber so hingenommen werden. Dann konnten die Daten allerdings nur in die Auswertung einfließen, wenn sie eine innere Kongruenz aufwiesen, also die Frequenzen während der Signalaufzeichnung gleich blieben.

Ein ähnliches Phänomen trat bei der Stimmintensität in Verbindung mit den Phonationsqualitäten gehaucht und gepresst auf. Auch hier zeigten sich bei einigen Probanden Unterschiede in der Phonationslautstärke während des Wechsels zwischen diesen beiden Qualitäten, bzw. im Vergleich zur Indifferenzlage. Die Konzipierung der Untersuchung erlaubte es auch hier, die betreffende Messreihe zu wiederholen. Der Proband war meist in der Lage, seine Stimmintensität anzupassen. Als Referenz wurde jeweils die Indifferenzlage genommen. Aber auch hier konnten bei einigen wenigen Messungen keine Angleichungen der Intensitäten erreicht werden. In

diesen Fällen wurden ebenfalls nur Messreihen ausgewertet, die mit gleichbleibender Intensität phoniert wurden.

Die Validität der Auswertung wird durch diese Effekte nicht gefährdet, da die drei Stimmeinsatzqualitäten jeweils dieselben Intensitäten und Grundfrequenzen haben. Ein interindividueller Vergleich findet nur über den Verlauf der Steigungen, nicht jedoch über die erhobenen Qx-Werte statt.

Ein anderes Problem ist in Zusammenhang mit der Einschwingphase der Stimmlippen zu sehen. Hier kommt es regelmäßig zu einer Lautstärkeschwankung, die nicht kontrollierbar ist. Einerseits kann der Sprecher noch keine audiophonatorischen Kontrollmechanismen einsetzen, andererseits sind insbesondere bei den gepressten Stimmeinsätzen Lautstärkeschwankungen physiologisch. Wie bereits erläutert, ist der Kontaktquotient auch von der Stimmintensität abhängig. Starke Lautstärkeänderungen nehmen Einfluss auf die Verwertbarkeit der Messergebnisse. Aus diesem Grund wurden die ersten 100ms jedes Phonationszyklus, bis zur Erreichung einer gleichbleibenden Stimmintensität, nicht zur Bestimmung der Steigung herangezogen (siehe Abbildung 8).

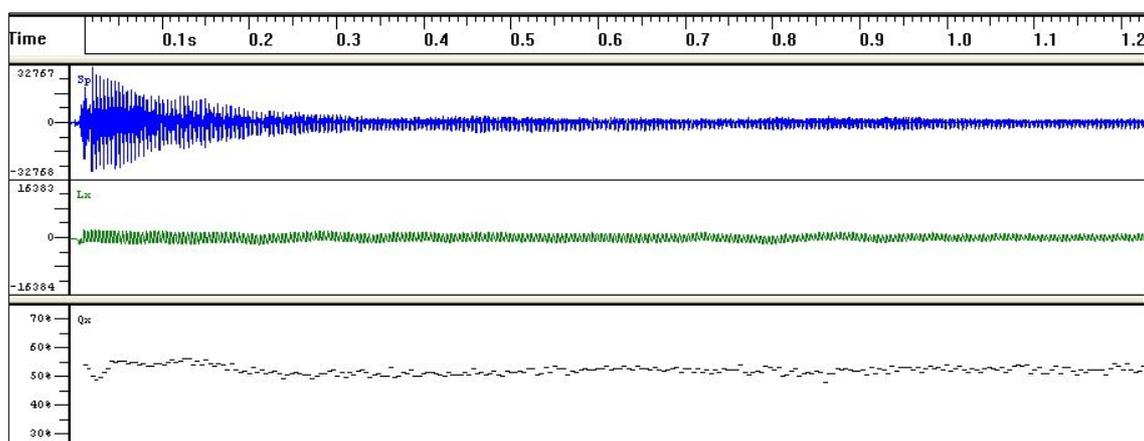


Abbildung Nr. 8: Intensitätsschwankung beim Stimmeinsatz.

- „Sp“-Kurve: Mikrophonsignal
- „Lx“-Kurve: EGG-Signal nach Filterung
- „Qx“-Kurve: Kontaktquotient in Prozent

### 7.3.0 Startpunktdefinierung, Übertragungsfehler

Um die gewonnenen Daten auswerten zu können, waren mehrere Messwerteingrenzungen und Selektionen notwendig. Die Software Speech studio exportiert auf Befehl immer nur den kompletten Datensatz einer Messung als .txt-Datei. Dies umfasst für jeden einzelnen Schwingungszyklus unter anderem den Startzeitpunkt in ms, die Periodendauer in ms, eine fortlaufende Nummer, den maximalen dB-Wert sowie den Qx-Wert. Für diese Arbeit sollten nur bestimmte Zeitabschnitte betrachtet werden, so dass zunächst anhand der aufgezeichneten Phonationen diejenigen Abschnitte herausgesucht und markiert werden mussten, die später ausgewertet werden sollten. Erleichtert wurde das Eingrenzen der gewünschten Zeitbereiche durch eine „Zoomfunktion“ der Software, die es erlaubt, einzelne Messungen bis auf Millisekunden-Niveau genau zu betrachten. Nichtsdestotrotz konnten sich an dieser Stelle Ungenauigkeiten von einigen Millisekunden ergeben. Ebenso verhielt es sich mit den Abweichungen, die während des manuellen Eingrenzens der ersten 100ms jeder Messung auftreten konnten. Diese Anfangsphase jeder Phonation musste manuell in jeder der Excel-Tabellen aufgesucht und markiert werden. Aufgrund mathematischer Wahrscheinlichkeitsrechnungen muss bei den zur Auswertung anfallenden, circa 441 Datensätzen, von einigen kleineren Abweichungen ausgegangen werden. Für die Auswertung spielen diese Ungenauigkeiten allerdings keine Rolle. Sie werden bei der großen Anzahl der Messwerte, die in diese Untersuchung einfließen, wieder relativiert.

### 7.3.1 Probandenkohorte

Die untersuchte Probandengruppe rekrutierte sich aus stimmtrainierten und ungeübten Personen. Es nahmen ausschließlich Personen aus den mittleren und höheren sozialen Schichten an der Untersuchung teil. Die Geschlechterverteilung war annähernd gleich. Zum Zeitpunkt der Untersuchung war der Altersdurchschnitt 28 Jahre, der Median lag bei 25 Jahren. Die älteste an der Untersuchung teilnehmende Person war 55 Jahre alt, die Jüngste 18.

Inwiefern soziale Unterschiede einen Einfluß auf Stimmlippenkontakt oder Glottiszyklus haben, ist nur unzureichend geklärt. Literaturangaben hierzu sind selten, jedoch erscheinen aufgrund erhöhter Morbiditätsraten, vermehrtem Nikotin- und Alkoholkonsum etc. in den sozial schwächeren Bevölkerungsschichten Rückschlüsse auf diesen Aspekt der Stimmgesundheit zulässig. Zu dieser Untersuchung waren allerdings ohnehin nur stimmgesunde Personen zugelassen. Im Umkehrschluß sind Einflüsse auf die Ergebnisse durch besonders stimmtrainierte, konstitutionell in guter Verfassung befindliche und stimmhygienisch versierte Probanden der sozialen Mittelschicht möglich. Tatsächlich nahmen an dieser Untersuchung einige Probanden aus „Stimmbereufen“ wie Schauspieler, Synchronsprecher, Sänger und Musiker teil. Weiterhin nutzten einige der Teilnehmer ihre Stimme professionell, so z.B. als Lehrer. Diese Menschen zeichneten sich durch eine besonders gute Umsetzung der Aufgabenstellung aus, die erforderlichen Phonationen mussten nicht eingeübt werden. Von 49 Personen stammten 8 aus Stimmbereufen oder nutzten ihre Stimme zu professionellen Zwecken.

## 8. Zusammenfassung

Das EGG lässt nur Aussagen über den Kontakt der Stimmlippen zu, da es sich um eine reine Impedanzmessung handelt. Die Interpretation der gewonnenen Daten ist nicht oder nur sehr eingeschränkt in Hinblick auf den wahren Zustand der Glottisweite möglich.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung weisen darauf hin, dass es bei gehaltenen Phonationen nach einem harten, unphysiologischen Stimmeinsatz zu keiner oder nur einer geringen "Entspannung" der Stimmlippen kommt. Aufgrund des annähernd gleichbleibenden Kontaktquotienten über den gesamten Zeitraum von 1000ms muss auch in der stationären Phase von einer gepressten Stimmgebung ausgegangen werden. Diese Erkenntnis könnte zukünftig bei Therapieansätzen eine Rolle spielen.

Bei den physiologischen und gehauchten Stimmeinsätzen steigt der Kontaktquotient an, und zwar bei den weiblichen Teilnehmern stärker als bei den männlichen. Dieser Unterschied ist noch nicht signifikant, weist jedoch eine Tendenz auf. Trotzdem muss aber einschränkend gesagt werden, dass es selten zu einer darauf folgenden, gepressten Stimmgebung kommt. Eine mögliche Interpretation ist zu suchen in dem Bestreben des Stimmapparates, in die Indifferenzlage zurück zu kehren. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob der stärkere Anstieg des Regressionsgraphen bei den weiblichen Probanden auf eine insgesamt „behauchtere“ Stimmgebung zurückzuführen ist. Desweiteren dürfen diese Ergebnisse nur unter Berücksichtigung der unphysiologisch langen Phonationsdauer von bis zu 3 sec. betrachtet werden. Eine lange Tonhaldedauer geht mit einer Zunahme der pathologischen Merkmale einher, ebenso ist die Interpretation der Lx/ Qx-Messwerte des EGG nur unter Beachtung der komplexen und multidimensionalen Qualität der Phonation möglich.

## 9. Literaturverzeichnis

Arndt, H.J: Stroboskopische Diagnostik, Sprache Stimme Gehör 10, 1986

Baer, T., Löqvist A, McGarr, N.S.: Laryngeal vibrations: a comparison between high-speed filming and glottographic techniques. Journal of the acoustic society of america 73, 1304-1308 (1983)

Baer, T, Titze IR, Yoshioka H.: Multiple simultaneous measures of vocal fold activity. In: Bless, DM, Abbs JH (Hrsg.): Vocal fold physiology: contemporary research and clinical issues. San Diego, CA College hills 227-37 (1983)

Baken, R.J./ Orlikoff R.F.: Clinical measurement of speech and voice, second edition, Singular publishing press, 2000.

Baken, RJ: Elektroglottography, Journal of voice 6, 98-110 (1992)

Bortz J (1999a): Verfahren zur Überprüfung von Unterschiedshypothesen. In: Bortz J: Statistik für Sozialwissenschaftler, 5. Auflage, Springer, Berlin, 146-149

Bortz J (1999b): Verfahren zur Überprüfung von Zusammenhangshypothesen. In: Bortz J: Statistik für Sozialwissenschaftler, 5. Auflage, Springer, Berlin, 194-211

Bortz J, Lienert GA (1998): Kurzgefaßte Statistik für die klinische Forschung. Ein praktischer Leitfaden für die Analyse von kleiner Stichproben. Springer, Heidelberg

Chan R.W., Tayama N.: biomechanical effects of hydration in vocal fold tissues. Otolaryngol Head Neck Surg. 126 (2002)

Childers D.G, Hicks D.M., Moore G.P., Alsaka Y.A.: A model for vocal fold vibratory motion, contact area, and the electroglottogram. *J. acoust. Soc. Am.* 80 (1986)

Childers D.G., Krishnamurthy A.K.: A critical review of electroglottography. *CRC Crit. Rev. Biomed. Eng.* 12 131-61 (1985)

Dejonckere P.H., Leblancq J.: Mechanism of initiation of oscillatory motion in human glottis. *Arch. Intern. Physiol. Biochemie* 89 (1981)

Dromey, C, Stathopoulos, E.T, Sapienza, C.M: Glottal airflow and electroglottographic measures of vocal function at multiple intensities. *Journal of voice* 6, 44-45. (1992)

Fabre, P. Un procédé électrique percutané d'inscription de l'accolemente glottique au cours de la phonation: glottographie de haute fréquence. Premiers résultats. *Bull. Acad. Méd.* (1957) 141:66-69

Fleischer, S., Hess, M: Nichtapparative Kehlkopf-Funktionsprüfungen. *HNO* 49 (2001) 756-761

Fourcin, AJ : (1974) Laryngographic examination of vocal fold vibration. In: B. Wyke (Hrsg): Ventilatory and phonatory control systems (315-330), New York, Oxford University press.

Fourcin, AJ.: Laryngographic assessment of phonatory function. *American Speech language hearing association* (1981), 116-27

Fourcin, A.J.: The larynx signal: Aspects of production and perception, *Larynx 97 Int. Conf.*, Marseille, 16-18 June, 1-10 (1997)

Friedrich, G/ Bigenzahn, W.: *Phoniatrie*, Verlag Hans Huber 1995

Gilbert, HR, Potter, CR, Hoodin, R.: Laryngograph as a measure of vocal fold contact area. *J. speech hear res.* 27 , 178-82 (1984)

Hacki, T.: Electroglottographic quasi-open quotient and amplitude in crescendo phonation. *Journal of voice* 10,

Hartung J, Elpelt B (1999): *Multivariate Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik.* 6. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 132-137

Hilgers R.D., Bauer, P., Scheiber V.: *Einführung in die medizinische Statistik* Springer 2002

Hirano, M.: Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and it's variations. *Folia phoniatic.* 26 (1974)

Houben G.B, Buekers, R, Kingma, H: Characterization of the electroglottographic waveform: a primary study to investigate vocal fold functioning. *Folia phoniatica* 44, 269-281 (1992)

Howard, D.M.: Variation of electrolaryngographically derived closed quotient for trained and untrained adult female singers. *Journal of voice* 9, 163-172 (1995)

Ishizaka, K., Flanagan, J.L; synthesis of voiced sounds from a two-mass model of the vocal chords. *Bell Syst.Techn. J.* 51 (1972)

Isshiki, N., H.Okamura, M. Morimoto: maximum phonation time and air flow rate during phonation: simple clinical test for vocal function. *Ann.Otol.*76(1967)

Jürgens U, Ploog D: Zur Evolution der Stimme. *Archiv f. Psychiat. U. Nervenkrankheiten* 28 (1976)

Kelman, A.W.: Vibratory patterns of the vocal cords. *Folia phon.* 33, 73-99 (1981)

Koiko, Y, Hirano M, von Leden, H: Vocal initiation: acoustic and aerodynamic investigations of normal subjects. *Folia phoniatr.* 34 (1982)

Koiko, Y, Hirano M: Glottal area time function and subglottal pressure variation. *J. of acoustical soc. of Am.* 54, 1618-1627 (1973)

Köster, J-P, Smith, S. Zur Interpretation elektrischer und photoelektrischer Glottogramme. *Folia Phon.* 22, 92-99 (1970)

Krech, e.M.: Sprechwissenschaftlich-phonetische Untersuchungen zum Gebrauch des Glottisschlageinsatzes in der allgemeinen deutschen Hochlautung. Karger, Basel 1968

Larson, K.K, Ramig L.O, Scherer, R.C.: Acoustic and glottographic voice analysis during drug related fluctuations in Parkinson disease. *Journal of medical speech-language pathology* 2, 227-239 (1994)

Lecluse, F.L.E.: Laboratory investigations in electroglottography. In: E.Loebell (Hrsg): Proceedings of the sixteenth internat. Congress of logopedics and phoniatics. Basel, Schweiz, S. Karger 294-296 (1974)

Lecluse, F.L.E.: Elektroglottographie. Utrecht, Niederlande. Drukkerijlinkwijk B.V. (1977)

Lecluse, F.L.E., Brocaar, M. P., Verschuure, J.: The electroglottography and its relation to glottal activity. *Folia Phoniatica* 27, 215-224 (1975)

Leonhard, K.: Der menschliche Ausdruck. Barth, Leipzig 1968

Lindsay, G, Breen, A.P, Fourcin A. J: Glottal closed time as a function of prosody, style and sex in English. Proceedings of the seventh internat. FASE Symposium, vol. 3, 1101-1103, Edinburg, UK (1988)

Marasek, K.: EGG and voice quality, Internetveröffentlichung <http://www.ims.uni-stuttgart.de/phonetik/EGG/frmstt.htm> (1997)

Neimann, G.S., Edeson B.L: Procedural aspects of elicitation maximum phonation time. *Folia phoniat.* 33 (1981)

Orlikoff, R.F, Baken R.J., Kraus D.H.: acoustic and physiologic characteristics of inspiratory phonation. *Journal of the acoustic societey of america* 102, 1838-1845 (1997)

Orlikoff, R.F.: Scrambled egg: the uses and abuses of electroglottography. *Phonoscope* 1 (1998)37-53

Orlikoff, R.F.:Assessment of the dynamics of vocal fold contact from the electroglottogramm: data from normal male subjects. *Journal of speech and hearing research* 34, 1066-1072 (1991)

Painter, C.: Elektroglottogramm waveform types. *Archives of otolaryngology* 245, 116-121 (1988)

Painter, C: Elektroglottogramm waveform types of untrained speakers. *European archives of oto-rhino-laryngology* 247, 168-173 (1990)

Ptok, M, Ptok, A, Schönweiler R, Lupac M: Apparative Stimm diagnostik, Teil 1, *HNO Aktuell* 5 (1997) 171-176

Ptok, M, Ptok, A, Schönweiler R, Lupac M: Apparative Stimm diagnostik, Teil 2, *HNO Aktuell* 5 (1997) 203-207

Ramm B, Hofmann G (1982): Spezielle medizinische Testverfahren. In: Ramm B, Hofmann G (1982): Biomathematik. Enke, Stuttgart, 157-196

Reintsch, M, Gobsch, H: Zur quantitativen Auswertung elektroglottographischer Kurven bei Normalpersonen. Folia phoniat. 24, 1-6 (1972)

Rothenberg, M, Mashie, J.: Monitoring vocal fold abduction through vocal fold contact area. Journal of speech and hearing research 31, 338-351(1988)

Rothenberg, M: some relations between glottal air flow and vocal fold contact area. ASHA Reports 11, 88-96 (1981)

Sachs L (1984): Vergleich mehrerer unabhängiger Stichproben: H-Test nach Kruskal und Wallis. In: Sachs L (1984): Angewandte Statistik, Springer, Berlin, 6. Auflage, 238-240

Sataloff, R.T., Professional voice, the science and art of clinical care, Second Edition, Singular Publishing group, 1997

Schade, Götz: systematische Messung der Geschwindigkeiten der horizontalen Stimmlippenkonturen, Habilitationsschrift, Universität Hamburg 2003

Scherer, RC, Druker, DG, Titze IR,: Elektroglottography an direct measurement of vocal fold contact area. In: Fujimura O. (Hrsg)Vocal physiology: voice production, mechanisms and functions. New York, Raven 279-91 (1988)

Scherer, RC, Vail, V.J, Rockwell, B: Examination of the laryngeal adduction measure EGGW. In: F.Bell-Berti, L.J.Raphael (Hrsg): Producing speech: contemporary issues for Katherine Stafford Harris, New York, AIP Press 269-289, (1995)

Schönhärl, E.: Die Stroboskopie in der praktischen Laryngologie. Thieme, Stuttgart 1960

Seidner W, E. Stürzebecher: Variabilität normaler Phono-Pneumotachogramme. Proc. 17<sup>th</sup>. Int. Congr. of Log. and Phoniater., Copenhagen 1978

Seidner, W., Wendler, J, Stürzebecher, E: das normale Phono-Pneumotachogramm. Proc. 16th Int. Congr. Of Log. An Phoniater., Interlaken 1975

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

Titze, I.R: A four parameter modell of the glottis and vocal fold contact area. Speech communication 8, 191-201 (1989)

Titze, I.R: Interpretation of the elektroglottographic signal. Journal of voice 4, 1-9 (1990)

Titze, I.R: the human vocal cords: a mathematical model. Phonetica 29 ,1979

Titze, I.R: Parameterization of the glottal area, glottal flow and vocal fold contact area. Journal of the acoustical soc. of america 75 570-580 (1984)

Titze, I.R., Winholtz, W.S.: Effect of microphone type and placement on voice perturbation measurements. J. speech hear.Res. 36, 1177-1190 (1993)

Van den Berg, J. Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. J. speech Res. 1(1958)

Van Michel C, Pfister KA, Luchsinger R: Electroglottographie et cinématographie laryngée ultra-rapide: comparasion des résultats. Folia phoniater. 22, 81-91 (1970)

Wendler J, Seidner W, Kittel G, Eysholdt U: Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie, 3. Auflage, Thieme 1996

Winkler R, Sendlmeier W: Open quotient measurement of young and elderly voices: results of a production and perception study. ZAS Papers in Linguistics 40, 213-225 (2005)

## 10. Graphikverzeichnis

**Graphik Nr. 1**, S. 19: Proband mit korrekt angebrachten EGG-Ableitungselektroden, Bild des Autors.

**Graphik Nr. 2**, S. 22: Schematischer Aufbau der Lx-Kurve (modifiziert nach Rothenberg 1981), Bild des Autors.

**Graphik Nr. 3**, S. 34: Tabellarische Darstellung der intraindividuellen Qx-Kurvenverläufe für alle drei Stimmqualitäten über einen Zeitraum von 100ms gemittelt. Darstellung der Ergebnisse aller männlichen Probanden. Zeitpunkt der Mittelung: 1000 bis 1100 ms.

**Graphik Nr. 4**, S. 35: Tabellarische Darstellung der intraindividuellen Qx-Kurvenverläufe für alle drei Stimmqualitäten über einen Zeitraum von 100ms gemittelt. Darstellung der Ergebnisse aller weiblichen Probanden. Zeitpunkt der Mittelung: 1000 bis 1100 ms.

**Graphik Nr. 5**, S. 41: Stichprobenartige Vergrößerung einer Lx und Sp-Kurve des Probanden Nr. 17, Messreihe g1, Zeitpunkt circa 400ms.

**Graphik Nr. 6**, S. 42: Stichprobenartige Vergrößerung einer Lx und Qx-Kurve des Probanden Nr. 24, Messreihe n2, Zeitpunkt circa 150ms.

**Graphik Nr. 7**, S. 43: Stichprobenartige Vergrößerung einer Lx und Qx-Kurve des Probanden Nr. 6, Messreihe h1, Zeitpunkt circa 750ms.

**Graphik Nr. 8**, S.46: Intensitätsschwankung beim Stimmeinsatz, Proband Nr. 42, Messreihe h3, Zeitraum 0-1,2 s.

**Graphiktablelle Nr. 9**, S. 60: Sp / Lx / Qx- Kurvenverläufe bei gehauchtem Stimmeinsatz. Beispielhafte Gegenüberstellung von 5 männlichen und weiblichen Probanden.

Datensätze der Teilnehmer, von oben nach unten und links nach rechts:

3g2; 29g2; 4g2; 11g1; 17g1; 14g1; 21g1; 15g2; 42g1; 18g1.

**Graphiktablelle Nr. 10**, S. 61: Sp / Lx / Qx- Kurvenverläufe bei physiologischem Stimmeinsatz. Beispielhafte Gegenüberstellung von 5 männlichen und weiblichen Probanden. Datensätze der Teilnehmer, von oben nach unten und links nach rechts:

3n1; 29n2; 4n3; 11n3; 17n2; 14n2; 21n2; 15n1; 42n2; 18n1.

**Graphiktablelle Nr. 11**, S. 62: Sp / Lx / Qx- Kurvenverläufe bei hartem Stimmeinsatz. Beispielhafte Gegenüberstellung von 5 männlichen und weiblichen Probanden. Datensätze der Teilnehmer, von oben nach unten und links nach rechts:

3h1; 29h3; 4h3; 11h3; 17h2; 14h1; 21h3; 15h2; 42h3; 18h3.

**Tabelle Nr. 12**, S. 63: Qx-Mittelwerte für alle drei Stimmeinsatzqualitäten bei weiblichen Probanden, Zeitraum 1000-1100mS. Dargestellt sind für jede Einsatzqualität die Mittelwerte der drei Messreihen. Daraus wurde ein Durchschnittswert gebildet; zu sehen am rechten Tabellenrand. Diese Durchschnittswerte bilden die Grundlage für Graphik Nr. 4.

**Tabelle Nr. 13**, S. 64: Darstellung der Messwerte wie unter Tabelle 13 beschrieben, hier jedoch für männliche Probanden. Grundlage für Graphik Nr. 3.

**Tabelle Nr. 14**, S. 65: Übersichtstabelle mit den Datensätzen für Mittelwerte, Min-Max Werte sowie Standardabweichungen aller Probanden für die Zeitspanne 0-100ms. Die Spalten 3-11 geben die gemittelten Qx-Werte einer jeden Einsatzqualität wieder, dann folgt in Spalte 12-14 der Mittelwert aller drei Messtriplets.

**Tabelle Nr. 15**, S. 66: Übersichtstabelle mit den Datensätzen für Mittelwerte, Min-Max Werte sowie Standardabweichungen aller Probanden für die Zeitspanne 1000-1100ms. Die Spalten 3-11 geben die gemittelten Qx-Werte einer jeden Einsatzqualität wieder, dann folgt in Spalte 12-14 der Mittelwert aller drei Messtriplets.

**Tabelle Nr. 16**, S. 67: Randomisationsplan. Nach diesen Vorgaben mussten die Probanden während der Datenerhebung agieren, um Perioden- und/oder Carry-over Effekte auszuschließen. Der Plan wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Prof. em. Dr. Berger (ehemals Direktor des Instituts für med. Statistik des UKE).

**Tabelle Nr. 17**, S. 68: Ausschnitt aus der zur Auswertung angefertigten Tabelle. Grundlage waren die Daten der StatView-Prozessierung. Rot markiert sind die Mittelwerte des Regressionskoeffizienten der jeweiligen Einsatzqualität. Aus diesen Werten wurden die Ergebnisse der Analyse abgeleitet.

# 11. Anhang

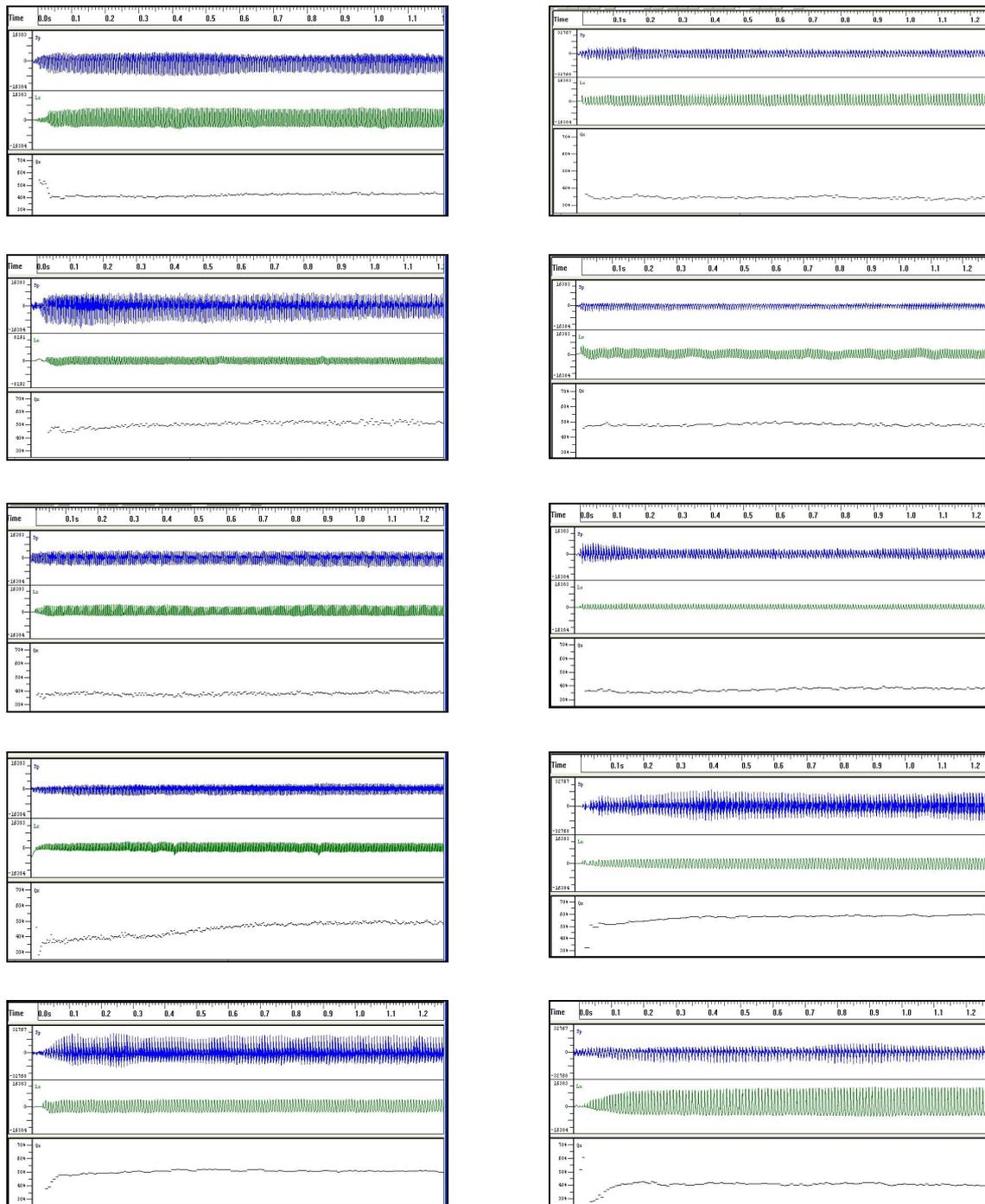


Abbildung 9. Beispielhafte Darstellung von je fünf Datensätzen des gehauchten Stimmeinsatzes. In der linken Spalte weibliche, in der rechten Spalte männliche Probanden. Oben befindet sich die Sp-, gefolgt von der Lx-Kurve. Untere Zeile Qx- Kurve. Weitere Erläuterungen: siehe Graphikverzeichnis S. 58.

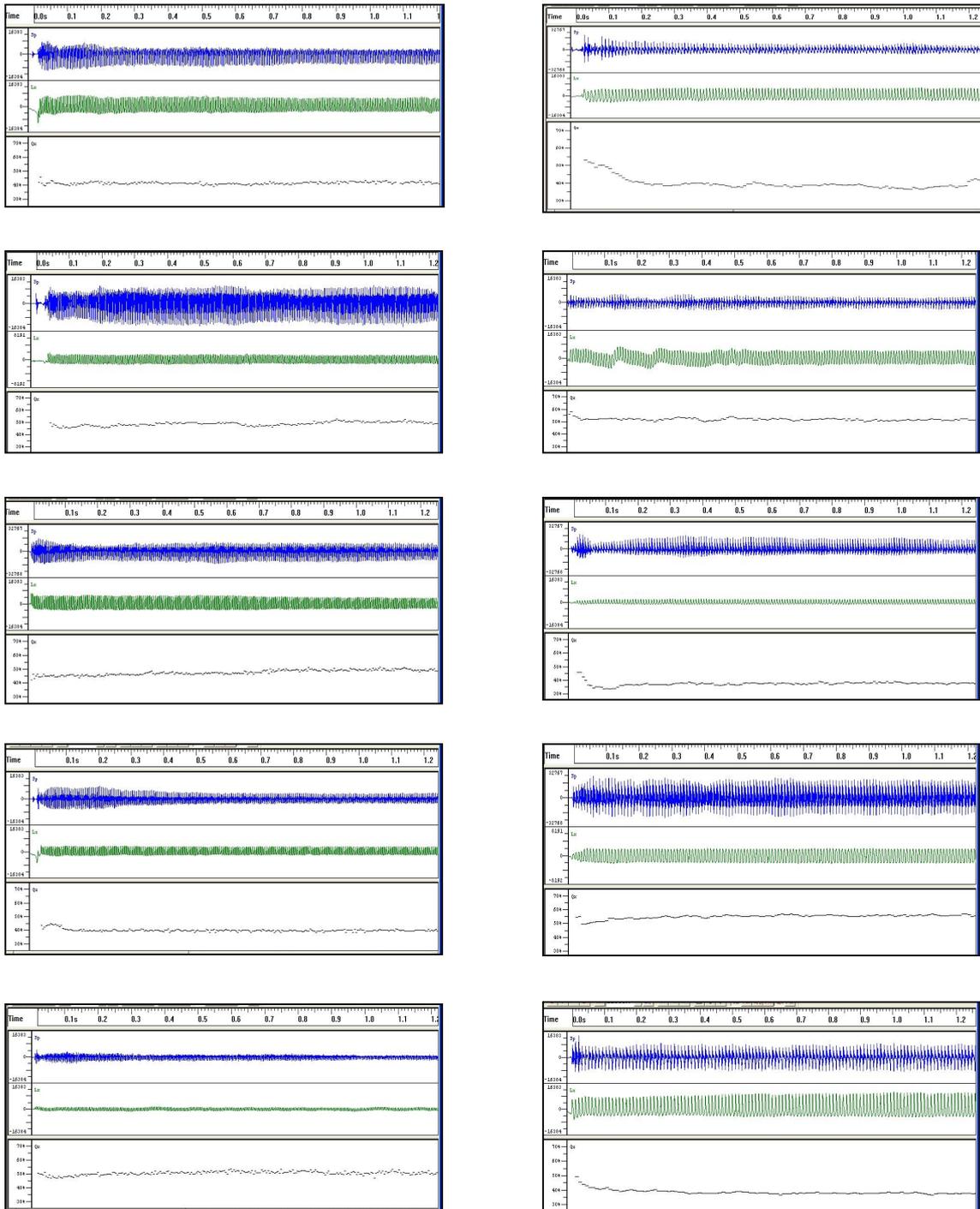


Abbildung 10. Beispielfhafte Darstellung von je fünf Datensätzen des physiologischen Stimmeinsatzes. In der linken Spalte weibliche, in der rechten Spalte männliche Probanden. Oben befindet sich die Sp-, gefolgt von der Lx-Kurve. Untere Zeile Qx- Kurve. Weitere Erläuterungen: siehe Graphikverzeichnis S. 59.

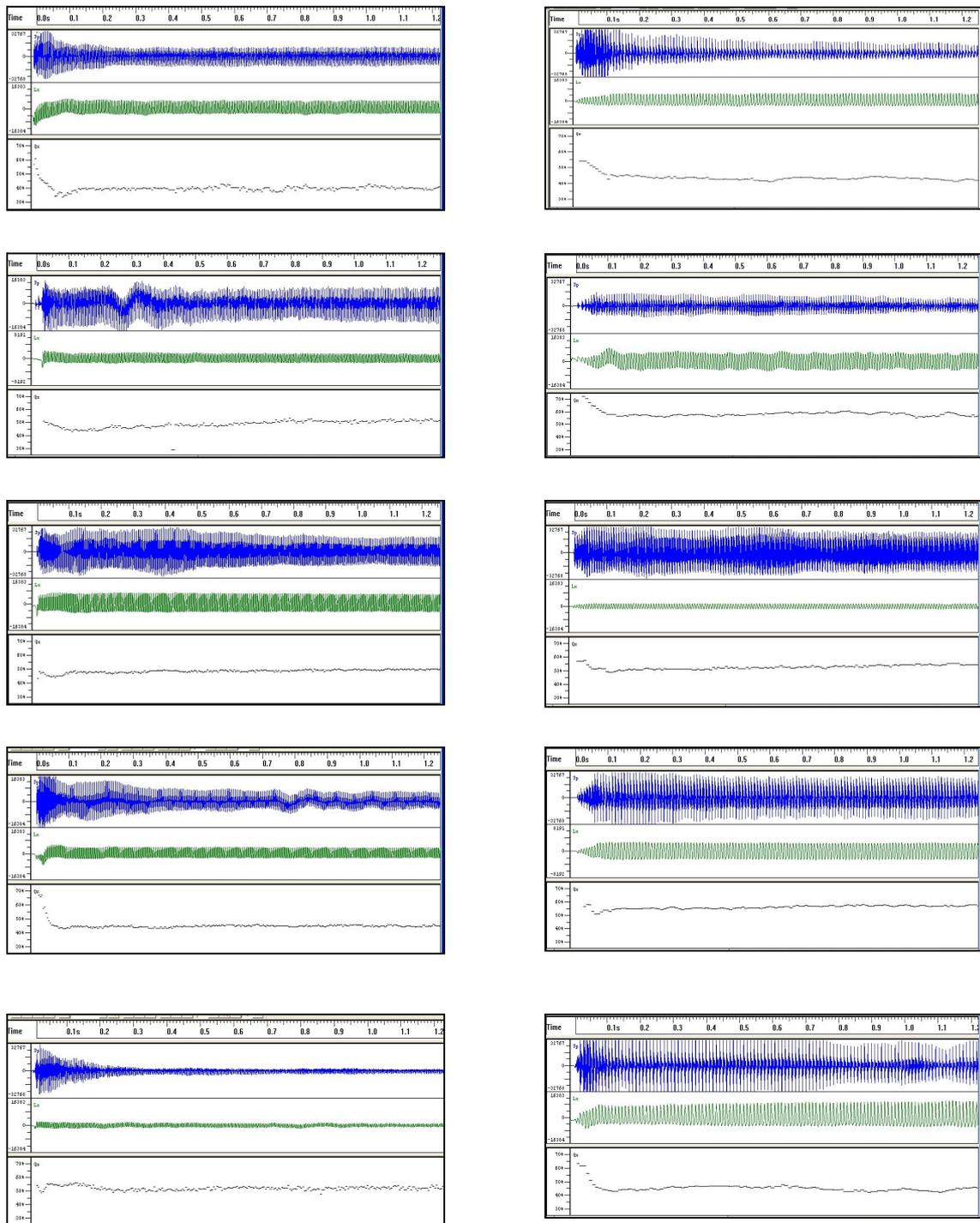


Abbildung 11. Beispielfhafte Darstellung von je fünf Datensätzen des harten Stimmeinsatzes. In der linken Spalte weibliche, in der rechten Spalte männliche Probanden. Oben befindet sich die Sp-, gefolgt von der Lx-Kurve. Untere Zeile Qx- Kurve. Weitere Erläuterungen: siehe Graphikverzeichnis S. 59.

Lfd.Nr.	♀	g1	g2	g3	h1	h2	h3	n1	n2	n3	g Ø	h Ø	n Ø
1	w	36,7417	28,1539	24,6704	57,4342	42,8075	40,9826	47,4521	38,8322	39,3132	29,86	47,07	41,87
2	w	42,0686	41,0555	37,4632	39,0895	34,9270	36,8990	39,2389	40,0679	37,3467	40,20	36,97	38,88
3	w	49,3684	52,1875	48,8975	50,7530	51,4220	51,0826	49,5947	51,1284	50,4825	50,15	51,09	50,40
4	w	47,8793	50,9416		50,6800	54,2852	49,9562	49,5800	50,8300	51,0300	49,41	51,64	50,48
5	w	57,4825	40,9262	41,0874	53,8962	56,3110	56,7548	46,0125	48,8133	56,1214	46,50	55,65	50,32
8	w	43,6305	41,0252	40,8181	52,9241	49,7673	44,1876	52,3381	41,6157	44,1573	41,82	48,96	46,04
10	w	46,1615	45,0580	40,4348	46,5067	51,2743	43,8690	44,8630	45,8600	48,2000	43,88	47,22	46,31
11	w	34,8650	42,6900	40,0284	56,3233	62,6661	57,5189	41,6828	54,7600	55,2932	39,19	58,84	50,58
14	w	51,8612	45,8092	52,0604	57,9575	56,9613	55,0264	59,0954	56,8154	55,2238	49,91	56,65	57,04
15	w	36,4832	42,4204		43,2427	49,0770	44,0252	47,0191	49,4145	46,0152	39,45	45,45	47,48
17	w	39,8477	43,5285	43,5285	47,9530	45,0881	43,0595	45,1530	44,8980	47,7079	42,30	45,37	45,92
19	w	47,9250	35,3191	41,2136	37,0259	39,3133	43,5248	48,8561	37,5378	39,6900	41,49	39,95	42,03
20	w	41,2475	34,1270	34,1981	43,2928	41,9236	39,5812	43,7717	40,6659	38,8544	36,52	41,60	41,10
21	w	48,4755	42,4941	41,6450	51,5845	42,5304	45,0481	43,5745	42,9032	44,6100	44,20	46,39	43,70
24	w	47,3881	53,8382	44,8747	47,2443	53,1452	52,1095	47,2919	49,8686	50,1532	48,70	50,83	49,10
25	w	48,1426	54,4784	51,9337	53,7658	54,9595	56,8355	49,1511	49,5132	52,4685	51,52	55,19	50,38
26	w	45,9695	51,5553	44,6578	44,6578	43,7096	51,7165	48,5155	48,5424	46,7635	47,39	46,69	47,94
28	w	30,0596	47,2196	33,4864	50,9992	49,5167	51,3108	47,4291	51,7125	47,0452	36,92	50,61	48,73
29	w	43,7763	51,4195	47,6347	46,1368	51,5300	49,8445	48,0911	41,6140	51,8553	47,61	49,17	47,19
32	w	45,1655	47,1513	47,2033	47,8567	50,2352	50,9103	48,3393	48,1477	50,1245	46,51	49,67	48,87
33	w	44,1900	45,1614	43,4767	46,5748	48,2555	51,0424	45,4619	45,4919	50,4736	44,28	48,62	47,14
34	w	43,6685	43,6684	46,4881	46,0924	41,8071	41,8510	39,1986	45,7876	46,0552	44,61	43,25	43,68
35	w	40,3241	45,0961	44,5370	45,7762	50,6100	52,5036	44,9004	45,2180	42,4291	43,32	49,63	44,18
36	w	59,0047	53,4700	46,9683	50,9827	51,5080	51,1927	56,5700	57,4580	52,6364	53,15	51,23	55,55
40	w	50,5952	50,2167	52,4641	50,9681	52,1905	52,7171	50,5262	51,2033	52,0550	51,09	51,96	51,26
46	w	26,4742	33,7489	31,1206	41,7806	42,0067	41,5928	40,9637	36,4760	36,9195	30,45	41,79	38,12
47	w	46,4863	52,0860	47,3500	55,4353	54,9585	53,8286	51,4895	54,6227	51,1950	48,64	54,74	52,44
48	w	45,5261	49,9737	45,6343	48,6635	50,0635	44,5433	47,9243	49,7839	45,8148	47,04	47,76	47,84

Abbildung 12: Qx-Mittelwerte für alle drei Stimmeinsatzqualitäten bei weiblichen Probanden, Zeitraum 1000-1100mS. Dargestellt sind für jede Einsatzqualität die Mittelwerte der drei Messreihen. Daraus wurde ein Durchschnittswert gebildet; zu sehen am rechten Tabellenrand. Diese Durchschnittswerte bilden die Grundlage für Graphik Nr. 4.

Lfd.Nr.: Probandennummer/ individuelle Zuordnung  
g1...3: Einsatzqualität „gehaucht“, Nummer des Messdurchgangs  
h1...3: Einsatzqualität „hart“, Nummer des Messdurchgangs  
n1...3: Einsatzqualität „normal“, Nummer des Messdurchgangs

Lfd.Nr.	♂	g1	g2	g3	h1	h2	h3	n1	n2	n3	g Ø	h Ø	n Ø
6	m	43,3480	37,3118	39,1855	45,6091	40,0980	43,9373	48,0427	43,7110	39,6100	39,95	43,21	43,79
7	m	46,7458	47,1864	48,4100	55,8975	52,6608	54,9525	50,3336	50,3336	52,6000	47,45	54,50	51,09
9	m	46,9979	50,7700	50,8557	61,5431	62,1185	58,9093	50,3746	49,2362	51,4500	49,54	60,86	50,35
12	m	35,5608	34,1754	35,1392	55,2269	46,0138	51,6362	37,4208	35,2608	35,6000	34,96	50,96	36,09
13	m	58,0591	60,3418	56,9375	59,5564	58,1864	60,3191	57,0691	58,1009	59,1682	58,45	59,35	58,11
16	m	38,2091	34,8510	36,8180	50,3064	41,6867	41,6230	35,2510	36,6880	38,3960	36,63	44,54	36,78
18	m	45,7118	46,5933	43,5245	56,1725	52,0018	63,0409	51,1200	54,7500	48,8964	45,28	57,07	51,59
22	m	44,5823	44,4354	47,4771	53,5136	49,8815	52,0629	54,4954	51,5600	50,6115	45,50	51,82	52,22
23	m	52,8100	50,4892	49,4854	55,7469	55,3023	57,5054	53,3692	58,2446	60,2938	50,93	56,18	57,30
27	m	33,8927	30,4417	35,0364	35,6327	37,0536	41,5800	43,7009	34,7727	42,8010	33,12	38,09	40,42
30	m	44,1475	40,0067	45,6225	37,6900	47,3091	44,2480	47,5364	47,6855	38,0718	43,26	43,08	44,43
31	m	50,7008	51,0700	49,6498	52,6245	50,8250	49,3792	55,3464	71,0967	45,7367	50,47	50,94	57,39
37	m	39,0600	44,9060	42,3009	46,5691	43,6300	46,5073	45,2773	41,9000	43,4111	42,09	45,57	43,53
38	m	44,6920	49,0550	39,5860	45,1991	46,4540	39,8491	48,3327	38,3018	40,0055	44,44	43,83	42,21
39	m	44,4725	48,6600	52,2050	45,9158	52,4008	43,9650	52,9842	42,2617	51,7650	48,45	47,43	49,00
41	m	39,9423	38,5514	41,9136	46,2700	43,5986	41,4843	40,7100	39,5900	41,4485	40,14	43,78	40,58
42	m	45,8700	44,7591	43,1464	54,3475	53,1192	59,6125	45,7780	52,5691	52,7092	44,59	55,69	50,35
43	m	39,0327	40,4100	42,7900	45,3727	46,8475	48,3867	45,3544	45,0556	46,7689	40,74	46,87	45,73
44	m	38,2127	44,3567	43,4314	57,1620	56,2229		49,2062	54,2123	47,5031	42,00	56,69	50,31
45	m	46,4590	43,7250	39,7160	51,3782	48,5467	49,5711	52,7118	51,5727	52,9682	43,30	49,83	52,42
49	m	34,3531	33,5300	37,0264	53,0492	56,1477	54,5392	47,7133	44,4269	45,5785	34,97	54,58	45,91

Abbildung 13: Qx-Mittelwerte für alle drei Stimmeinsatzqualitäten bei männlichen Probanden, Zeitraum 1000-1100mS. Dargestellt sind für jede Einsatzqualität die Mittelwerte der drei Messreihen. Daraus wurde ein Durchschnittswert gebildet; zu sehen am rechten Tabellenrand. Diese Durchschnittswerte bilden die Grundlage für Graphik Nr. 3.

- Lfd.Nr.: Probandennummer/ individuelle Zuordnung  
g1...3: Einsatzqualität „gehaucht“, Nummer des Messdurchgangs  
h1...3: Einsatzqualität „hart“, Nummer des Messdurchgangs  
n1...3: Einsatzqualität „normal“, Nummer des Messdurchgangs

Nr.	Gesch.	Mittelwerte von Qx für jeden Stimmeinsatz, Zeitraum 0-100ms									Mittelwert Qx 0-100ms			Minimum-Maximum Qx 0-100ms						Standardabweichungen 0-100 ms		
		g1	g2	g3	h1	h2	h3	n1	n2	n3	g Ø	h Ø	n Ø	min g	max g	min h	max h	min n	max n	g σ	h σ	n σ
1	w	24,7994	24,2871	23,4045	45,2941	40,4619	38,0894	39,2521	39,3033	35,3108	24,164	41,282	37,955	23,405	24,799	38,089	45,294	35,311	39,303	0,7056	3,6717	2,2904
2	w	39,3367	42,2585	40,77	40,7964	47,071	42,3352	39,551	43,4462	38,9806	40,788	43,401	40,659	39,337	42,259	40,796	47,071	38,981	43,446	1,4610	3,2702	2,4303
3	w	43,4032	45,1405	46,7539	48,9737	46,0832	45,9989	44,1263	48,9463	45,65	45,099	47,019	46,241	43,403	46,754	45,999	48,974	44,126	48,946	1,6757	1,6837	2,4637
4	w	37,7739	45,8679	-	48,972	58,1009	51,6229	46,7029	55,4313	48,0271	41,821	52,899	50,054	37,774	45,868	48,972	58,101	46,703	55,431	5,7233	4,6862	4,7039
5	w	43,8577	47,507	42,4455	49,7895	55,3518	55,7429	53,2025	40,1767	51,1953	44,603	53,628	48,192	42,446	47,507	49,790	55,743	40,177	53,203	2,6118	3,3300	7,0132
6	m	49,761	44,491	40,6218	55,3692	44,9291	47,2883	49,961	51,257	43,4491	44,958	49,196	48,222	40,622	49,761	44,929	55,369	43,449	51,257	4,5875	5,4751	4,1843
7	m	42,3808	37,2325	45,3908	52,2086	53,795	54,6236	45,6308	45,6308	50,5877	41,668	53,542	47,283	37,233	45,391	52,209	54,624	45,631	50,588	4,1256	1,2272	2,8619
8	w	47,6733	45,0824	43,2043	51,0171	49,9148	49,8105	48,4305	50,445	45,5355	45,320	50,247	48,137	43,204	47,673	49,811	51,017	45,536	50,445	2,2440	0,6886	2,4679
9	m	46,8793	47,4085	49,3021	62,72	65,9331	63,07	35,0767	45,9546	53,4185	47,863	63,908	44,817	46,879	49,302	62,720	65,933	35,077	53,419	1,2738	1,7628	9,2237
10	w	36,6875	35,596	30,221	50,9295	57,7316	54,6021	44,6628	48,7972	52,6289	34,168	54,421	48,696	30,221	36,688	50,930	57,732	44,663	52,629	3,4616	3,4047	3,9840
11	w	32,4165	27,1806	28,9428	63,48	59,3661	56,6489	38,9179	49,9763	45,3417	29,513	59,832	44,745	27,181	32,417	56,649	63,480	38,918	49,976	2,8642	3,4393	5,5533
12	m	33,4462	32,6331	34,4554	53,9169	45,5354	47,7836	37,0458	35,908	40,5654	33,512	49,079	37,840	32,633	34,455	45,535	53,917	35,908	40,565	0,9129	4,3382	2,4281
13	m	47,6918	49,2382	44,2533	59,4042	54,7708	55,895	51,6591	54,4173	52,2455	47,061	56,690	52,774	44,253	49,238	54,771	59,404	51,659	54,417	2,5516	2,4168	1,4531
14	w	49,8141	43,3555	46,5186	55,4291	57,6105	54,725	55,605	54,9375	52,5257	46,563	55,922	54,256	43,356	49,814	54,725	57,611	52,226	55,605	3,3295	1,5045	1,7897
15	w	34,3714	37,1545	-	44,6148	44,7278	48,487	42,3911	43,67	45,9841	35,763	45,943	44,015	34,371	37,155	44,615	48,487	42,391	45,984	1,9679	2,2037	1,8212
16	m	31,0492	40,222	34,532	59,1725	50,013	51,3009	41,308	34,9611	42,976	35,268	53,495	39,748	31,049	40,222	50,013	59,173	34,961	42,976	4,6304	4,9844	4,2289
17	w	46,1157	42,8523	42,8523	60,719	49,6477	40,9467	35,8681	44,5726	48,5283	43,940	50,438	42,990	42,852	46,116	40,947	60,719	35,868	48,528	1,8841	9,9098	6,4768
18	m	47,9009	51,3342	43,6418	61,4062	57,0775	66,1385	53,8291	56,0683	56,95	47,626	61,541	55,616	43,642	51,334	57,078	66,139	53,829	56,950	3,8536	4,5320	1,6089
19	w	29,5848	37,3709	36,7417	51,2255	52,7329	50,5	44,5991	39,005	43,563	34,566	51,486	42,389	29,585	37,371	50,500	52,733	39,005	44,599	4,3251	1,1390	2,9761
20	w	40,9748	40,2152	34,9725	50,052	52,233	55,8444	35,52	43,0682	42,1463	38,721	52,710	40,245	34,973	40,975	50,052	55,844	35,520	43,069	3,2683	9,2255	4,1181
21	w	42,1794	33,887	41,8916	56,0553	54,1	54,3395	42,2532	40,0267	43,381	39,319	54,832	41,887	33,887	42,179	54,100	56,055	40,027	43,381	4,7067	1,0665	1,7069
22	m	42,3085	42,2782	41,2085	53,0707	61,99	65,4708	59,7675	57,7033	58,5309	41,932	60,177	56,667	41,209	42,309	53,071	65,471	57,703	59,768	0,6285	6,3957	1,0388
23	m	48,0877	39,9821	43,6057	52,9486	53,1643	53,6057	53,15	51,9836	55,6462	43,892	53,240	53,593	39,982	48,088	52,949	53,606	51,984	55,646	4,0604	0,3349	1,8711
24	w	40,484	47,6962	37,5436	52,9575	54,1373	54,4054	39,5982	49,6038	40,1605	41,908	53,833	43,121	37,544	47,696	52,958	54,405	39,598	49,604	5,2239	0,7703	5,6214
25	w	45,611	55,2979	46,19	45,9012	49,5979	39,29,63	49,9363	48,3122	48,8047	49,033	47,750	49,018	45,611	55,298	45,901	49,598	48,312	49,936	5,4333	2,6140	0,8327
26	w	41,86	47,7295	49,0859	49,0859	47,3559	54,3115	49,5125	49,02	47,8968	46,225	50,251	48,810	41,860	49,086	47,356	54,312	47,897	49,513	3,8407	3,6212	0,8281
27	m	29,8	30,895	30,6667	45,3245	49,7723	49,34	49,56	49,268	45,7682	30,454	48,146	48,199	29,800	30,895	45,325	49,772	45,768	49,560	0,5777	2,4527	2,1100
28	w	32,6021	44,9274	29,0767	43,8875	44,8332	51,482	49,2552	44,0957	39,6811	35,535	46,734	44,344	29,077	44,927	43,888	51,482	39,681	49,255	8,3225	4,1388	4,7919
29	w	40,4772	51,0922	46,4565	50,4082	53,3074	50,9445	31,0869	46,092	47,9633	46,009	51,553	41,714	40,477	51,092	50,408	53,307	31,087	47,963	5,3217	1,5425	9,2508
30	m	42,6825	36,5785	36,5783	43,2427	46,0864	47,16	42,1827	47,74	40,392	38,613	45,496	43,438	36,578	42,683	43,243	47,160	40,392	47,740	3,5242	2,0242	3,8315
31	m	44,2725	46,4792	45,9162	57,1362	58,9485	55,8777	56,7775	53,3722	51,13	45,556	57,321	53,760	44,273	46,479	55,878	58,949	51,130	56,778	1,1466	1,5437	2,8436
32	w	41,0589	44,761	46,334	54,6389	57,7972	54,0989	44,0793	43,1334	45,1361	44,051	55,512	44,116	41,059	46,334	54,099	57,797	43,133	45,136	2,7082	1,9977	1,0019
33	w	33,9595	36,041	30,0242	35,3038	40,0562	44,1171	37,4738	38,13	46,8211	33,342	39,826	40,808	30,024	36,041	35,304	44,117	37,474	46,821	3,0556	4,4112	5,2176
34	w	50,0996	50,0995	48,0483	45,9204	41,3719	38,0161	36,2656	37,7309	37,237	49,416	41,769	37,078	48,048	50,100	38,016	45,920	36,266	37,731	1,1843	3,9671	0,7455
35	w	36,4835	29,2035	42,6567	32,9211	42,9852	37,4448	37,0326	39,6633	35,2117	35,781	37,784	37,303	29,204	42,657	32,921	42,985	35,212	39,663	6,7315	5,0406	2,2380
36	w	56,442	50,3873	49,9885	56,2114	55,4513	35,0492	56,084	55,642	50,97	52,273	48,904	54,232	49,989	56,442	50,349	56,211	50,970	56,084	3,6163	12,0046	2,8336
37	m	38,7211	44,304	41,345	38,1982	40,6482	50,3227	49,309	37,4222	44,233	41,457	43,056	43,655	38,721	44,304	38,198	50,323	37,422	49,309	2,7931	6,4110	5,9645
38	m	38,089	47,069	38,635	44,1867	47,0773	46,2718	44,6936	40,649	31,924	41,264	45,845	39,089	38,089	47,069	44,187	47,077	31,924	44,694	5,0344	1,4918	6,5262
39	m	45,1458	57,8145	54,4142	57,77	54,61	52,7117	54,8355	41,078	46,043	52,458	55,031	47,319	45,146	57,815	52,712	57,770	41,078	54,836	6,5569	2,5552	6,9669
40	w	42,0973	48,4571	51,249	56,5455	57,12	53,91	50,45	47,8243	48,459	47,268	55,859	48,911	42,097	51,249	53,910	57,120	47,824	50,450	4,6903	1,7117	1,3700
41	m	31,1177	33,0162	25,55	46,7007	50,36	47,4687	41,2592	45,2585	39,84	29,895	48,176	42,119	25,550	33,016	46,701	50,360	39,840	45,259	3,8805	1,9296	2,8098
42	m	44,4144	27,0058	40,1	58,2323	51,8358	40,7909	42,37	36,5525	27,355	37,173	50,286	35,426	27,006	44,414	40,791	58,232	27,355	42,370	9,0658	8,8233	7,5706
43	m	43,5864	39,224	41,674	44,9692	41,2242	44,1309	53,692	41,5122	50,443	41,495	43,441	48,549	39,224	43,586	41,224	44,969	41,512	53,692	2,1867	1,9654	6,3069
44	m	44,0264	42,4414	44,1815	61,898	64,7227	-	46,2638	55,1323	50,5229	43,550	63,310	50,640	42,441	44,182	61,898	64,723	46,264	55,132	0,9630	1,9974	4,4354
45	m	43,3818	43,915	41,91	38,8762	49,3417	50,8755	52,7109	48,4036	51,8283	43,069	46,364	50,981	41,910	43,915	38,876	50,876	48,404	52,711	1,0385	6,5302	2,2752
46	w	34,3584	31,1944	30,705	43,3317	46,447	46,3568	34,8226	36,2016	34,1221	32,086	45,379	35,049	30,705	34,358	43,332	46,447	34,122	36,202	1,9832	1,7732	1,0580
47	w	47,7467	48,4911	42,6817	57,991	42,5224	56,0462	54,3658	52,863	49,4542	46,307	52,187	52,228	42,682	48,491	42,522	57,991	49,454	54,366	3,1612	8,4257	2,5167
48	w	43,1317	46,6752	44,7096	53,1457	49,65	43,3317	46,4895														

Nr.	g / j	Mittelwert von Qx für jeden Stimmeinsatz, Zeitpunkt 1000-1100ms											Mittelwert Qx 1.0-1.1 s			Minimum-Maximum Qx 1000-1100 ms				Standardabweichung 1.0-1.1 s		
		ld.nr.	Ges.	g1	g2	g3	h1	h2	h3	n1	n2	n3	g Ø	h Ø	n Ø	min g	max g	min h	max h	min n	max n	g σ
1	w	36,7417	28,1539	24,6704	57,4342	42,8075	40,9826	47,4521	38,8322	39,3132	29,855	47,075	41,866	24,670	36,742	40,983	57,434	38,832	47,452	6,2129	9,0178	4,8438
2	w	42,0686	41,0555	37,4632	39,0895	34,9270	36,8990	39,2389	40,0679	37,3467	40,196	36,972	38,885	37,463	42,069	34,927	39,090	37,347	40,068	2,4201	2,0822	1,3948
3	w	49,3684	52,1875	48,8975	50,7530	51,4220	51,0826	49,5947	51,1284	50,4825	50,151	51,086	50,402	48,898	52,188	50,753	51,422	49,595	51,128	1,7792	0,3345	0,7700
4	w	47,8793	50,9416		50,6800	54,2852	49,9562	49,5800	50,8300	51,0300	49,410	51,640	50,480	47,879	50,942	49,956	54,285	49,580	51,030	2,1654	2,3188	0,7858
5	w	57,4825	40,9262	41,0874	53,8962	56,3110	56,7548	46,0125	48,8133	56,1214	46,499	55,654	50,316	40,926	57,483	53,896	56,755	46,013	56,121	9,5126	1,5384	5,2192
6	m	43,3480	37,3118	39,1855	45,6091	40,0980	43,9373	48,0427	43,7110	39,6100	39,948	43,215	43,788	37,312	43,348	40,098	45,609	39,610	48,043	3,0896	2,8257	4,2169
7	m	46,7458	47,1864	48,4100	55,8975	52,6608	54,9525	50,3336	50,3336	52,6000	47,447	54,504	51,089	46,746	48,410	52,661	55,898	50,334	52,600	0,8623	1,6644	1,3085
8	w	43,6305	41,0252	40,8181	52,9241	49,7673	44,1876	52,3381	41,6157	44,1573	41,825	48,960	46,037	40,818	43,631	44,188	52,924	41,616	52,338	1,5674	4,4239	5,6029
9	m	46,9979	50,7700	50,8557	61,5431	62,1185	58,9093	50,3746	49,2362	51,4500	49,541	60,857	50,354	46,998	50,856	58,909	62,119	49,236	51,450	2,2030	1,7111	1,1070
10	w	46,1615	45,0580	40,4348	46,5067	51,2743	43,8690	44,8630	45,8600	48,2000	43,885	47,217	46,308	40,435	46,162	43,869	51,274	44,863	45,200	3,0383	3,7534	1,7129
11	w	34,8650	42,6900	40,0284	56,3233	62,6661	57,5189	41,6828	54,7600	55,2932	39,194	58,836	50,579	34,865	42,690	56,323	62,666	41,683	55,293	3,9786	3,3703	7,7087
12	m	35,5608	34,1754	35,1392	55,2269	46,0138	51,6362	37,4208	35,2608	35,6000	34,958	50,959	36,094	34,175	35,561	46,014	55,227	35,261	37,421	0,7102	4,6437	1,1616
13	m	58,0591	60,3418	56,9375	59,5564	58,1864	60,3191	57,0691	58,1009	59,1682	58,446	59,354	58,113	56,938	60,342	58,186	60,319	57,069	59,168	1,7348	1,0807	1,0496
14	w	51,8612	45,8092	52,0604	57,9575	56,9613	55,0264	59,0954	56,8154	55,2238	49,910	56,648	57,045	45,809	52,060	55,026	57,958	55,224	59,095	3,5530	1,4904	1,9460
15	w	36,4832	42,4204		43,2427	49,0770	44,0252	47,0191	49,4145	46,0152	39,452	45,448	47,483	36,483	42,420	43,243	49,077	46,015	49,415	4,1982	3,1688	1,7465
16	m	38,2091	34,8510	36,8180	50,3064	41,6867	41,6230	35,2510	36,6880	38,3960	36,626	44,539	36,778	34,851	38,209	41,623	50,306	35,251	38,396	1,6873	4,9951	1,5744
17	w	39,8477	43,5285	43,5285	47,9630	45,0881	43,0595	45,1530	44,8980	47,7079	42,302	45,367	45,920	39,848	43,529	43,600	47,963	44,898	47,708	2,1251	2,4586	1,5539
18	m	45,7118	46,5933	43,5245	56,1725	52,0018	63,0409	51,1200	54,7500	48,8964	45,277	57,072	51,589	43,525	46,593	52,002	63,041	48,896	54,750	1,5800	5,5742	2,9548
19	w	47,9250	36,3191	41,2136	37,0259	39,3133	43,5248	48,8561	37,5378	39,6900	41,486	39,955	42,028	35,319	47,925	37,026	43,525	37,538	48,856	6,3074	3,2966	6,0105
20	w	41,2475	34,1270	34,1981	43,2928	41,9236	39,5812	43,7717	40,6659	38,8544	36,524	41,599	41,097	34,127	41,248	39,581	43,293	38,854	43,772	4,0077	1,8769	2,4869
21	w	48,4755	42,4941	41,6450	51,5845	42,5304	45,0481	43,5745	42,9032	44,6100	44,205	46,388	43,696	41,645	48,476	42,530	51,585	42,903	44,610	3,7228	4,6733	0,8599
22	m	44,5823	44,4354	47,4771	53,5136	49,8815	52,0629	54,4954	51,5600	50,6115	45,498	51,819	52,222	44,435	47,477	49,882	53,514	50,612	54,495	1,7153	1,8283	2,0249
23	m	52,8100	50,4892	49,4854	55,7469	55,3023	57,5054	53,3692	58,2446	60,2938	50,928	56,185	57,303	49,485	52,810	55,302	57,505	53,369	60,294	1,7052	1,1650	3,5571
24	w	47,3881	53,8382	44,8747	47,2443	53,1452	52,1095	47,2919	49,8696	50,1532	48,700	50,833	49,105	44,875	53,838	47,244	53,145	47,292	50,153	4,6236	3,1508	1,5763
25	w	48,1426	54,4784	51,9337	53,7658	54,9595	56,8355	49,1511	49,5132	52,4685	51,518	55,187	50,378	48,143	54,478	53,766	56,836	49,151	52,469	3,1883	1,5474	1,8198
26	w	45,9695	51,5553	44,6578	44,6578	43,7096	51,7165	48,5155	48,5424	46,7635	47,394	46,695	47,940	44,658	51,555	43,710	51,717	46,764	48,542	3,6628	4,3748	1,0194
27	m	33,8927	30,4417	35,0364	35,6327	37,0536	41,5800	43,7009	34,7727	42,8010	33,124	38,089	40,425	30,442	36,036	35,633	41,580	34,773	43,701	2,3920	3,1058	4,9156
28	w	30,0596	47,2196	33,4864	50,9992	49,5167	51,3108	47,4291	51,7125	47,0452	36,922	50,609	48,729	30,060	47,220	49,517	51,311	47,045	51,713	9,0812	0,9586	2,5910
29	w	43,7763	51,4195	47,6347	46,1368	51,5300	49,8445	48,0911	41,6140	51,8553	47,610	49,170	47,187	43,776	51,420	46,137	51,530	41,614	51,855	3,8217	2,7591	5,1802
30	m	44,1475	40,0067	45,6225	37,6900	47,3091	44,2480	47,5364	47,6855	38,0718	43,259	43,082	44,431	40,007	45,623	37,690	47,309	38,072	47,686	2,9114	4,9143	5,5079
31	m	50,7008	51,0700	49,6498	52,6245	50,8250	49,3792	55,3464	51,0967	45,7367	50,474	50,943	57,393	49,650	51,070	49,379	52,625	45,737	71,097	0,7369	1,6259	12,8033
32	w	45,1655	47,1513	47,2033	47,8567	50,2352	50,9103	48,3393	48,1477	50,1245	46,507	49,667	48,871	45,166	47,203	47,857	50,910	48,148	50,125	1,1618	1,6040	1,0902
33	w	44,1900	45,1614	43,4767	46,5748	48,2555	51,0424	45,4619	45,4919	50,4736	44,276	48,624	47,142	43,477	45,161	46,575	51,042	45,462	50,474	0,8456	2,2565	2,8849
34	w	43,6685	43,6684	46,4881	46,0924	41,8071	41,8510	39,1986	45,7876	46,0552	44,608	43,250	43,680	43,668	46,488	41,807	46,092	39,199	46,055	1,6279	2,4615	3,8837
35	w	40,3241	45,0961	44,5370	45,7762	50,6100	52,5036	44,9004	45,2180	42,4291	43,319	49,630	44,183	40,324	45,096	45,776	52,504	42,429	45,218	2,6087	3,4691	1,5268
36	w	59,0047	53,4700	46,9683	50,9827	51,5080	51,1927	56,5700	57,4580	52,6364	53,148	51,228	55,555	46,968	59,005	50,983	51,508	52,636	57,458	6,0247	0,2644	2,5661
37	m	39,0600	44,9060	42,3009	46,5691	43,6300	46,5073	45,2773	41,9000	43,4111	42,089	45,569	43,529	39,060	44,906	43,630	46,569	41,900	45,277	2,9288	1,6793	1,6918
38	m	44,6920	49,0550	39,5860	45,1991	46,4540	39,8491	48,3327	38,3018	40,0055	44,444	43,834	42,213	39,586	49,055	39,849	46,454	38,302	48,333	4,7394	3,5077	5,3676
39	m	44,4725	48,6800	52,2050	45,9158	52,4008	43,9650	52,9842	42,2617	51,7650	48,446	47,427	49,004	44,473	52,205	43,965	52,401	42,262	52,984	3,8707	4,4163	5,8704
40	w	50,5952	50,2167	52,4641	50,9681	52,1905	52,7171	50,5262	51,2033	52,0550	51,092	51,959	51,262	50,217	52,464	50,968	52,717	50,526	52,055	1,2032	0,8973	0,7661
41	m	39,9423	38,5514	41,9136	46,2700	43,5986	41,4843	40,7100	39,5900	41,4485	40,136	43,784	40,583	38,551	41,914	41,484	46,270	39,590	41,449	1,6894	2,3982	0,9358
42	m	45,8700	44,7591	43,1464	54,3475	53,1192	59,6125	45,7780	52,5691	52,7092	44,592	55,693	50,352	43,146	45,870	53,119	59,613	45,778	52,709	1,3695	3,4494	3,9619
43	m	39,0327	40,4100	42,7900	45,3727	46,8475	48,3867	45,3544	45,0556	46,7889	40,744	46,869	45,726	39,033	42,790	45,373	48,387	45,056	46,769	1,9008	1,5071	0,9152
44	m	38,2127	44,3567	43,4314	57,1620	56,2229		49,2062	54,2123	47,5031	42,000	56,692	50,307	38,213	44,357	56,223	57,162	47,503	54,212	3,3126	0,6640	3,4875
45	m	46,4590	43,7250	39,7160	51,3782	48,5467	49,5711	52,7118	51,5727	52,9682	43,300	49,832	52,418	39,716	46,459	48,547	51,378	51,573	52,968	3,3915	1,4337	0,7428
46	w	26,4742	33,7489	31,1206	41,7806	42,0067	41,5928	40,9637	36,4760	36,9195	30,448	41,793	38,120	26,474	33,749	41,593	42,007	36,476	40,964	3,6837	0,2072	2,4729
47	w	46,4863	52,0860	47,3500	55,4353	54,9585	53,8286	51,4895	54,6227	51,1950	48,641	54,741	52,436	46,486	52,086	53,829						

Lfd.-Nr:	Qualität des Stimmeinsatzes:								
1	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	hart	gehaucht	physiol.	hart	gehaucht
2	hart	gehaucht	physiol.	physiol.	gehaucht	hart	hart	physiol.	gehaucht
3	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	physiol.	hart	hart	gehaucht	physiol.
4	physiol.	hart	gehaucht	gehaucht	hart	physiol.	physiol.	hart	gehaucht
5	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	hart	gehaucht	gehaucht	physiol.	hart
6	gehaucht	physiol.	hart	hart	gehaucht	physiol.	physiol.	gehaucht	hart
7	gehaucht	physiol.	hart	physiol.	hart	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht
8	gehaucht	physiol.	hart	hart	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht
9	gehaucht	hart	physiol.	hart	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	physiol.
10	gehaucht	hart	physiol.	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	hart	physiol.
11	hart	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	physiol.	physiol.	gehaucht	hart
12	physiol.	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart	hart	physiol.	gehaucht
13	gehaucht	physiol.	hart	physiol.	hart	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht
14	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart	physiol.
15	gehaucht	physiol.	hart	hart	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	physiol.
16	physiol.	gehaucht	hart	hart	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	physiol.
17	hart	physiol.	gehaucht	gehaucht	physiol.	hart	hart	gehaucht	physiol.
18	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	hart	physiol.	physiol.	hart	gehaucht
19	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart
20	physiol.	gehaucht	hart	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	physiol.	hart
21	physiol.	hart	gehaucht	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	hart	physiol.
22	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	physiol.	hart
23	hart	physiol.	gehaucht	gehaucht	hart	physiol.	physiol.	gehaucht	hart
24	physiol.	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	hart	physiol.
25	gehaucht	physiol.	hart	physiol.	hart	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht
26	physiol.	gehaucht	hart	hart	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht
27	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	physiol.	gehaucht	hart
28	physiol.	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart	hart	physiol.	gehaucht
29	gehaucht	physiol.	hart	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	physiol.	hart
30	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	hart	physiol.
31	gehaucht	hart	physiol.	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	physiol.	hart
32	hart	physiol.	gehaucht	gehaucht	hart	physiol.	hart	physiol.	gehaucht
33	hart	physiol.	gehaucht	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	physiol.	hart
34	gehaucht	hart	physiol.	hart	physiol.	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart
35	hart	physiol.	gehaucht	gehaucht	physiol.	hart	gehaucht	physiol.	hart
36	physiol.	gehaucht	hart	hart	gehaucht	physiol.	physiol.	gehaucht	physiol.
37	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	physiol.	gehaucht	hart
38	gehaucht	hart	physiol.	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	hart	gehaucht
39	hart	physiol.	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	hart	physiol.
40	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	hart	gehaucht	gehaucht	physiol.	hart
41	physiol.	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	hart	physiol.
42	hart	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	physiol.	hart	gehaucht	physiol.
43	hart	gehaucht	physiol.	hart	physiol.	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart
44	physiol.	hart	gehaucht	physiol.	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	hart
45	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	hart	gehaucht	hart	gehaucht	physiol.
46	physiol.	hart	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	gehaucht	hart	physiol.
47	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	hart	physiol.	gehaucht	hart
48	gehaucht	physiol.	hart	hart	gehaucht	physiol.	gehaucht	physiol.	hart
49	physiol.	gehaucht	hart	gehaucht	hart	physiol.	hart	physiol.	gehaucht

Abbildung 16: Randomisationsplan. Reihenfolge der Stimmeinsätze für jeden Probanden in neun Messreihen unterteilt. Jede Messreihe besteht aus einem Triplet. Weitere Erklärungen unter 5.3 im Text oder siehe Graphikverzeichnis S.59.

Lfd. Nr.		♀/♂	Regressions- koeffizient	p-Wert		Mittelwert Regression	Mittelwerte des Regressionskoeffizienten		
							gehaucht	hart	normal
1	g1	10	0,009	<0,0001	1	0,0029	0,0029	0	0
	g2		-0,0059	<0,0001		0,003733333	0	0	0
	g3		0,0056	0,2751		0,0052	0	0	0
	h1		0,0115	0,0149	2	0,004833333	0	0,004833333	0
	h2		-0,0015	0,1626		0,004266667	0	0	0
	h3		0,0045	<0,0001		0,001733333	0	0	0
	n1		0,0098	<0,0001	3	0,001733333	0	0	0,001733333
	n2		-0,0091	<0,0001		-0,000766667	0	0	0
	n3		0,0045	<0,0001		0,003433333	0	0	0
2	g1	10	0,0023	<0,0001	1	0,000766667	0,000766667	0	0
	g2		0,0035	<0,0001		0,0006	0	0	0
	g3		-0,0035	<0,0001		-0,002733333	0	0	0
	h1		0,0018	<0,0001	2	-0,004766667	0	-0,004766667	0
	h2		-0,0065	<0,0001		-0,0053	0	0	0
	h3		-0,0096	<0,0001		-0,002266667	0	0	0
	n1		0,0002	0,657	3	0,0013	0	0	0,0013
	n2		0,0026	<0,0001		0,0023	0	0	0
	n3		0,0011	0,0088		0,0032	0	0	0
3	g1	10	0,0032	<0,0001	1	0,002233333	0,002233333	0	0
	g2		0,0053	<0,0001		0,002666667	0	0	0
	g3		-0,0018	<0,0001		0,0026	0	0	0
	h1		0,0045	<0,0001	2	0,006166667	0	0,006166667	0
	h2		0,0051	<0,0001		0,004866667	0	0	0
	h3		0,0089	<0,0001		0,003766667	0	0	0
	n1		0,0006	0,0636	3	0,002133333	0	0	0,002133333
	n2		0,0018	<0,0001		0,005133333	0	0	0
	n3		0,004	<0,0001		0,0056	0	0	0
4	g1	10	0,0096	<0,0001	1	0,0064	0,0064	0	0
	g2		0,0032	0,0711		0,00305	0	0	0
	g3					-0,00025	0	0	0
	h1		0,0029	<0,0001	2	0,001066667	0	0,001066667	0
	h2		-0,0034	<0,0001		0,0002	0	0	0
	h3		0,0037	<0,0001		0,003066667	0	0	0
	n1		0,0003	0,7233	3	0,002533333	0	0	0,002533333
	n2		0,0052	0,0041		0,007466667	0	0	0
	n3		0,0021	0,3526		0,004666667	0	0	0

Abbildung 17.

Grundlage der Auswertung ist diese Excel®-Tabelle (hier im Ausschnitt zu sehen). Spalten von links nach rechts: Probandennummer, Messreihe, Geschlecht (10= weiblich, 11=männlich), Regr.koeffizient, p-Wert, Indexmarke, Mittelwert des Regressionskoeffizienten über das jeweilige Triplet der Stimmeinsatzqualität; die letzten drei Spalten geben den Mittelwert aufgeschlüsselt in die drei Einsatzqualitäten wieder. Weitere Erläuterungen siehe Graphikverzeichnis S. 59.

## 12. Danksagung

Ich möchte mich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung für Hör-, Stimm- und Sprachheilkunde des UKE für Ihre Unterstützung während des praktischen Teils dieser Arbeit bedanken, ganz besonders natürlich bei den Logopädinnen, die mich bei der Datenerhebung begleitet haben. Des weiteren danke ich Frau Dr. S. Fleischer und Herrn Prof. Dr. M. Hess für Ihre geduldige und immer freundliche Unterstützung und Ausdauer, ebenso wie Herrn Dr. R. Laudahn für die technische Unterstützung und Herrn Xinghui Hu von der Firma Laryngograph Ltd. für die Anpassung der Software an meine Bedürfnisse.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die sich beharrlich um die Weiterentwicklung dieser Arbeit gesorgt haben und mich in allen Belangen unterstützt haben. Auch Tim, Marcus und Ann-Kathrin danke ich für Ihre Bemühungen und ihren Einsatz, wann immer ich etwas Unterstützung oder Zerstreuung brauchte.

## 13. Lebenslauf

- 7. August 1976:** Geburt in Hamburg; Mutter Sonderschul-  
pädagogin, Vater Psychoanalytiker
- August 1983:** Einschulung in die Grundschule Swatten Weg,  
Hamburg
- August 1987:** Umschulung auf das Goethe-Gymnasium in  
Hamburg
- Juni 1996:** Abitur
- Aug. 1996 – Okt. 1997:** Zivildienst als Rettungssanitäter auf der  
Notarztwache des Arbeiter-Samariter-Bundes  
in Hamburg- Osdorf
- Oktober 1997:** Beginn des Medizin-Studiums an der  
Universität Hamburg
- Oktober 2000:** Famulatur in Schweden im Uni-  
Lehrkrankenhaus Växjö, Innere Medizin
- März 2001:** 1. Staatsexamen Humanmedizin
- Febr. bis April 2002:** Famulatur in der Strahlendiagnostik des AK  
Altona
- Aug. bis Sept. 2002:** Famulatur in der Abteilung für Gynäkologie  
und Geburtshilfe des AK-Altona
- Februar/März 2003:** 2. Staatsexamen Humanmedizin

- seit April 2003:** Promotionsarbeit in der Abteilung für Hör-, Stimm- und Sprachheilkunde des UKE.
- Okt. '03 – Sept. 04:** Praktisches Jahr des Medizinstudiums, davon 6 Monate in Mittel- und Nordschweden
- Dezember 2004:** 3. Staatsexamen Humanmedizin und Abschluß des Studiums
- Januar 2005:** Vollapprobation
- seit März 2005:** unbefristetes Arbeitsverhältnis in der Abteilung für Gynäkologie und Geburtshilfe des Albertinen-Krankenhauses, Hamburg-Schnelsen

Hamburg, 1.12.2007

## 14. Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe und dabei keine andere als die angegebene Literatur verwendet habe.

Alle Zitate und sinngemäßen Entlehnungen sind als solche unter genauer Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachverteter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Hamburg, den 1.12.2007