

**INSTRUMENTELLE ANALYSE VON SPRECHERN MIT
EINSEITIGER REKURRENSPARESE - VIER
LONGITUDINALE FALLSTUDIEN**

Silke Jarmut

Magisterarbeit – Dezember 2003

Institut für Phonetik

Universität des Saarlandes

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die Verwendung akustischer und elektroglossographischer Analysemethoden zur Untersuchung der glottalen Funktion als Ergänzung und Objektivierung phoniatischer Diagnosen überprüft. Dazu werden Sprecherinnen und Sprecher mit einseitiger Rekurrensparese im Vergleich zu stimmgesunden Kontrollgruppen untersucht.

In einer Pilotstudie wird nachgewiesen, daß mit Hilfe instrumenteller Analysen zwischen gesunden und pathologischen sowie zwischen kompensierenden und nicht-kompensierenden Sprecherinnen unterschieden werden kann.

Für die Hauptuntersuchung werden die Signale von zwei Sprecherinnen und zwei Sprechern analysiert, die bei jedem Sprecher zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten vorliegen. Die Analysedaten der drei Sitzungen werden einerseits untereinander verglichen, um glottale Veränderungen festzustellen. Andererseits werden sie mit bereits empirisch ermittelten Daten stimmgesunder Kontrollgruppen in Beziehung gesetzt, um die Veränderungen als Verbesserung oder als Verschlechterung einzustufen. Ergänzend wird eine subjektive auditive Bewertung mit Hilfe des in Deutschland verwendeten RBH-Systems (Rauhigkeit, Behauchtheit, Heiserkeit) angegeben. Es wird gezeigt, daß instrumentelle Analysemethoden zur Ergänzung und Objektivierung phoniatischer Diagnosen herangezogen werden können.

Abstract

In this study we evaluate the application of acoustic and electroglottographic methods in the analysis of the glottal function as an objectifying to accompany phoniatric diagnoses. To that end, female and male speakers with unilateral paralysis of the recurrent nerve are analysed and compared to normal-voice control groups without any known voice pathology.

A pilot study shows that instrumental analysis can be used to distinguish between normal-voice and pathological as well as between compensating and non-compensating female speakers.

For the main investigation, the acoustic and electroglottographic recordings from three different sessions of two female and two male patients are analysed. On the one hand, the data from the three sessions are compared with one another

to detect changes in glottal function. On the other hand, they are compared to empirical data from normal-voice control groups in order to classify the changes as improvements or impairments. In addition, a subjective perceptual evaluation is given with the help of the RBH-system (Roughness, Breathiness, Hoarseness), an auditory evaluation system used in Germany. The results show that instrumental methods are useful to supplement and objectify phoniatric diagnoses.

Inhaltsübersicht

1. Einleitung.....	121
2. Theoretischer Hintergrund.....	124
2.1. <i>Anatomie und Physiologie des Kehlkopfes.....</i>	<i>124</i>
2.2. <i>Pathophysiologie der einseitigen Rekurrensparese.....</i>	<i>135</i>
2.3. <i>Studien zur einseitigen Rekurrensparese.....</i>	<i>145</i>
2.4. <i>Hypothesen.....</i>	<i>149</i>
3. Experimentsbeschreibung: Material und Methode.....	150
3.1. <i>Versuchspersonen, Stimmaufnahmen und Kasuistik.....</i>	<i>150</i>
3.2. <i>Aufzeichnungsmodus und Analysen.....</i>	<i>153</i>
3.3. <i>Akustische und elektroglottographische Parameter.....</i>	<i>154</i>
3.4. <i>Statistische Verfahren.....</i>	<i>162</i>
4. Darstellung und Interpretation der Ergebnisse.....	163
4.1. <i>Darstellung der Ergebnisse.....</i>	<i>163</i>
4.2. <i>Interpretation der Ergebnisse.....</i>	<i>195</i>
5. Zusammenfassende Schlußfolgerung und Ausblick.....	207
Literatur.....	210
Anhang A: Abkürzungsverzeichnis.....	214
Anhang B: Berechnungen des Kontakt- und Skewingquotienten.....	215
Anhang C: Mittelwerte (sd) signifikanter MDVP- & EGG-Parameter (Pilotstudie).....	216
Anhang D: Mittelwerte (sd) signifikanter MDVP- & EGG-Parameter (Experiment IIB). 217	

1. Einleitung

"Die Tendenz zur Objektivierung von Untersuchungen in der Medizin wird allgemein laufend größer, so daß sich speziell auch die HNO-Heilkunde mit Phoniatrie und Pädaudiologie gegenüber metrisch registrierbaren diagnostischen und therapeutischen Ergebnissen nicht verschließen kann." (Kittel, 1988: III)

Ein gutes Beispiel dafür ist die Saarbrücker Stimmdatenbank. Die sowohl gesunde als auch pathologische Stimmqualitäten umfassende Datenbank entstand 1997 als interdisziplinäres Projekt der Sektion Phoniatrie der Caritasklinik St. Theresia in Saarbrücken und des Instituts für Phonetik der Universität des Saarlandes (vgl. Pützer & Koreman, 1997). Sie beinhaltet neben instrumentellen, d. h. akustischen und elektroglossographischen Aufnahmen, auch phoniatische Diagnosen. Die Aufnahmen umfassen die Vokale [a:, i:, u:] in normaler, hoher, tiefer und variierender (tief-hoch-tief) Tonhöhe und einen gelesenen Text (Ausschnitte aus *Die Buttergeschichte*). Die Diagnosen erstellte Dr. Manfred Just, Facharzt für Phoniatrie - Pädaudiologie und HNO, unter Verwendung eines Lupenlaryngoskops mit integriertem Stroboskop. Zusätzlich wurden Name, Alter, Geschlecht und Rauchgewohnheiten eines jeden Patienten festgehalten. Abbildung 1 zeigt eine allgemeine Einteilung pathologischer Stimmqualitäten.

- | |
|--|
| <p>1. Organische Stimmstörungen</p> <ul style="list-style-type: none">• benigne:<ul style="list-style-type: none">○ neurologisch: z. B. Rekurrensparese○ nicht-neurologisch: z. B. Reinke Ödem, Stimmlippenknötchen○ Tumore: z. B. Laryngozele• maligne: z. B. Stimmlippenkarzinom <p>2. Nicht-organische, funktionelle Dysphonien (Koordinationsstörungen)</p> <ul style="list-style-type: none">• hyperfunktionell• hypofunktionell• psychosomatische Faktoren, die zu organischen Dysregulationen führen |
|--|

Abbildung 1. Allgemeine Einteilung pathologischer Stimmqualitäten
(vgl. Pützer & Koreman, 1997)

Die klinische Untersuchung der glottalen Funktion erfolgt mit Hilfe visueller Methoden (z. B. Lupenvideostroboskopie). Die Beurteilung von Stimmstörungen beruht dabei auf subjektiv ausgewählten Kriterien, die abhängig sind von der Erfahrung des Untersuchers (Hanson et al., 1988). Erschwert wird die visuelle Untersuchung oft durch eine schlechte Einsehbarkeit der laryngalen Strukturen, da Teile der Glottis beispielsweise durch den Kehledeckel verdeckt sein können (Fritzell et al., 1986). Zusätzlich ist die Phonation während der visuellen und invasiven Untersuchung beeinträchtigt. Es liegt nun nahe, mit Hilfe instrumenteller, nicht-invasiver Methoden zusätzliche objektive bzw. semi-objektive Kriterien zur Beschreibung von Stimmstörungen zu finden, die unter anderem die phoniatische Beurteilung unterstützen bzw. ergänzen. Kittel (1988) weist auf die Vorteile hin, die instrumentelle Methoden mit sich bringen. Diese können z. B. die "Freiheit von subjektiver Einschätzung, [...], Vergleichbarkeit unmittelbar inter- und intraindividuell, [...], Einstufung in objektive, metrische Skalen, [...], Früherkennung pathologischer Grenzbefunde, Verlaufskontrollen unabhängig vom Therapeuten und Speicherfähigkeit mit permanenter Abrufmöglichkeit" (Kittel, 1988: III) sein. Die Idee der Anwendung subjektiver und objektiver Kriterien als ganzheitliche Untersuchungsmethode ist erkennbar.

Davon ausgehend liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der instrumentellen Analyse von Signalen, die von zwei Frauen und zwei Männern mit einseitiger Rekurrensparese stammen. Bei jedem Sprecher wird dabei im Sinne einer longitudinalen Betrachtung der individuelle Krankheits- bzw. Therapieverlauf mit Hilfe eines akustischen und eines elektrolottographischen Analyseverfahrens evaluiert. Die aus der Saarbrücker Stimmdatenbank stammenden Daten liegen bei jedem Sprecher zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten vor. Die individuelle Entwicklung wird zusätzlich in Beziehung zu bereits empirisch ermittelten Daten gesunder weiblicher und männlicher Stimmen gesetzt (vgl. MDVP-Manual, 1993; Pützer, 2001), da sich die Beurteilung von Stimmstörungen an der gesunden Stimme orientiert (Schöneberger & Kirsch, 1986). Komplementär dazu werden die Stationen der pathophysiologischen Entwicklung aus phoniatischer Sicht angeführt. Dieses Experiment besteht zunächst aus akustischen und elektrolottographischen Einzelvokalanalysen. Die Idee dahinter ist, den klinischen Alltag widerzuspiegeln, der normalerweise nicht viel Spielraum für umfangreiche Analysen bietet. Es gilt festzustellen, inwieweit trotz geringen Datenmaterials Entwicklungstendenzen erkennbar sind. Das Experiment wird schließlich dahingehend erweitert, daß anhand einer kleineren Datenbasis eine relative statistische Evaluierung der in der Einzelvokalanalyse beobachteten Tendenzen durchgeführt werden kann.

Der eigentlichen Hauptuntersuchung vorausgehend wird zunächst eine Pilotstudie angeführt. Sie besteht aus einem instrumentellen Vergleich einer gesunden Sprecherinnengruppe mit zwei pathologischen Sprecherinnengruppen (Pathologie: einseitige Rekurrensparese mit und ohne Kompensation) aus der Saarbrücker Stimmdatenbank. Es wird untersucht, mit welchen akustischen und elektroglottographischen Stimmparametern zwischen den drei Gruppen unterschieden werden kann. Die Gruppeneinteilung beruht auf phoniatischen Diagnosen. Es soll zunächst festgestellt werden, inwieweit sich die in der Literatur beschriebenen Beobachtungen bei größeren Datenmengen (vgl. Koreman, Pützer & Just, 1999) auch bei verminderter Datenmenge widerspiegeln.

Ziel dieser Arbeit ist, herauszufinden, inwieweit sich unter Verwendung instrumenteller Analysemethoden die phoniatischen Diagnosen bestätigen bzw. ergänzen und damit objektivieren lassen.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird im 2. Kapitel der theoretische Hintergrund der empirischen Untersuchungen dargelegt. Er ist so konzipiert, daß zunächst ein allgemeiner Überblick der gesunden Anatomie und Physiologie des Kehlkopfes gegeben wird. In Anlehnung daran wird anschließend die Pathophysiologie der einseitigen Rekurrensparese erläutert. In Zusammenhang mit den eigenen Untersuchungen werden danach wichtige Ergebnisse der Arbeiten von Koreman, Pützer & Just (1999) und Pützer & Marasek (2000) dargestellt. Im 3. Kapitel folgt eine ausführliche Beschreibung der Produktionsexperimente. Das 4. Kapitel widmet sich der Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Das 5. Kapitel schließt mit einer zusammenfassenden Schlußfolgerung und einem Ausblick hinsichtlich weiterer Untersuchungsmöglichkeiten. Die in dieser Arbeit verwendeten Abkürzungen werden in Anhang A erklärt.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Anatomie und Physiologie des Kehlkopfes

Für das Verständnis der pathologischen Stimme ist es notwendig, sich die anatomischen und physiologischen Gegebenheiten der gesunden Stimme, d. h. den Aufbau und die Funktion des Klanggenerators und dessen akustische bzw. auditive Merkmale, in ihren Grundlagen zu vergegenwärtigen. Deshalb wird zunächst die gesunde Phonation betrachtet. Auf den anatomischen Aufbau des Kehlkopfes wird nur insoweit eingegangen, als es für die Funktion wichtig ist.

2.1.1. Primär- und Sekundärfunktion des Kehlkopfes

Phylogenetisch betrachtet entwickelte sich der Kehlkopf aus dem "primitiven Ringmuskelverschluß des urzeitlichen Lungenfisches" (Wirth, 1995: 47). Er übte zunächst aufgrund der ungünstigen Lage von Luft- und Speiseweg nur eine reflektorische Verschlußfunktion (Sphinkterfunktion) aus. Clark & Yallop (1995) sprechen von einer Ventilfunktion innerhalb des Atmungssystems. Primär schützt der Kehlkopf die Atemwege vor dem Eindringen von Fremdkörpern, Sekreten und Nahrungsbestandteilen. Zudem reguliert er den Luftstrom in und aus den Lungen, unterstützt den Schluckvorgang und ermöglicht einen Druckaufbau im Brustkorb, um Hebeaktionen und allgemeine Bedürfnisse wie Husten, Erbrechen, Darmentleerung zu unterstützen (Borden, Harris & Raphael, 1994). Im Rahmen dieser Arbeit interessiert die später entstandene Sekundärfunktion: die Phonation. Der Kehlkopf modifiziert den aus den Lungen kommenden Luftstrom derart, daß ein akustisches Signal entsteht. Diese komplexe Funktion wird maßgeblich durch das präzise Zusammenspiel des knorpeligen Kehlkopfgerüsts, der Kehlkopfmuskulatur, der neuralen Aktivierung, der Regulation des subglottalen Luftdrucks und aerodynamischer Faktoren bestimmt.

2.1.2. Das Knorpelgerüst des Kehlkopfes

Der menschliche Kehlkopf befindet sich zwischen unterem Rachenraum und Luftröhre. Durch extrinsische Muskeln ist er nach oben hin mit dem Zungenbein und nach unten hin

mit dem Brustbein verbunden (Pompino-Marschall, 1995). Ein leichtes Knorpelgerüst unterstützt die Kehlkopfbewegungen in horizontaler und vertikaler Richtung. Für das Verständnis der Kehlkopffunktion sind vor allem fünf Knorpel von Bedeutung¹: der Ringknorpel, der Schildknorpel, die beiden Stellknorpel und der Kehldeckel. Die Knorpel sind durch Muskeln, Bänder, Membrane und Gelenke miteinander und mit anderen Strukturen verbunden, von denen einige Verbindungen in Abbildung 2 angedeutet werden.

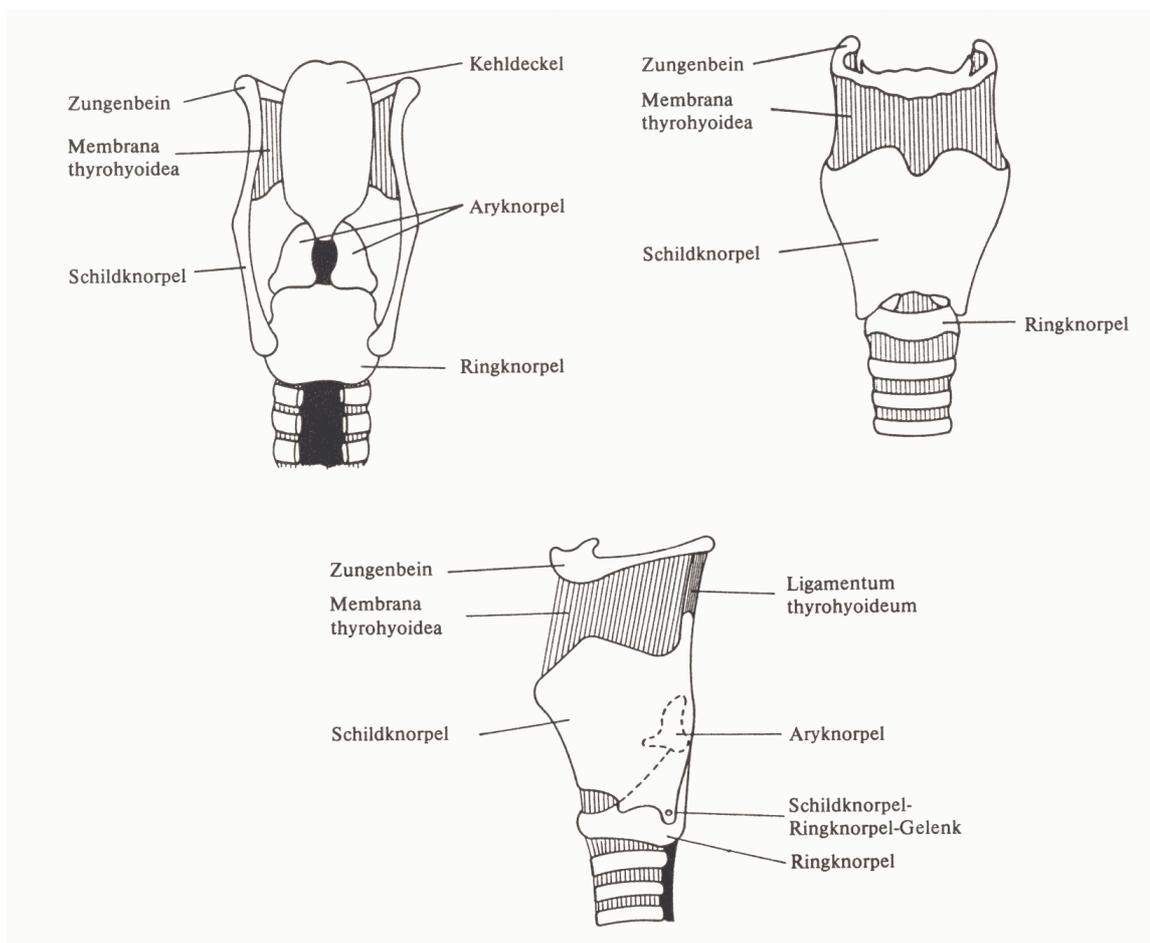


Abbildung 2. Knorpelgerüst des Kehlkopfes (Pétursson & Neppert, 1991: 63)

¹ Deckert (1994) erklärt, daß das Knorpelgerüst aus insgesamt 13 sowohl paarigen als auch unpaarigen Knorpeln besteht, die aber für die Kehlkopffunktion nicht alle relevant sind.

Der Ringknorpel (*Cartilago cricoidea*) bildet die Basis des Kehlkopfes und ist zugleich der oberste Knorpel der Luftröhre. Im Gegensatz zu den hufeisenförmigen Knorpeln der Luftröhre ist er der einzige ringförmige Knorpel. Pétursson & Neppert (1991) vergleichen seine Form mit einem Siegelring. Seine breite Fläche ist nach hinten und seine schmale Fläche nach vorn gerichtet. Der Ringknorpel besitzt beidseitig zwei Gelenkflächen, die ihn mit dem Schildknorpel und den Stellknorpeln verbinden.

Der Schildknorpel (*Cartilago thyroidea*) ist der größte Knorpel. Er besteht aus zwei seitlich flachen Platten, die vorne unten in einem Winkel zusammengewachsen sind. Bei Männern beträgt dieser Winkel etwa 90° , bei Frauen etwa 120° (Borden, Harris & Raphael, 1994). Aufgrund des spitzen Winkels bei Männern ist das obere Ende der zusammengewachsenen Platten von außen als Vorsprung (Adamsapfel) erkennbar. Die Stimmlippen sind im Winkel der Innenfläche "am Übergang des unteren zum mittleren Drittel des Schildknorpels" (Probst, Grevers & Iro, 2000: 339) befestigt. Die hinteren Ränder der Schildknorpelplatten laufen nach oben in zwei längeren und nach unten in zwei kürzeren Hornfortsätzen aus (Frick, Leonhardt & Starck, 1980). Die Enden der kürzeren Hornfortsätze sitzen den seitlich unteren Gelenkflächen des Ringknorpels auf. Die Gelenkverbindung zwischen Ring- und Schildknorpel ermöglicht "ein Vorwärtskippen des Thyroids gegenüber dem Cricoid bzw. ein Aufwärtskippen des Cricoids gegenüber dem Thyroid" (Pompino-Marschall, 1995: 32).

Die paarig angelegten Stellknorpel (*Cartilago arytaenoidea*) sind an den seitlich oberen Gelenkflächen des Ringknorpels angebracht. Ihre pyramidenartige Form besteht aus einer oberen Spitze (Apex), einem nach vorn in Richtung Schildknorpel gerichteten Stimmbandfortsatz (*Processus vocalis*) und einem seitlich gerichteten Muskelfortsatz (*Processus muscularis*). Der *Processus vocalis* dient als Ansatz für das Stimmband (*Lig. vocale*) und den *M. vocalis*, der *Processus muscularis* als Ansatz für den *M. cricoarytaenoideus posterior* und den *M. cricoarytaenoideus lateralis*. Die Stellknorpelbewegungen können eine "vorwärts-rückwärts gerichtete Gleit- sowie eine rotierende Seitwärtsbewegung" (Pompino-Marschall, 1995: 32) gegenüber dem Ringknorpel ausführen.

Den oberen Abschluß des Kehlkopfes bildet der blattartige Kehildeckel (*Cartilago epiglottica*). Er ist mit seiner nach unten gerichteten Spitze an der Innenseite des Schildknorpels befestigt (Wirth, 1995). Hauptsächlich dient der Kehlideckel sowie der Kehlkopf dem Schutz der Atemwege.

2.1.3. Die Kehlkopfmuskulatur

Die Kehlkopfmuskeln lassen sich in extrinsische und intrinsische Muskeln unterteilen. Die extrinsischen Muskeln haben ihre Ursprungsstelle außerhalb des Kehlkopfes und sind mit ihm an mehreren Stellen des Knorpelgerüsts verbunden (Pétursson & Neppert, 1991). Sie ermöglichen Bewegungen des Kehlkopfes als Ganzes, indem sie ihn heben oder senken. Da die extrinsischen Muskeln die Stimmlippen und dadurch die Phonation nur indirekt beeinflussen (Hardcastle, 1976), soll es bei dieser kurzen Erwähnung bleiben. Weiterführende Literatur findet sich diesbezüglich bei Hardcastle (1976), Pétursson & Neppert (1991) und Titze (1994). Die intrinsischen Muskeln haben ihre Ursprungs- und Ansatzstelle innerhalb des Kehlkopfes selbst und verbinden die Knorpel miteinander (Hardcastle, 1976). Sie kontrollieren die Position (Abduktion, Adduktion) und Spannung der Stimmlippen und haben damit einen direkten Einfluß auf die Phonation (s. Abbildung 3). Ihrer Funktion nach werden sie in Glottisöffner (Abduktoren), Glottisschließer (Adduktoren) und Stimmlippenspanner (Tensoren) unterteilt (Wendler et al., 1996). Ab- bzw. Adduktoren bewegen die Stellknorpel und verengen bzw. erweitern die Glottis. Tensoren spannen oder entspannen die Stimmlippen und verändern ihre Form. Um die Phonation besser nachvollziehen zu können, werden die intrinsischen Muskeln hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Stimmlippen beschrieben.²

Abduktor

Der *M. cricoarytaenoideus posterior*, auch *M. posticus* genannt, erstreckt sich von der Hinterfläche der Ringknorpelplatte bis zum *Processus muscularis* des Stellknorpels (Pétursson & Neppert, 1991). Durch Zug werden die Stellknorpel um eine vertikale Achse nach außen gedreht und etwas seitwärts gekippt (Probst, Grevers & Iro, 2000), wodurch sich die Glottis öffnet. Er ist der einzige Abduktor des Kehlkopfes.

² Trotz Paarigkeit der Muskeln (mit Ausnahme des *M. arytaenoideus transversus*) werden sie üblicherweise im Singular angegeben (Spiecker-Henke, 1997).

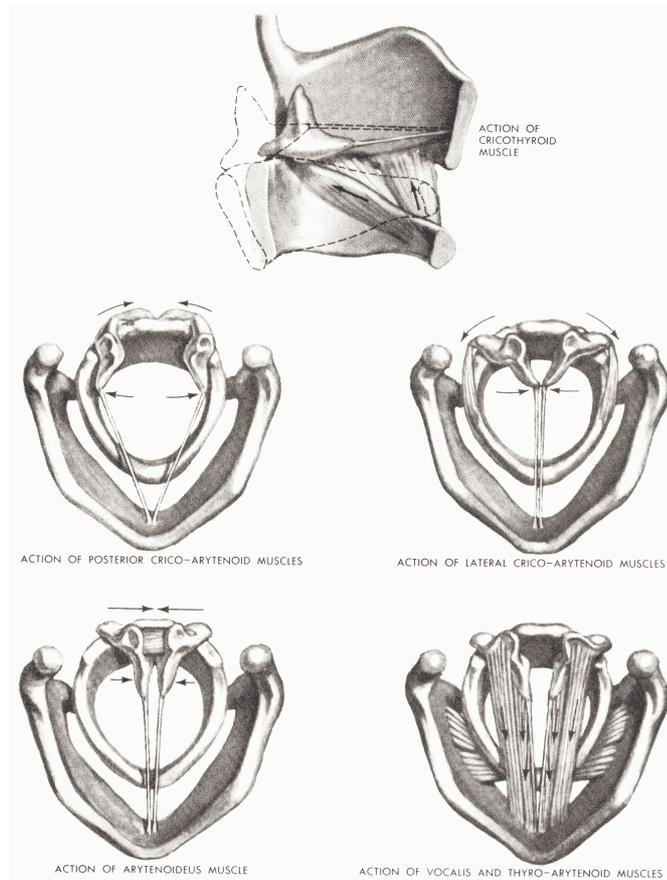


Abbildung 3. Intrinsische Kehlkopfmuskeln (Laver, 1980: 103)

Adduktoren

Die Adduktion erfolgt primär durch den *M. cricoarytaenoideus lateralis*, auch *M. lateralis* genannt (Wirth, 1995). Er entspringt von der seitlichen Außenfläche des Ringknorpels und setzt wie der *M. posticus* am *Processus muscularis* des Stellknorpels an. Bei Kontraktion werden die Stellknorpel um eine vertikale Achse nach innen gedreht (Probst, Grevers & Iro, 2000), wodurch der muskulöse Teil der Glottis, d. h. die vorderen zwei Drittel von den *Processus vocales* bis zum Schildknorpel geschlossen wird. Die *Processus vocales* der Stellknorpel werden dabei fest gegeneinander gedrückt. Diese auf die Stimmlippen ausgeübte Kraft bewirkt eine mediale Kompression (Laver, 1980). Der *M. lateralis* agiert als Antagonist zum *M. posticus*. Unterstützt wird die Adduktion vom *M. interarytaenoideus*, der zwischen den Stellknorpeln an deren Hinterfläche verläuft

(Pétursson & Neppert, 1991). Laut Titze (1994) setzt sich dieser Muskel aus zwei Teilen zusammen: den horizontal verlaufenden *M. arytaenoideus transversus* (unpaarig) und den diagonal verlaufenden *M. arytaenoideus obliquus*. Bei Kontraktion schließt sich durch Aneinanderziehen der Stellknorpel der knorpelige Teil der Glottis im hinteren Drittel (Pétursson & Neppert, 1991). Laver (1980) spricht diesbezüglich von adduktiver Spannung.

Tensoren

Der *M. cricothyroideus* verläuft vom vorderen seitlichen Bereich des Ringknorpels bis zum Schildknorpel und dient der Grobspannung der Stimmlippen (Wirth, 1995). Bei Kontraktion kippt der Schildknorpel nach vorn unten, wodurch sich der Abstand des Schildknorpelwinkels und den Stellknorpeln vergrößert (vgl. Boenninghaus, 1993; Deckert, 1994; Pétursson & Neppert, 1991). Nach anderer Auffassung kippt der Ringknorpel bei fixiertem Schildknorpel nach hinten oben (vgl. Clark & Yallop, 1995; Laver, 1980; Wendler et al., 1996). Beide Bewegungen haben eine ähnliche Wirkung: Die Stimmlippen werden gedehnt. Durch diese Dehnung nimmt die Stimmlippenspannung zu, wodurch die Frequenz der Stimmlippenschwingungen während der Phonation steigt. Titze (1994: 13) erläutert: "the cricothyroid muscle is the primary pitch-control muscle". Laver (1980) bezeichnet diesen Vorgang als passive Längsspannung der Stimmlippen.

Die innere Spannung der Stimmlippen reguliert der *M. thyroarytaenoideus*, der in einen internen und externen Muskel unterteilt wird (Wirth, 1995). Der *M. thyroarytaenoideus internus*, auch *M. vocalis* genannt, bildet den medialen Anteil des Muskels und verläuft von der Innenfläche des Schildknorpelwinkels bis zum Processus vocalis des Stellknorpels (Boenninghaus, 1993). Er setzt sich laut Wirth (1995) aus vielen kleinen Muskelfaserbündeln zusammen, die zopfartig miteinander verflochten sind. Aus diesem Grund ist die Spannung der Stimmlippen durch den *M. vocalis* sehr fein dosierbar. Bei Kontraktion kann bei gleichbleibender Länge der Stimmlippe deren Masse verringert werden, wodurch sich die Schwingungsfrequenz erhöht. Laver (1980) bezeichnet die Kontraktion des *M. vocalis* als aktive Längsspannung. Der *M. thyroarytaenoideus externus* bildet den lateralen Anteil des *M. thyroarytaenoideus* und erstreckt sich von der Innenfläche des Schildknorpelwinkels bis zur Seitenfläche des Stellknorpels (Boenninghaus, 1993). Dieser Muskel hat laut Hardcastle (1976) unterschiedliche Funktionen: Die Erhöhung der Schwingungsfrequenz der Stimmlippen aufgrund der Kontraktion des *M. vocalis* wird vermutlich noch verstärkt, wenn der *M. thyroarytaenoideus externus* ebenfalls gespannt wird. Eine alleinige Anspannung verkürzt und entspannt die Stimm-

lippen, so daß eine Senkung der Schwingungsfrequenz erfolgt. In diesem Zusammenhang agiert der *M. thyroarytaenoideus externus* als Antagonist zum *M. cricothyroideus*.

2.1.4. Die Innervation des Kehlkopfes

Die motorische und sensible Versorgung des Kehlkopfes erfolgt durch den *N. vagus* (X. Hirnnerv) über die beiden Kehlkopfnerve *N. laryngeus superior* und *N. laryngeus recurrens* (Probst, Grevers & Iro, 2000). Die Abbildung 4 stellt den Verlauf der beiden Kehlkopfnerve dar.

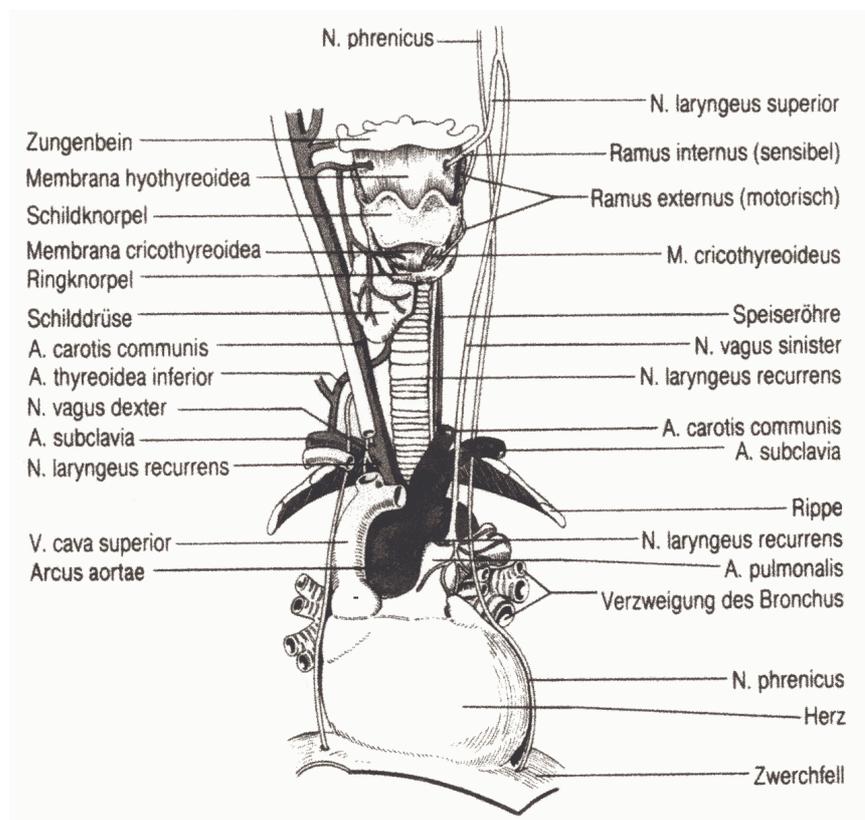


Abbildung 4. Verlauf der Kehlkopfnerve (Wirth, 1995: 61)

Der *N. laryngeus superior* zweigt im oberen Halsteil beidseitig vom *N. vagus* ab. Mit seinem äußeren Ast (*Ramus externus*) versorgt er motorisch den *M. cricothyroideus* (Wirth, 1995). Kein anderer intrinsischer Kehlkopfmuskel wird von diesem Ast versorgt.

Mit seinem inneren Ast (Ramus internus) innerviert der N. laryngeus superior nach Durchtritt durch die Membrana thyrohyoidea sensibel die obere Kehlkopfschleimhaut bis zu den Stimmlippen (Wirth, 1995).

Der N. laryngeus recurrens (N. recurrens) geht im unteren Halsteil beidseitig vom N. vagus ab und läuft zuerst nach unten in den Brustraum (Mediastinum). Zu beachten ist sein seitendifferenter Verlauf. Der rechte Nerv umschlingt die A. subclavia, der linke reicht noch tiefer herab und umschlingt den Aortenbogen. Probst, Grevers & Iro (2000: 341) erklären: "Die Längendifferenz zwischen beiden Nerven beträgt wenige Zentimeter. Sie wird durch die unterschiedlichen Kalibergrößen der Nervenfasern ausgeglichen, so daß die Impulse die Muskeln gleichzeitig erreichen". Der linke Nerv ist aufgrund seines längeren Verlaufs anfälliger für Verletzungen als der rechte (Greene, 1964). Beide Nerven steigen dann seitlich zwischen Luft- und Speiseröhre rückläufig auf, wobei sie hinter der Schilddrüse die A. thyroidea inferior überkreuzen (Wirth, 1995). Ihre Endäste treten als N. laryngeus inferior hinter den unteren Hornfortsätzen des Schildknorpels in das Kehlkopfinnere: Motorisch versorgen sie die restliche intrinsische Kehlkopfmuskulatur, sensibel die Schleimhaut der subglottischen Region und der Luftröhre (Wirth, 1995).

2.1.5. Physiologie der Stimmlippenschwingungen

Bei der gesunden Phonation kommt es zum zyklischen Öffnen und Schließen der Stimmlippen. Die Phonation ist dabei generell auf die Interaktion von elastisch-muskulären und aerodynamischen Kräften zurückzuführen (myoelastisch-aerodynamische Phonationstheorie von van den Berg, 1958). Um dies zu verdeutlichen wird der Schwingungszyklus der Stimmlippen im folgenden kurz beschrieben und ist in Abbildung 5 schematisch dargestellt.

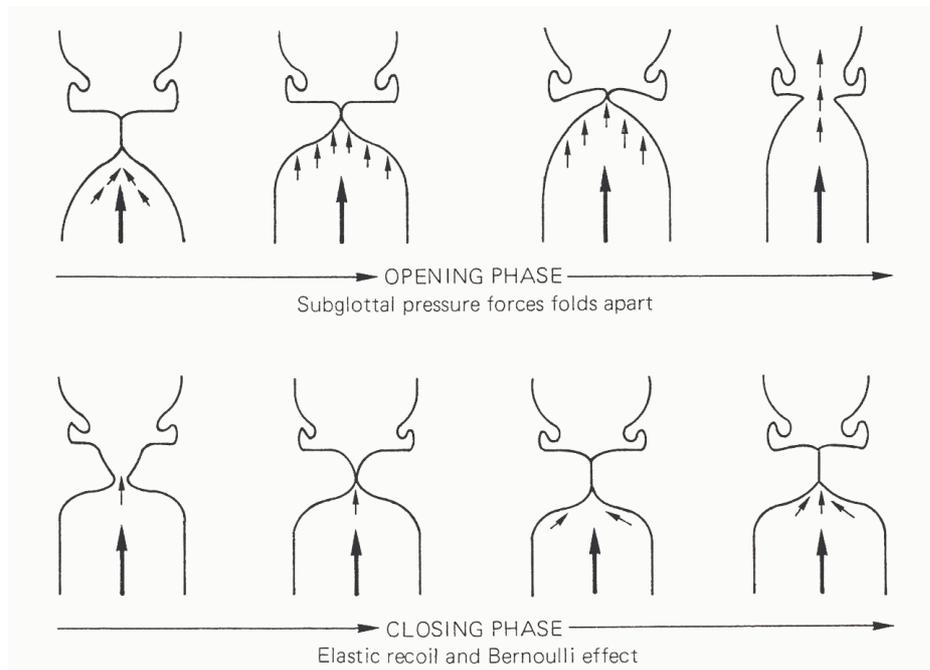


Abbildung 5. Schwingungszyklus der Stimmlippen (Clark & Yallop, 1995: 187)

Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, daß während eines Schwingungszyklus zwei Phasen voneinander zu unterscheiden sind:

Öffnungsphase

1. Unterhalb der geschlossenen Glottis, die Stimmlippen sind adduziert und gespannt, staut sich die Luft. Die adduktive Spannung, die mediale Kompression und die Längsspannung (aktiv und passiv) werden in einem gemäßigten Grade ausgeführt (Laver, 1980). Alle Spannungs- und Rückstellkräfte sind somit ausgeglichen in ihrer Funktion und damit optimal für die Phonation.
2. Der subglottale Druck nimmt stetig zu.
3. Der subglottale Druck hat die Stimmlippen fast ganz nach oben gedrückt.
4. Die Stimmlippen werden auseinandergesprengt und die Luft entweicht nach oben.

Schließungsphase

1. Nach der Auseinanderspaltung der Stimmlippen über ihre Ruheposition hinaus, bringt eine daraus resultierende elastische Entspannungskraft der Kehlkopfmuskeln sie wieder zusammen. Zusätzlich erhöht sich durch die verengte Glottis die Strömungsgeschwindigkeit der Luft. Es entsteht ein Unterdruck, der die Stimmlippen zusammenzieht (Bernoulli-Effekt). Sowohl die elastisch-muskulären als auch die aerodynamischen Kräfte führen zur Schließung der Stimmlippen im unteren Bereich.
2. Die Stimmlippen schließen sich von unten nach oben.
3. Nach dem kompletten Verschluß der Stimmlippen staut sich unter ihnen wieder die Luft.
4. Die Öffnungsphase beginnt von neuem.

Der während der Phonation am Kehlkopf erzeugte Stimmklang entsteht durch "the periodic train of puffs of air emitted through the vibrating folds, generating a modulated stream of air" (Clark & Yallop, 1995: 187). Der modulierte Luftstrom stellt somit ein wichtiges physiologisches Merkmal der gesunden Phonation dar. Zudem wird der Luftstrom am Anfang eines jeden Schwingungszyklus durch einen kompletten Verschluß der Glottis unterbrochen. Ein weiteres wichtiges physiologisches Merkmal sind die Stimmlippenschwingungen, die sich über die gesamte Länge der Glottis erstrecken und dabei (quasi-) periodisch sind. Der oben beschriebene Schwingungszyklus der Stimmlippen ist als optimal zu betrachten. Im Rahmen der gesunden Phonation sind natürlich geringgradig abweichende Vibrationsarten vorhanden. Diese sind physiologisch betrachtet individuell abhängig von der Länge, Masse und Spannung der Stimmlippen bzw. von der Art und dem Grad der Adduktion. Daraus resultieren dann unterschiedlich wahrzunehmende Stimmqualitäten wie beispielsweise *breathy voice* oder *creaky voice*. Laver (1980; 1994) liefert diesbezüglich eine umfangreiche Beschreibung. In diesem Zusammenhang haben zum Beispiel Untersuchungen zu gesunden Männer- und Frauenstimmen ergeben, daß Frauen eher ein schwächeres Adduktionsverhalten aufweisen als Männer (vgl. Hanson & Chuang, 1999; Klatt & Klatt, 1990).

In Hinblick auf die im Anschluß folgende Beschreibung der Pathophysiologie der einseitigen Rekurrensparese werden die Bewegungsformen der Stimmlippen kurz beschrieben: Die Bewegungsform der Stimmlippen besteht zum einen aus einer horizontalen und vertikalen Komponente (Wendler et al., 1996). Hinzu kommt die

Verschiebung der Schleimhaut an den Stimmlippenrändern (s. Abbildung 6), die auch als Randkantenverschiebung bezeichnet wird.

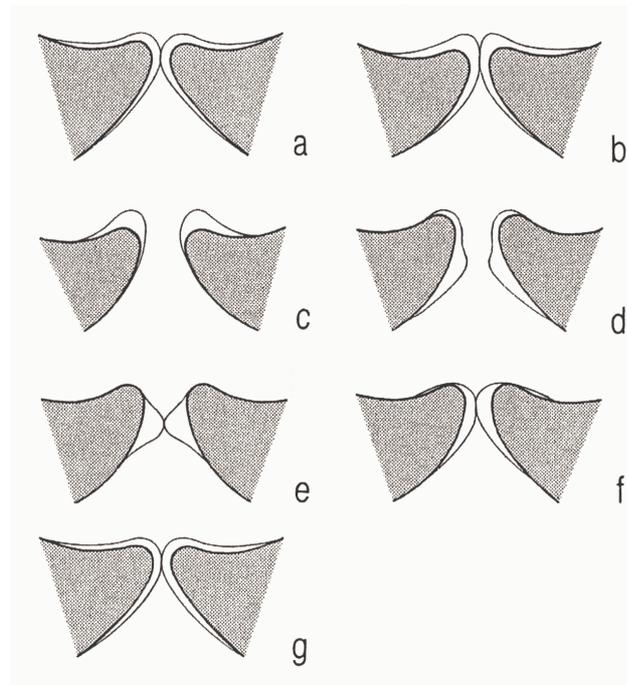


Abbildung 6. Randkantenverschiebung (nach Schönhärl bei Wirth, 1995: 92)

Die Randkantenverschiebung setzt vor allem eine Anspannung von *M. vocalis* und *Lig. vocale* voraus, die durch Bindegewebe eng miteinander verbunden sind und sich während der Phonation als Einheit bewegen (Wirth, 1995). Somit kann sich die darüber liegende Schleimhaut während der Phonation eigenständig bewegen und bildet damit eine zweite Schwingungseinheit.

Die Anzahl der Stimmlippenschwingungen pro Sekunde bestimmen einen der wichtigsten akustischen Parameter: die Grundfrequenz (F_0). Dafür ist zum einen die Stimmlippenlänge von Bedeutung. Laut Pompino-Marschall (1995) variiert die Stimmlippenlänge bei Frauen zwischen 13 und 17 mm, bei Männern zwischen 17 und 24 mm. Zum anderen sind die bereits oben erwähnten individuellen Faktoren wie Länge, Masse und Spannung der Stimmlippen und das Adduktionsverhalten wichtig. Frauenstimmen weisen eine durchschnittliche Grundfrequenz von etwa 190 bis 250 Hz und Männerstimmen von etwa 100 bis 150 Hz auf (Neppert & Pétursson, 1992).

Perturbationen der Grundfrequenz werden als Jitter bezeichnet. Klingholz (1991: 79) definiert den Jitter genauer als "unregelmäßige Kurzzeitvariation der Periodenlänge zwischen *aufeinanderfolgenden* glottalen Schwingungsperioden in gehaltenen Vokalen". Für die gesunde Phonation liegt der relative Jitter im Bereich von 0,4 bis höchstens 2% (Klingholz, 1991). Entsprechend zum Jitter werden Kurzzeitperturbationen der zyklischen Amplitude als Shimmer bezeichnet (Baken, 1987). Die Amplitudenperturbationen der gesunden Phonation liegen im Bereich von 0,05 bis 0,22 dB (Haji et al., 1986). Beide akustischen Parameter geben Auskunft über die Stabilität des phonatorischen Systems (Baken, 1987). Verursacht werden diese Mikrovariationen beispielsweise durch variierende Nervenimpulse, das Alter und die Struktur der Stimmlippen.

Im spektralen Bereich sind bei einer optimalen Phonation alle Harmonischen vorhanden. Die Amplitude der Harmonischen nimmt mit zunehmender Frequenz ab und zwar mit -12 dB pro Oktave (Laver, 1980). Geräuschkomponenten im spektralen Bereich, verursacht durch gewisse Verschußinsuffizienzen, finden sich im geringen Maße aber auch bei gesunden Stimmen.

Auditiv betrachtet ist keine oder nur wenig Friktion wahrzunehmen. Eine Untersuchung von Klatt & Klatt (1990) hat zum Beispiel gezeigt, daß Frauen als behauchter wahrgenommen werden als Männer.

2.2. Pathophysiologie der einseitigen Rekurrensparese

Nachdem die Physiologie der Stimmlippenschwingungen angeführt wurde, soll dem nun das klinische Bild der einseitigen Rekurrensparese gegenübergestellt werden. Die folgende Beschreibung der Pathophysiologie ist so konzipiert, daß sie zum Verständnis der phoniatischen Diagnosen und der Interpretation der Untersuchungsergebnisse beiträgt.

Definition

Die einseitige Rekurrensparese gehört zu den organisch bedingten, gutartigen Pathologien neurologischen Ursprungs. Sie stellt "häufig kein eigenes Krankheitsbild dar, sondern nur ein Symptom einer anderen Erkrankung" (Wirth, 1995: 326). Die daraus resultierende Stimmstörung entsteht infolge der Unbeweglichkeit einer Stimmlippe. Dies betrifft ausschließlich den M. vocalis. Das Stimmband und die Schleimhaut sind intakt (Hirano & Mori, 2000), aber bei fehlendem Tonus des gelähmten M. vocalis ist weder eine

Eigenschwingung noch eine Randkantenverschiebung der Stimmlippe möglich (Wirth, 1995). Grund dafür ist die einseitige Funktionsstörung, nicht Durchtrennung, des N. recurrens. Die Störung der neuralen Aktivierung führt somit zur Beeinträchtigung der Muskelaktivität. Bei allen Kehlkopflähmungen kommt die periphere Schädigung des N. recurrens am häufigsten vor (Wendler et al., 1996).

Ätiologie

Die Ursachen der einseitigen Rekurrensparese sind vielfältig. Die meisten Schädigungen des N. recurrens sind iatrogen, d. h. durch operative Maßnahmen verursacht (Sittel et al., 2001). Die häufigste Ursache stellt hierbei eine Schädigung im Rahmen von Schilddrüsenoperationen dar. Wirth (1995) verweist auf die Strumektomie (partielle Entfernung der Schilddrüse) und die Thyreoidektomie (totale Entfernung der Schilddrüse). Probst, Grevers & Iro (2000) geben Schädigungsraten von 0,14 bis 5% bei Ersteingriffen und bis zu 20% bei Rezidiveingriffen an, die sich auf direkt postoperativ festgestellte einseitige Rekurrensschädigungen beziehen. Eine deutliche Geschlechtsdifferenz stellen Sittel et al. (2001) im eigenen Patientengut fest: Bei 71% der Frauen und 31% der Männer entstand eine Rekurrensparese nach einer Schilddrüsenoperation. Der leicht verwundbare Nerv kann schon durch Zerrung, Druck- oder Zugeinwirkung, Quetschung mit Pinzette oder Klemme, Überdehnung oder Narbenbildung parethisch werden (Wirth, 1995). Begünstigt wird die Schädigung des N. recurrens durch seine Verlaufsvarianten:

"Normalerweise kreuzt der Nerv die untere Schilddrüsenarterie (A. thyreoidea inferior) in Höhe des mittleren Schilddrüsendrittels. Der Nerv zieht hierbei hinter (35%), zwischen (32%) oder vor (27%) den Arterienästen vorbei. Bei den beiden letztgenannten Möglichkeiten besteht die Gefahr einer Dehnungsschädigung des Nervs beim Anheben der Schilddrüse aus ihrem Bett.

Der Nerv entspringt in Höhe des Ringknorpels aus dem N. vagus und zieht direkt zum Kehlkopf, ohne sich um die A. subclavia zu schlingen (0,34-1%). Er kreuzt dann die A. carotis communis und kann mit der unteren Schilddrüsenarterie verwechselt werden. Gefahr der Unterbindung des Nervs mit oder anstelle der A. thyreoidea inferior. Bei noch höherem Verlauf kann er in die obere Schilddrüsenpol-Ligatur einbezogen werden.

Umschlingen der Äste der unteren Schilddrüsenarterie oder Auffaserung zwischen den Arterienästen wie eine Gabel." (Wirth, 1995: 329)

Probst, Grevers & Iro (2000) sprechen auch die Möglichkeit eines nicht rekurrenten Nervs an. Weitere iatrogen verursachte Schädigungen entstehen bei Eingriffen an Speiseröhre, Luftröhre, Brustraum, Halswirbelsäule, Schädelbasis, Lunge und Herz. Andere Ursachen gehen laut Probst, Grevers & Iro (2000) zurück auf Infiltration oder Kompression des Nervs durch Tumore der Schilddrüse, des Kehlkopfes, der Luftröhre oder des Brustraumes sowie Kehlkopftraumen, Kompression des Nervs durch mediastinale Raumforderungen (z. B. Aortenaneurysma), erregerbedingte und toxische Neuritis (z. B. Influenzaviren, Herpesviren, Alkohol), Infektionskrankheiten u. a.. Bleibt die Ursache trotz umfangreicher Differentialdiagnostik und sorgfältiger Ausschlußverfahren unbekannt, wird die Lähmung als idiopathisch bezeichnet. Diese Erkrankungen treten häufiger bei Männern als bei Frauen auf (Probst, Grevers & Iro, 2000).

Diagnostik

Die in dieser Arbeit verwendeten phoniatischen Diagnosen wurden unter Zuhilfenahme videostroboskopischer Aufnahmen, bei denen lupenlaryngoskopische und stroboskopische Aufnahmen parallel aufgezeichnet werden, erstellt (Pützer & Koreman, 1997). Bei Verdacht einer einseitigen Schädigung des N. recurrens wird zuerst die Beweglichkeit der Stimmlippen überprüft. Die Methode liefert neben der Diagnose wertvolle Hinweise für die Therapie und erleichtert die Beurteilung von Krankheits- und Therapieverläufen. Dabei gehört das Lupenlaryngoskop zur diagnostischen Methode der indirekten Laryngoskopie (Wirth, 1995). Mit seiner Hilfe läßt sich Form, Farbe und Oberflächenstruktur der Stimmlippen und Taschenfalten auch hinsichtlich pathologischer Veränderungen feststellen (Arndt, 1994). Die lupenlaryngoskopische Untersuchung der einseitigen Rekurrensparese gibt Auskunft über die gelähmte Seite, die Stellung der gelähmten Stimmlippe, das Vorliegen einer straffen oder schlaffen Lähmung, eine Niveaudifferenz zwischen gelähmter und gesunder Stimmlippe bei der Phonation und über das Vorhandensein einer Taschenfaltenstimme oder einer Hyperfunktion der gesunden Stimmlippe (Arndt, 1994). Das Lupenlaryngoskop ist ein starrer Metallstab, an dessen vorderem Ende eine um 90° abgewinkelte, beleuchtete Linse befestigt ist. Es wird auch als starres 90°-Winkeloptik-Endoskop bezeichnet (Sittel et al., 2001). Die Abbildung 7 stellt die Anwendung eines Lupenlaryngoskops dar. Dieses Gerät ermöglicht eine Vergrößerung der untersuchten Bereiche, die wirklichkeitsgetreu und nicht spiegelverkehrt wiedergegeben werden.

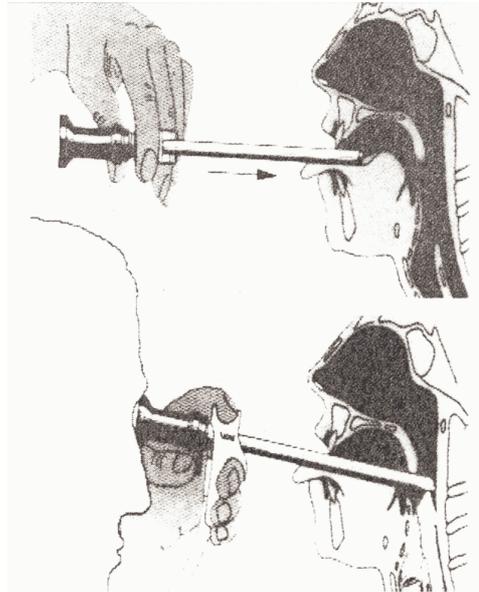


Abbildung 7. Lupenlaryngoskopische Untersuchung (Barth, o. J.: 4)

Ergänzt wird die lupenlaryngoskopische Untersuchung durch die Stroboskopie. Sie hilft bei der Beurteilung der Einzelheiten des Schwingungsverhaltens der Stimmlippen, die mit bloßem Auge nicht zu erfassen sind. Das Stroboskop erzeugt kurze Lichtblitze. Mit einem Kehlkopfmikrophon wird die Stimmlippenfrequenz mit der Lichtblitzfrequenz gekoppelt. Entspricht die Lichtblitzfrequenz der Stimmlippenfrequenz, trifft jeder Blitz die Stimmlippen in der gleichen Schwingungsphase. Es entsteht der Eindruck eines stehenden Bildes (s. Abbildung 8a).

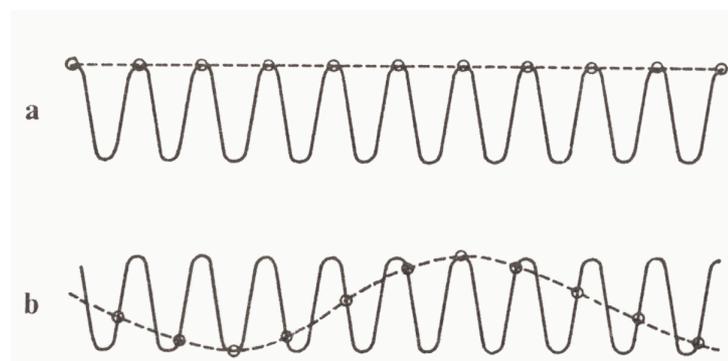


Abbildung 8. Stimmlippen- und Lichtblitzfrequenz der Stroboskopie (Boenninghaus, 1993: 401)

Differieren Lichtblitzfrequenz und Stimmlippenfrequenz, so trifft jeder Blitz die Stimmlippen in einer früheren (s. Abbildung 8b) oder späteren Schwingungsphase als der vorherige. Es entsteht ein bewegtes Bild bzw. ein zeitlupenartiger Schwingungsablauf. Laut Wirth (1995) gilt: Je geringer die Differenz beider Frequenzen, desto langsamer scheint der Schwingungsablauf. Bei der Stroboskopie wird folgendes festgestellt: Schwingungsweite (Amplitude), Schwingungsform (Randkantenverschiebung), Gleichseitigkeit und Gleichzeitigkeit der Feinbewegungen der Stimmlippen, Regelmäßigkeit der Schwingungen und der Glottisschluß (Miethé & Hermann-Röttgen, 1993).

Stellung der gelähmten Stimmlippe

Das klinische Bild der einseitigen Rekurrensparese (s. Abbildung 9) zeigt die gelähmte Stimmlippe in Median- (a), Paramedian- (b) oder Intermediärstellung (c).

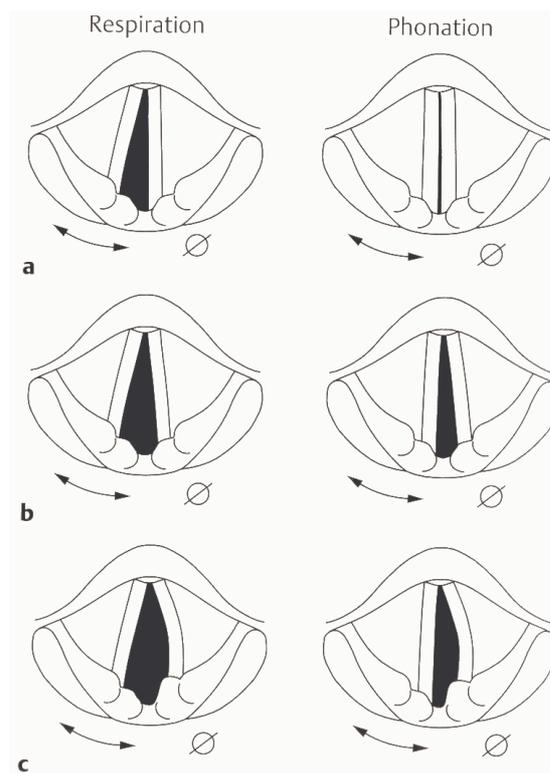


Abbildung 9. Positionen bei einseitiger Rekurrensparese links (Wendler et al., 1996: 160)

Wirth (1995) stellt diesbezüglich fest:

"Von der Position der gelähmten Stimmlippe lassen sich keine Rückschlüsse auf den Sitz der zugrundeliegenden Schädigung ziehen. Auch ist eine Zuordnung zu bestimmten neurologischen Krankheitsbildern nicht möglich." (Wirth, 1995: 331)

Deshalb schlägt er vor, eher von einer Stimmlippenlähmung als einer Rekurrenzlähmung zu sprechen. Er rät, sich auf die Beschreibung der Stellung und Form der Stimmlippen und das Ausmaß der Funktionsstörung zu konzentrieren. Im weiteren Verlauf wird trotzdem von Rekurrenzparese gesprochen, da diese Benennung von den in dieser Arbeit verwendeten phoniatischen Diagnosen vorgegeben wird.

Wirth (1995) nennt dennoch allgemein gültige Regeln über die Position der gelähmten Stimmlippe: Bei isolierter Schädigung des N. recurrens steht die gelähmte Stimmlippe in Median- oder Paramedianstellung, da der intakte M. cricothyroideus sie infolge seiner Spannfunktion mehr in Richtung Mittellinie zieht. Bei Schädigung des N. recurrens und N. laryngeus superior steht die gelähmte Stimmlippe durch Ausfall der gesamten intrinsischen Kehlkopfmuskulatur dagegen in Intermediärstellung mit oder ohne Exkavation (Ausbuchtung). Die Median-, Paramedian- und Intermediärstellung lassen sich laryngoskopisch nicht immer deutlich voneinander abgrenzen. Die Gründe liegen in der individuellen Größe der Glottis oder der Formvarianten des Ringknorpels und der Gelenkfläche von Ring- und Stellknorpel. Wirth (1995) erklärt diesbezüglich, daß die Stimmlippe eher in Richtung Medianstellung steht, je waagerechter die Gelenkfläche ist. Er führt weiter aus, daß die Stimmlippe eher in Richtung Intermediärstellung steht, je steiler die Gelenkfläche ist.

Straffe und schlaffe Lähmungen

Ein weiteres klinisch wichtiges Kriterium ist die Unterteilung in straffe und schlaffe Lähmungen. Bei straffen Lähmungen ist die gelähmte Stimmlippe meist in Median- oder Paramedianstellung fixiert (Wirth, 1995) und durch die Funktion des intakten M. cricothyroideus straff gespannt und nicht verkürzt (Arndt, 1994). Bei schlaffen Lähmungen steht die gelähmte Stimmlippe meist in Intermediärstellung (Wirth, 1995). Infolge der zusätzlichen Schädigung des N. laryngeus superior fällt der M. cricothyroideus aus (Arndt, 1994). Die gelähmte Stimmlippe erscheint verkürzt und exkaviert, meist mit nach vorn gekippten Stellknorpel (Wirth, 1995). Eine schlaffe Lähmung kann laut Wirth (1995) in eine straffe Lähmung wechseln und umgekehrt. Der

Übergang einer schlaffen Lähmung in eine straffe führt zu einer Stimmverbesserung, während der Übergang einer straffen Lähmung in eine schlaffe zu einer Stimmverschlechterung führt.

Positionswechsel der gelähmten Stimmlippe

Die Position einer gelähmten Stimmlippe kann sich verändern. Der Wechsel von Median- oder Paramedianstellung in Intermediärstellung wird mit zusätzlicher Schädigung des N. laryngeus superior erklärt. Der Wechsel von Intermediärstellung in Median- oder Paramedianstellung wird mit der isolierten Erholung des N. laryngeus superior erklärt. Der wieder funktionierende M. cricothyroideus zieht die gelähmte Stimmlippe in Richtung Mittellinie (Wirth, 1995).

Symptome

Anhand eines von Miethe & Hermann-Röttgen (1993) vorgegebenem Beispiels soll der Eindruck möglicher Symptome verdeutlicht werden. Vorweg ist zu erwähnen, daß eine Frau wegen Heiserkeit zur Stimmuntersuchung überwiesen wurde, nachdem sie sich einer Schilddrüsenoperation unterzogen hatte. Der Phoniater diagnostizierte eine einseitige Rekurrensparese rechts:

"Sie berichtet: Gleich nach der Operation bemerkte ich, daß meine Stimme ganz leise und brüchig war. Nach ein paar Sätzen konnte ich nur noch flüstern. Inzwischen ist die Stimme ein bißchen besser geworden, aber immer noch sehr leise. Das Sprechen strengt mich an und ich werde dabei so kurzatmig. Rufen und Singen geht überhaupt nicht. Beim Trinken verschlucke ich mich oft und bekomme dann Hustenanfälle. Der Chirurg sagt, es hänge mit der Operation zusammen und sei vorübergehend." (Miethe & Hermann-Röttgen, 1993: 15)

Das Leitsymptom der einseitigen Rekurrensparese ist Heiserkeit. Atemnot wird normalerweise nicht beobachtet (Probst, Grevers & Iro, 2000). Bei Fixation der gelähmten Stimmlippe in Medianstellung besteht eher eine geringe, in Paramedianstellung eine mittlere und in Intermediärstellung eine starke Heiserkeit (Wirth, 1995). Im Extremfall führt das bis zur Aphonie (Morsomme et al., 2001). Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, daß der Heiserkeitsgrad immer von den individuellen (patho-) physiologischen Gegebenheiten abhängt.

Wendler et al. (1996) verwenden den Begriff der Heiserkeit als Oberbegriff, mit dem sie sich auf Geräuschanteile im Stimmschall beziehen, die durch Abweichungen des gesunden Stimmlippenschwingungsmusters entstehen. Geräuschanteile kommen nach ihrer Definition zum einen durch "unmodulierte Ausatemungsluft" (Wendler et al., 1996: 101) zustande, die auf einen unvollständigen oder fehlenden Stimmlippenverschluß verweist (Unterbegriff: Behauchtheit). Zum anderen verursachen ihrer Meinung nach Unregelmäßigkeiten der Stimmlippenschwingungen bezüglich Frequenz, Amplitude und Phasenverhältnisse Geräuschanteile in der Stimme (Unterbegriff: Rauhigkeit).

Untersuchungen zur einseitigen Rekurrensparese haben gezeigt, daß Behauchung ein wichtiges auditives Merkmal darstellt (vgl. Fritzell et al., 1986; Koreman, Pützer & Just, 1999; Pützer & Marasek, 2000). Bei Lähmung einer Stimmlippe ist ein inkompletter oder fehlender Stimmlippenverschluß während der Phonation zu beobachten. Aufgrund dieser pathophysiologischen Gegebenheit entsteht ein permanent unmodulierter Luftstrom, der dabei durch die Glottis strömt. An der Glottis erzeugte Turbulenzgeräusche äußern sich im spektralen Bereich durch vermehrte Geräuschkomponenten, welche die Harmonischen ersetzen. Die Energie der Harmonischen wird durch die schwache Anregung sehr stark gedämpft. Aus dem oben angeführten Beispiel ist zu erkennen, daß die Frau ihre Stimme als leise bezeichnet und unter Kurzatmigkeit leidet. Auch diese Beobachtungen sind auf einen inkompletten oder fehlenden Stimmlippenverschluß während der Phonation zurückzuführen: Der subglottale Druckaufbau ist sehr gering bzw. unmöglich und die Ausatemungsluft ist sehr schnell verbraucht. Hirano (1989) untersuchte 264 Patienten mit einseitiger Lähmung (von 1983 bis 1987) und ermittelte einen Mittelwert der maximalen Phonationszeit von nur 5,9 Sekunden. Wendler et al. (1996) führen hinsichtlich der Tonhaldedauer bei einem stimmgesunden Erwachsenen Werte zwischen 20 bis 30 Sekunden an. Sie erklären zusätzlich, daß Werte unter 10 Sekunden als sicher pathologisch gelten. Zusätzlich kann der Stimmklang der einseitigen Rekurrensparese auch rauhe Anteile besitzen (vgl. Hirano & Mori, 2000; Koreman, Pützer & Just, 1999; Pützer & Marasek, 2000). Bezogen auf die pathophysiologischen Gegebenheiten ist dies auf die Irregularitäten der Stimmlippenschwingungen zurückzuführen: Die gelähmte Stimmlippe ist einerseits unbeweglich, die gesunde Stimmlippe ist durch einen permanent unmodulierten Luftstrom in ihrem koordinierten Schwingungsablauf beeinträchtigt. Akustisch äußert sich das in erhöhten Jitter- und Shimmerwerten (vgl. Koreman, Pützer & Just, 1999). Klingholz (1991) weist in seiner Studie über den Jitter darauf hin, daß organische Dysphonien³ allgemein mit einer Erhöhung des Jitters verbunden sind. Zum

³ Medizinischer Fachbegriff für eine Stimmstörung, z. B. bei Heiserkeit (Duden, 1990).

einen sind die Stimmlippen bezüglich Masse und Steifigkeit aufgrund der morphologischen Veränderungen asymmetrisch, zum anderen ist die Steuerung der Glottis beeinträchtigt (Klingholz, 1991). In Verbindung mit den eigenen Untersuchungen ist festzuhalten, daß deutlich vermehrte Geräuschkomponenten und erhöhter Jitter bzw. Shimmer akustische Korrelate der Heiserkeit bei einseitiger Rekurrensparese sind (Klingholz, 1991).

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß durch eine einseitige Rekurrensparese nicht nur die Phonation beeinträchtigt und damit das kommunikative Handeln erschwert wird. Wie das oben angeführte Beispiel zeigt, ist auch die primäre Verschlussfunktion des Kehlkopfes durch die gelähmte Stimmlippe eingeschränkt.

Kompensation

Von kompensierter einseitiger Rekurrensparese spricht man erst bei folgenden zwei Beobachtungen:

1. Annäherung der gesunden an die gelähmte Stimmlippe:

Die gesunde Stimmlippe wird mit Hilfe von Stimmübungen in ihrer Beweglichkeit so trainiert, daß sie sich während der Phonation über die Mittellinie hinaus an die gelähmte Stimmlippe annähern kann (s. Abbildung 10). Damit soll ein Stimmlippenverschluß erreicht bzw. der Spalt in der Glottis verkleinert werden (Sataloff, 1997; Wirth, 1995).

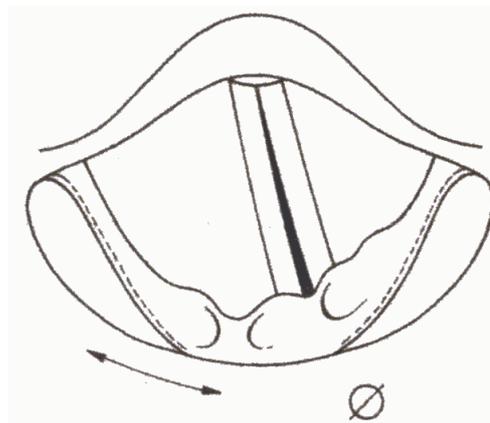


Abbildung 10. Kompensierte Stimmlippe (Wirth, 1995: 348)

2. Randkantenverschiebung:

Das Wiedereinsetzen der Randkantenverschiebung ist als erstes Indiz einer Reinnervation des M. vocalis anzusehen (Wirth, 1995).

Prognose

Eine Regeneration des funktionsgestörten Nervs ist grundsätzlich möglich. Das hängt natürlich auch vom Schweregrad der Funktionsstörung ab. Eine Reinnervation läßt sich manchmal schon ein bis zwei Wochen nach Beginn der Lähmung feststellen (Wirth, 1995). Generell ist eine Restitutio innerhalb von sechs bis zwölf Monaten zu erwarten, aber danach scheint eine spontane Remission die Ausnahme (Probst, Grevers & Iro, 2000). Wirth (1995) stellt fest, daß sich idiopathische Lähmungen bei zwei Drittel der Fälle innerhalb von sechs Monaten zurückbilden, wobei danach keine Rückbildungen mehr beobachtet werden. Eine Restbeweglichkeit ist als prognostisch günstiges Zeichen der Regeneration zu bewerten (Sittel et al., 2001; Miethe & Hermann-Röttgen, 1993), während eine beginnende Exkavierung der Stimmlippe auf eine bleibende Schädigung hindeutet (Sittel et al., 2001). Bleibt eine einseitige Lähmung über Jahre bestehen, führt dies zur Atrophie (Schwund) der Muskulatur mit Exkavation der Stimmlippe (Miethe & Hermann-Röttgen, 1993). Zusätzlich besteht die Gefahr der Versteifung der Gelenkverbindung von Ring- und Schildknorpel (Wirth 1995).

Therapie

Vorweg wird darauf hingewiesen, daß aus den in dieser Arbeit verwendeten phoniatischen Diagnosen nur zu erkennen ist, ob und in welchem Umfang im Einzelfall eine logopädische Behandlung erfolgte bzw. nicht erfolgte. Einzelheiten über angewandte Methoden liegen nicht vor. Aus diesem Grund folgt ein allgemeiner Überblick hinsichtlich der Therapiemöglichkeiten und -ziele. Die Therapie der einseitigen Rekurrensparese ist abhängig von ihrer Ursache und wird aus medizinischer Sicht wie folgt unterteilt (vgl. Arndt, 1994; Wirth, 1995):

- Konservative Therapie
- Operative Therapie

Die konservative Therapie umfaßt eine logopädische Behandlung und eventuell eine Elektrotherapie. Generell wird die gestörte Stimme durch Stimmübungen beim Logopäden behandelt. Wirth (1995) rät mit dem Beginn der logopädischen Behandlung bereits ab der zweiten Woche nach Eintritt der einseitigen Rekurrensparese. Miethe & Hermann-Röttgen (1993) sprechen von drei bis vier Wochen. Ein schnelles Handeln ist deshalb

nötig, da bereits nach vier Wochen die ersten irreversiblen Atrophien im M. vocalis auftreten (Wirth, 1995). Je mehr Zeit also ohne Therapie vergeht, desto schlechter ist die Prognose. Die in logopädischer Behandlung eingesetzten Stimmübungen haben unterschiedliche Ziele. Zum einen wird die gesunde Stimmlippe in ihrer Beweglichkeit so trainiert, daß sie sich während der Phonation kompensatorisch über die Mittellinie hinaus an die gelähmte Stimmlippe annähert. Zum anderen soll die Reinnervierung der gelähmten Muskulatur beschleunigt werden. Wirth (1995) spricht diesbezüglich von Innervationsbahnung. Des weiteren soll eine Versteifung der Gelenkverbindung von Ring- und Stellknorpel verhindert werden. Es wird außerdem versucht, die Kehlkopfmuskulatur zu erhalten und einer Atrophie vorzubeugen (Wirth, 1995). Bei eventueller Wiederkehr der Nervenfunktion soll eine intakte Muskulatur vorliegen. Miethe & Hermann-Röttgen (1993) schlagen auch ein schonendes Training der Taschenfaltenmuskeln vor, da "die Aktivierung besonders auf der gelähmten Hälfte eine passive Mitbewegung dieser Stimmlippe zur Mitte hin erreicht" (Miethe & Hermann-Röttgen, 1993: 65). Schonend deshalb, um der Gefahr hyperfunktioneller Zustände der Taschenfaltenmuskulatur und der gesunden Stimmlippe zu entgehen. Neben der logopädischen Behandlung kann gleichzeitig eine unterstützende Elektrotherapie stattfinden. Miethe & Hermann-Röttgen (1993) erklären, daß der Exponentialstrom auf der Seite der Stimmlippenlähmung angewendet wird, um einer Erschlaffung der Muskulatur vorzubeugen. Nach Ansicht der Autoren ist sie allerdings nur bei schlaffen Lähmungen und bei Anzeichen einer Funktionswiederkehr des Nerven sinnvoll.

Besteht eine einseitige Rekurrensparese schon mehrere Jahre, können operative Maßnahmen eingesetzt werden, um die Stimmleistung zu verbessern. Dies geschieht beispielsweise durch Einspritzen von Teflon bzw. Kollagen in die gelähmte Stimmlippe oder auch durch eine Stimmlippenmedialisationsoperation (Probst, Grevers & Iro, 2000).

2.3. Studien zur einseitigen Rekurrensparese

Nachdem das klinische Bild der einseitigen Rekurrensparese dargelegt wurde, soll nun auf für die eigenen Untersuchungen wichtige Ergebnisse aus anderen Studien hingewiesen werden. Zu Beginn sei darauf aufmerksam gemacht, daß Studien zur einseitigen Rekurrensparese mit den unterschiedlichsten Schwerpunkten vorliegen. Auf einige dieser Untersuchungsschwerpunkte wird hier nur kurz verwiesen: Im Mittelpunkt stehen in den Arbeiten häufig auditive Untersuchungen (vgl. Koreman, Pützer & Just, 1999; Pützer & Marasek, 2000). Weitere Studien bieten Korrelationen zwischen instrumentellen und

auditiven Parametern (vgl. Fritzell et al., 1986; Koreman, Pützer & Just, 1999; Morsomme et al., 2001; Pützer & Marasek, 2000). Hartl, Maeda & Crevier-Buchman (2003) untersuchen die Auswirkungen der einseitigen Rekurrensparese auf Formantenfrequenzen. Hanson et al. (1988) untersuchen mit Hilfe glottographischer Verfahren unterschiedliche Stimmlippenlähmungen. Außerdem liegt von Ptok, Sesterhenn & Arold (1993) eine Untersuchung zur Bewertung der laryngalen Klanggeneration mit der FFT-Analyse der glottischen Impedanz bei Patienten mit Rekurrensparese vor. Einen kleinen Überblick zu verschiedenen Untersuchungsschwerpunkten und -ergebnissen bezüglich der einseitigen Rekurrensparese bieten Hirano & Mori (2000).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der instrumentellen, d. h. der akustischen und elektrolottographischen Analyse von Sprechersignalen mit einseitiger Rekurrensparese. Als Grundlage der eigenen Untersuchungen dient dabei maßgeblich die Poster-Präsentation von Koreman, Pützer & Just (1999). Zusätzlich wird zur Unterstützung eine Studie von Pützer & Marasek (2000) herangezogen. Im folgenden werden die wichtigsten instrumentellen Untersuchungsergebnisse beider Studien kurz zusammengefaßt.

In ihrer Untersuchung bieten Koreman, Pützer & Just (1999) eine geschlechtsspezifische Analyse von zwei pathologischen Sprechergruppen mit einseitiger Rekurrensparese (mit und ohne Kompensation) im Vergleich zu einer stimmgesunden Kontrollgruppe. Die Autoren wählten akustische und elektrolottographische Signale von insgesamt 100 Sprechern für ihre Untersuchung aus der Saarbrücker Stimmdatenbank aus. Von jedem Sprecher lagen isoliert gehaltene Vokale [i:, a:, u:] in normaler Tonhöhe vor. Männer und Frauen wurden getrennt voneinander untersucht. Das Ziel der instrumentellen Analyse war, mit Hilfe akustischer und elektrolottographischer Parameterwerte zwischen dem unterschiedlichen Phonationsverhalten der Sprechergruppen zu unterscheiden. Die Autoren benutzten dabei dieselben instrumentellen Analyseprogramme (MDVP und EGG von Kay Elemetrics Corp.), die auch für die vorliegenden Untersuchungen verwendet wurden. Eine Beschreibung der instrumentellen Parameter findet sich in Abschnitt 3.3.. Die akustischen und elektrolottographischen Analysen des Produktionsexperiments führten zu folgenden Ergebnissen:

Gruppendifferenzierungen anhand akustischer Parameter (Koreman, Pützer & Just, 1999)

- Die meisten akustischen Parameter differenzierten signifikant zwischen gesunden Sprechern und Sprechern mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese.

Diese Beobachtung traf sowohl auf Männer als auch auf Frauen zu. Die Unterscheidung zeigte sich im Bereich der Grundfrequenz (besonders bei den Frauen), der Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation, der Tremorkomponenten, der subharmonischen Komponenten (besonders bei den Männern), der spektralen Energie (besonders bei den Männern) und der Stimmunterbrechungen (besonders bei den Frauen).

- Die gesunden männlichen Sprecher konnten zudem signifikant von den männlichen Sprechern mit kompensierter Rekurrensparese unterschieden werden. Dies gelang mit Hilfe von Frequenz- bzw. Amplitudenperturbationsparametern sowie einigen Parametern zur Grundfrequenz, zu Tremorkomponenten und zu Stimmunterbrechungen.
- Bei den Frauen konnten die gesunden Sprecherinnen mit keinem einzigen akustischen Parameter signifikant von Sprecherinnen mit kompensierter einseitiger Rekurrensparese differenziert werden. Dafür wurden diese beiden Gruppen signifikant von Sprecherinnen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese unterschieden. Diese Differenzierung zeigte sich anhand der Parameter zur Grundfrequenz, zur Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation, zu Tremorkomponenten und Stimmunterbrechungen sowie einem Parameter zur spektralen Energie.

Gruppendifferenzierungen anhand elektrolottographischer Parameter (Koreman, Pützer & Just, 1999)

- Sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen wurden die gesunden Kontrollgruppen nicht signifikant von den Sprechergruppen mit kompensierter einseitiger Rekurrensparese unterschieden. Diese beiden Gruppen ließen sich jedoch signifikant von den Sprechergruppen mit nicht-kompensierter Rekurrensparese unterscheiden. Dies gelang mit Parametern zur Grundfrequenz, zur Frequenzperturbation sowie mit Parametern zum Kontakt- bzw. Skewingquotienten.
- Es gab nur wenige Parameter, die bei Männern und Frauen alle drei Sprechergruppen signifikant voneinander differenzierten. Bei den Männern unterschieden die drei Gruppen ein Parameter zum Skewingquotienten und der Periodizitätsfaktor. Die drei Sprecherinnengruppen wurden anhand von zwei Kontaktquotientparametern und ebenfalls dem Periodizitätsfaktor differenziert.

Aufgrund der Ergebnisse von Koreman, Pützer & Just (1999) ist festzuhalten, daß sich anhand akustischer und elektrolottographischer Analysemethoden gesunde Sprecher signifikant von Sprechern mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese unterscheiden lassen. Bei den Männern ist zudem eher noch eine signifikante Differenzierung der gesunden Sprecher von Sprechern mit kompensierter einseitiger Rekurrensparese festzustellen, während diese Beobachtung bei den Frauen kaum zutrifft. Bei stark pathologischem Phonationsverhalten zeigen sich die Auswirkungen in fast allen von den Analyseprogrammen vorgegebenen Parametergruppen.

Pützer & Marasek (2000) berücksichtigten in ihrer Studie die Anwendung einer neuen und differenzierteren Methode zur Quantifizierung des elektrolottographischen Signals. Auch in dieser Studie konnte mit Hilfe einiger EGG-Parameter eine statistisch signifikante Unterscheidung zwischen zwei pathologischen Sprechergruppen mit einseitiger Rekurrensparese (mit und ohne Kompensation) und einer stimmgesunden Kontrollgruppe erreicht werden. Analysiert wurden ebenfalls isoliert gehaltene Vokale [a:, i:, u:] in normaler Tonhöhe von insgesamt 100 Sprechern, wobei auch hier Männer und Frauen getrennt voneinander untersucht worden sind.

Gruppendifferenzierungen anhand elektrolottographischer Parameter (Pützer & Marasek, 2000)

- Die meisten Parameter ermöglichten eine signifikante Unterscheidung zwischen gesunden Sprechern und Sprechern mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese. Diese Beobachtung betraf sowohl Männer als auch Frauen. Die Unterscheidungen machten sich vor allem im Bereich des Öffnungs- bzw. Speed-Quotienten (nur bei den Männern), der Amplitude (nur bei Frauen) sowie in einigen Phasen des Verschlusses bzw. der Öffnung bemerkbar.
- Zudem war bei wenigen Parametern eine signifikante Differenzierung der gesunden Sprecherinnen von den beiden pathologischen Sprecherinnengruppen möglich. Dies gelang vor allem mit Hilfe eines Parameters zum Öffnungsquotienten und einiger Parameter bezüglich einzelner Phasen des Verschlusses.

Im Vergleich zu den elektrolottographischen Ergebnissen von Koreman, Pützer & Just (1999) kann bei Pützer & Marasek (2000) eher eine überwiegende Differenzierung zwischen gesunden Sprechern und Sprechern mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese beobachtet werden, die auf beide Geschlechter zutrifft.

2.4. Hypothesen

Bei Betrachtung des physiologischen und pathophysiologischen Phonationsverhaltens einerseits und unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse von Koreman, Pützer & Just (1999) und Pützer & Marasek (2000) andererseits lassen sich zusammenfassend folgende Hypothesen für die eigenen Untersuchungen ableiten:

Für die Pilotstudie gelten folgende Hypothesen:

1. Die drei Sprecherinnengruppen werden aufgrund ihres unterschiedlichen Phonationsverhaltens mit Hilfe akustischer und elektroglottographischer Parameter unterschieden.
2. Je pathologischer die Phonation, desto eher kommt es zu Unterschieden im Bereich der Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation und der spektralen Energie bei der akustischen Analyse, die in der Literatur als auffälligste Bereiche charakterisiert werden.
3. Je pathologischer die Phonation, desto eher kommt es zu Unterschieden im Bereich der Frequenzperturbation, des Kontakt- bzw. Skewingquotienten und des Periodizitätsfaktors bei der elektroglottographischen Analyse.

Für die Fallstudien gelten die Hypothesen 2 und 3 oben sowie:

4. Mit Hilfe von akustischen und elektroglottographischen Parametern kann zwischen nicht-kompensierter bzw. kompensierter einseitiger Rekurrensparese unterschieden werden.

3. Experimentsbeschreibung: Material und Methode

Dieses Kapitel geht auf Versuchspersonen, Stimmaufnahmen, Kasuistik⁴, Aufzeichnungsmodus, Analysen, akustische bzw. elektroglottographische Parameter und statistische Verfahren der beiden Produktionsexperimente ein.

3.1. Versuchspersonen, Stimmaufnahmen und Kasuistik

3.1.1. Experiment I: Pilotstudie

Die akustischen und elektroglottographischen Signale von insgesamt 75 Sprecherinnen sind verwendet worden und stammen aus der Saarbrücker Stimmdatenbank. Die Sprecherinnen wurden in drei Gruppen unterteilt:

1. Gruppe: 25 gesunde Sprecherinnen ohne bekannte Stimm- oder Hörprobleme (Alter: 38-75)
2. Gruppe: 25 pathologische Sprecherinnen mit kompensierter einseitiger Rekurrensparese (Alter: 42-75)
3. Gruppe: 25 pathologische Sprecherinnen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese (Alter: 40-79)

Bei den Stimmaufnahmen handelte es sich um den in normaler Stimmlage isoliert gehaltenen Vokal [a:]. Pro Sprecherin gab es eine Vokalrealisierung.

3.1.2. Experiment II: Vier longitudinale Fallstudien

Für die longitudinalen Fallstudien sind die akustischen und elektroglottographischen Signale von zwei Frauen und zwei Männern mit einseitiger Rekurrensparese verwendet worden. Sie stammen ebenfalls aus der Saarbrücker Stimmdatenbank. Die Stimmauf-

⁴ Medizinischer Fachbegriff für die Beschreibung eines Krankheitsfalls (Duden, 1990).

nahmen umfaßten die in normaler Stimmlage isoliert gehaltenen Vokale [a:, i:, u:], welche zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten vorlagen. Das Experiment II setzt sich aus den Teilen A und B zusammen: In *Experiment IIA* wurden nur Einzelvokalanalysen von [a:] durchgeführt. Für die statistische Evaluierung in *Experiment IIB* sind alle drei Vokale [a:, i:, u:] berücksichtigt worden. Die von Dr. Manfred Just erstellten Diagnosen werden im folgenden ausformuliert.

Erste Fallstudie

Erste weibliche Versuchsperson (1wVPN)

1. Aufnahme: 27. 05. 1998

Bei der 65jährigen Sprecherin wurde nach einer Strumektomie eine nicht-kompensierte einseitige Rekurrensparese diagnostiziert. Die rechte Stimmlippe stand paramedian vollkommen still. Im stroboskopischen Bild war keine aktive Beweglichkeit erkennbar. Es wurden lediglich inkomplette passive Flatterschwingungen festgestellt. Eine logopädische Therapie wurde angeraten.

2. Aufnahme: 02. 02. 2000

Zwischenzeitlich wurde bei der 67jährigen Sprecherin eine logopädische Therapie durchgeführt. Die Lupenlaryngoskopie zeigte rechts eine unveränderte, mittlerweile aber eher intermediär stillstehende Stimmlippe. Die linke Stimmlippe war frei beweglich mit guter phonatorischer Kompensation. Der Glottisschluß wurde mit gut bewertet.

3. Aufnahme: 20. 11. 2000

Gegenüber dem Vorbefund war bei der 68jährigen Sprecherin die Situation unverändert. Es wurde ein nur noch leicht inkompletter Verschuß festgestellt.

Zweite Fallstudie

Zweite weibliche Versuchsperson (2wVPN)

1. Aufnahme: 05. 07. 2000

Bei der 55jährigen Sprecherin wurde nach einer auf der rechten Seite durchgeführten Strumektomie eine nicht-kompensierte einseitige Rekurrensparese festgestellt. Die Lupenlaryngoskopie zeigte eine unauffällige Supraglottis. Die rechte Stimmlippe stand intermediär leicht exkaviert still und zeigte keine Restbeweglichkeit. Es wurde ein inkompletter Glottisschluß mit breiter glottischer Insuffizienz beobachtet. Eine anschließende Therapie mit zusätzlichen Rehabilitationsmaßnahmen im Stimmheilzentrum sollten folgen.

2. Aufnahme: 09. 08. 2000

Zwischenzeitlich unterzog sich die 55jährige Sprecherin einer intensiven logopädischen Therapie (dreimal wöchentlich). Es wurde eine unveränderte Intermediärstellung mit sehr wenig stroboskopischer Restbeweglichkeit der gelähmten Stimmlippe festgestellt. Außerdem wurde eine Taschenfaltenhyperplasie⁵ beobachtet.

3. Aufnahme: 12. 09. 2001

Die rechte Stimmlippe der 56jährigen Sprecherin blieb weiterhin in Intermediärstellung stillstehend. Während der Phonation konnte eine vollkommene phonatorische Kompensation der gesunden Stimmlippe mit gutem Glottisschluß beobachtet werden. Zum Teil war eine hyperfunktionelle supraglottische Einengung zu erkennen. Eine weitere Stimmberatung wurde empfohlen.

Dritte Fallstudie

Erste männliche Versuchsperson (1mVPN)

1. Aufnahme: 29. 01. 1998

Bei dem 47jährigen Sprecher wurde eine idiopathische frische nicht-kompensierte einseitige Rekurrensparese links in Intermediärstellung festgestellt. Auditiv konnte eine starke Verhauchung wahrgenommen werden. Die gelähmte Stimmlippe zeigte keine stroboskopische Restbeweglichkeit. Es konnte auch kein hyperfunktioneller Kompensationsversuch der gesunden Stimmlippe beobachtet werden.

2. Aufnahme: 18. 03. 1998

Bei dem 47jährigen Sprecher wurde eine idiopathische nicht-kompensierte einseitige Rekurrensparese links in Intermediärstellung mit breiter glottischer Insuffizienz diagnostiziert.

3. Aufnahme: 09. 09. 1998

Bei dem 48jährigen Sprecher liegt auf Basis der Lupenlaryngoskopie eine schlaffe nicht-kompensierte einseitige Rekurrensparese links in Intermediärstellung vor. Die gelähmte Stimmlippe steht still. Es ließ sich stroboskopisch keine Restbeweglichkeit nachweisen. Trotz Therapie klingt die Stimme weiterhin dysphon und diplophon mit aphonischen Unterbrechungen. Wegen ungeklärter Ätiologie sollen eventuell erneute neurologische Untersuchungen durchgeführt werden.

⁵ Medizinischer und biologischer Fachbegriff für eine Vergrößerung von Geweben und Organen durch abnorme Vermehrung der Zellen (Duden, 1990).

Vierte Fallstudie

Zweite männliche Versuchsperson (2mVPN)

Vorweg wird darauf hingewiesen, daß bei diesem Sprecher nicht bekannt ist, in welcher Position die gelähmte Stimmlippe steht und ob er sich einer logopädischen Therapie unterzogen hat.

1. Aufnahme: 13. 05. 1998

Nach vorangegangener Semithyreoidektomie⁶ wurde bei dem 76jährigen Sprecher eine nicht-kompensierte einseitige Rekurrensparese links diagnostiziert. Die Lupenlaryngoskopie zeigte eine unveränderte Rekurrensparese mit unregelmäßigem Schwingungsbild. Zusätzlich ließ sich ein unzureichend hyperfunktioneller Kompensationsversuch beobachten. Die Atemfläche im Glottisbereich war verkleinert. Eine Stimmberatung wurde angeraten.

2. Aufnahme: 28. 04. 1999

Bei dem 77jährigen Sprecher war keine Änderung gegenüber dem Vorbefund zu erkennen.

3. Aufnahme: 15. 12. 1999

Der Lokalbefund des 78jährigen Sprecher war unverändert. Es wurden jedoch eher weiche Einschwingungen festgestellt, so daß der Glottisschluß konstanter und kompletter war.

3.2. Aufzeichnungsmodus und Analysen

Die Aufzeichnungen erfolgten im klinisch phonetischen Labor der Caritasklinik St. Theresia, Saarbrücken, in einem schallbehandelten Untersuchungsraum. Sie wurden mit dem kommerziell erhältlichen Sprachverarbeitungssystem Computerized Speech Lab (CSL), Modell 4300B, der Firma Kay Elemetrics Corp. unter Verwendung eines Nacken-Kondensatormikrophons (NEM 192.15, beyerdynamic) und eines EGG-Systems der Firma Laryngograph Ltd. (Portable Laryngograph) gemacht. Das Nackenmikrophon ermöglichte, den Abstand des Mikrophons zu den Lippen der einzelnen Versuchspersonen gleichzuhalten (Titze & Winholtz, 1993). Die akustischen und elektroglottographischen Signale wurden mit einer Abtastrate von 50 kHz und einer Amplituden-

⁶ Bei diesem Patienten (2mVPN) wurde ein Teil der Schilddrüse entfernt.

auflösung von 16 Bit digitalisiert. Bei den zur Analyse vorbereiteten Signalen wurde nach Klingholz (1991) der Stimmeinsatz und Stimmabsatz ausgelassen und ca. eine Sekunde aus der Mitte der Vokalproduktion herausgeschnitten. Die Analysen des akustischen Signals wurden mit dem Stimmanalyseprogramm Multi-Dimensional Voice Program (MDVP), Modell 4305, Version 1.34, von Kay Elemetrics Corp. durchgeführt. Für das elektrolottographische Signal wurde das Programm Electroglottograph (EGG), Modell 4338, Version 3.1, verwendet (Pützer, 2001; Pützer & Just, 1999).

3.3. Akustische und elektrolottographische Parameter

Mit Hilfe des MDVP können am akustischen Zeitsignal orientierte Analysen durchgeführt werden. Das elektrolottographische Verfahren ermöglicht die Erfassung einzelperiodischer Gegebenheiten. Beide Analyseverfahren stellen nicht-invasive Methoden zur Untersuchung der gesunden und pathologischen Phonation dar und finden Anwendung in der medizinisch-phoniatrischen und phonetischen Forschung (Schultz-Coulon & Klingholz, 1988). Der Gebrauch beider Programme ist relativ einfach, da die Aufnahmen direkt eingespielt, analysiert und visualisiert werden können. Beide Verfahren eignen sich besonders für die Analyse von gehaltenen Vokalen (EGG-Manual, 1995; MDVP-Manual, 1993).

Für die Analyse der akustischen Signale wurden vom MDVP die im folgenden dargestellten und beschriebenen sieben Analyseansätze (s. Tabellen 1 bis 7) mit den entsprechenden Parametern ausgewählt. Ausführliche Definitionen und Beschreibungen der einzelnen Parameter finden sich im MDVP-Manual (1993). Die hier verwendeten Übersetzungen stammen größtenteils von Pützer (2001).

Tabelle 1. Kurz- und Langzeit-Frequenzperturbationsmessungen: MDVP-Parameter

Parameter	Einheit	Definition
<i>Jita</i>	ms	Absoluter Jitter: Mittelwert der absoluten Dauerunterschiede zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Perioden
<i>Jitt</i>	%	Relativer Jitter: <i>Jita</i> als Prozentsatz der mittleren Periodendauer
<i>RAP</i>	%	Relative durchschnittliche Perturbation: <i>Jitt</i> geglättet über 3 Perioden
<i>PPQ</i>	%	Periodenperturbationsquotient: <i>Jitt</i> geglättet über 5 Perioden
<i>sPPQ</i>	%	Kurz- oder Langzeit-Periodenperturbationsquotient: <i>Jitt</i> geglättet über 55 Perioden
vF_0	%	Koeffizient der Grundfrequenzvariation: Standardabweichung der Grundfrequenz geteilt durch den mittleren Grundfrequenzwert

Tabelle 2. Kurz- und Langzeit-Amplitudenperturbationsmessungen: MDVP-Parameter

Parameter	Einheit	Definition
<i>ShdB</i>	dB	Absoluter Shimmer: Mittelwert der absoluten Amplitudenunterschiede zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Perioden
<i>Shim</i>	%	Relativer Shimmer: <i>ShdB</i> als Prozentsatz der mittleren Amplitude
<i>APQ</i>	%	Amplitudenperturbation: <i>Shim</i> geglättet über 11 Perioden
<i>sAPQ</i>	%	Kurz- oder Langzeit-Amplitudenperturbationsquotient: <i>Shim</i> geglättet über 55 Perioden
vAm	%	Koeffizient der Amplitudenvariation: Standardabweichung der Amplitude geteilt durch die mittlere Amplitude

Tabelle 3. Messungen zu den harmonischen Komponenten bzw. Geräuschkomponenten (Spektrale Energie): MDVP-Parameter

Parameter	Einheit	Definition
<i>NHR</i>		Verhältnis der nichtharmonischen Energie (Frequenzbereich: 1500-4500 Hz) zur harmonischen Energie (Frequenzbereich: 70-4500 Hz)
<i>VTI</i>		Verhältnis der hohen nichtharmonischen Energie (Frequenzbereich: 2800-5800 Hz) zur harmonischen Energie (Frequenzbereich: 70-4500 Hz)
<i>SPI</i>		Verhältnis der tieffrequenten harmonischen Energie (Frequenzbereich: 70-1600 Hz) zur höherfrequenten harmonischen Energie (Frequenzbereich: 1600-4500 Hz)

Tabelle 4. Messungen zu Tremorkomponenten: MDVP-Parameter

Parameter	Einheit	Definition
<i>FTRI</i>	%	<i>Fftr</i> geteilt durch den Gesamtfrequenzbetrag
<i>ATRI</i>	%	<i>Fatr</i> geteilt durch die Gesamtamplitude
<i>Fftr</i>	Hz	F ₀ -Tremorfrequenz
<i>Fatr</i>	Hz	Amplitudentremorfrequenz

Tabelle 5. Messungen zu Stimmunterbrechungen: MDVP-Parameter

Parameter	Einheit	Definition
<i>DVB</i>	%	Angabe der gesamten Dauer der Stimmunterbrechungen relativ zur Dauer des analysierten Signals

Tabelle 6. Messungen zu subharmonischen Komponenten: MDVP-Parameter

Parameter	Einheit	Definition
<i>DSH</i>	%	Evaluation subharmonischer Anteile im Stimmsignal

Tabelle 7. Messungen zur Bestimmung der aphonischen Komponenten: MDVP-Parameter

Parameter	Einheit	Definition
<i>DUV</i>	%	Evaluation aphonischer Anteile im Stimmsignal

Im Rahmen der akustischen Einzelvokalanalyse (*Experiment IIA*) wird die graphische Darstellung des MDVP zur Visualisierung der Ergebnisse verwendet. Aus diesem Grund wird hier kurz darauf eingegangen. Aus Abbildung 11 ist ersichtlich, wie die einzelnen Parameter in Hinblick auf den dazugehörigen Analyseansatz angeordnet sind.

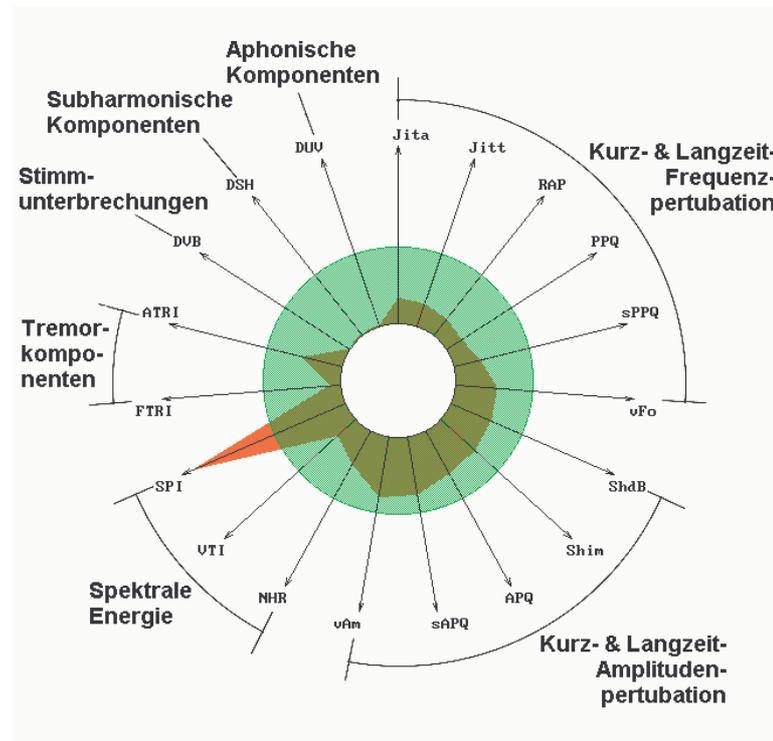


Abbildung 11. MDVP-Parameter

Die graphische Darstellung ermöglicht nun einen visuellen Vergleich der analysierten Patientendaten (dunkle Flächen innerhalb und außerhalb des Kreises) mit den vom Hersteller ermittelten normativen Grenzwerten für die einzelnen Parameter (Kreis). Die über die Normgrenze hinausgehenden Patientenwerte liegen außerhalb des Kreises. Bei stark abweichenden Patientenwerten verkleinert sich die Fläche des normativen Bereichs (Kreis). Die Normwerte werden der besseren Orientierung wegen erst in Verbindung mit der Darstellung der Ergebnisse erwähnt.

Bevor die EGG-Parameter angeführt werden, wird hier kurz auf die Elektrolottographie selbst eingegangen. Dieses Verfahren stellt die Öffnungs- und Schließbewegungen der Stimmlippen dar (s. Abbildung 12), indem es die Impedanzveränderung des Kehlkopfes während der Phonation mißt (Titze, 1994). Dazu werden zwei an einem Halsband befestigte Elektroden auf der Haut über den beiden Schildknorpelplatten positioniert, zwischen denen ein hochfrequenter Wechselstrom fließt (Wendler et al., 1996). Die Impedanz steigt beim Öffnen der Stimmlippen und sinkt, sobald die sich wieder schließen (Titze, 1994). Die dadurch hervorgerufenen Impedanzveränderungen

werden amplitudenmoduliert. Pützer & Marasek (2000: 154) erklären diesbezüglich, daß "die Amplitude des Signals etwa linear abhängig ist von der Kontaktfläche der Stimmlippen".

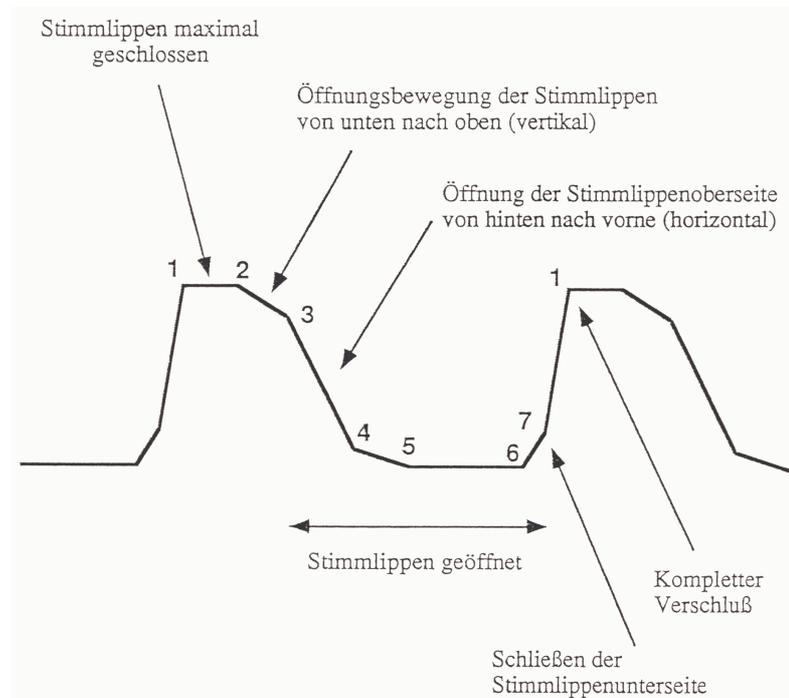


Abbildung 12. Stilisierte EGG-Kurve (nach Rothenberg, 1981)

Für die Analyse der elektroglottographischen Signale wurden vom EGG die im folgenden dargestellten und beschriebenen vier Analyseansätze (s. Tabellen 8 bis 11) mit den entsprechenden Parametern ausgewählt. Ausführliche Definitionen und Beschreibungen einzelner Parameter sind im EGG-Manual (1995) nachzulesen. Die hier verwendeten übersetzten Definitionen gehen zurück auf Pützer (2001).

Tabelle 8. EGG-Parameter zur Frequenzperturbation

Parameter	Einheit	Definition
<i>Avg. Jitter</i>	%	Relativer Jitter: Wie der akustische Parameter <i>RAP</i> geglättet über 3 Perioden, aber berechnet auf der Grundlage des EGG-Signals

Tabelle 9. EGG-Parameter zum Kontaktquotienten (CQ)

Parameter	Einheit	Definition
<i>Mean CQ</i>	%	Mittelwert des Kontaktquotienten
<i>Range CQ</i>	%	Umfang des Kontaktquotienten (<i>Max. CQ</i> – <i>Min. CQ</i> in %)
<i>Min. CQ</i>	%	Geringster Wert des Kontaktquotienten
<i>Max. CQ</i>	%	Höchster Wert des Kontaktquotienten
<i>SD CQ</i>	%	Standardabweichung des Kontaktquotienten

Im Anhang B findet sich eine Abbildung zur Berechnung des Kontaktquotienten. Dem ist hinzuzufügen, daß der Kontaktquotient ausschließlich Auskunft über die relative Kontaktphase des Schwingungszyklus gibt, aber nichts über den absoluten Verschluß aussagt.

Tabelle 10. EGG-Parameter zum Skewingquotienten (Skew)

Parameter	Einheit	Definition
<i>Mean Skew</i>	%	Mittelwert des Skewingquotienten
<i>Range Skew</i>	%	Umfang des Skewingquotienten (<i>Max. Skew</i> – <i>Min. Skew</i> in %)
<i>Min. Skew</i>	%	Geringster Wert des Skewingquotienten
<i>Max. Skew</i>	%	Höchster Wert des Skewingquotienten
<i>SD Skew</i>	%	Standardabweichung des Skewingquotienten

Im Anhang B ist ebenfalls eine Abbildung zur Berechnung des Skewingquotienten angegeben. Der Skewingquotient spiegelt die Schrägheit der EGG-Kurve wieder. Als Beispiel soll die behauchte Stimme angeführt werden: Die Anregung ist bei der behauchten Stimme schwächer, da die offene Phase im Schwingungszyklus länger ist als die geschlossene Phase. In der EGG-Kurve äußert sich dies in einer flacheren und sinus-artigeren Form.

Tabelle 11. EGG-Parameter zur Messung der Periodizitätsanteile im Signal (Periodizitätsfaktor)

Parameter	Einheit	Definition
<i>Perifac</i>		Gesamtamplitude der periodischen Signalanteile, gemessen im Cepstrum

Die im MDVP und im EGG angebotenen Parameter zur Grundfrequenz wurden bei den eigenen Untersuchungen nicht berücksichtigt, da die Versuchspersonen die gehaltenen Vokale nicht unter Vorgabe einer bestimmten Tonhöhe produzieren mußten. Abschließend wird darauf hingewiesen, daß beide Programme Parameter enthalten, die sowohl auf gemeinsame als auch auf unterschiedliche Phänomene der Stimme bezug nehmen:

"So geben beide Methoden durch ihre Parameter zum relativen Jitter (MDVP: RAP; EGG: Avg. Jitter) Auskunft über Frequenzperturbationen. Zudem sind Messungen zu den harmonischen Komponenten beim MDVP (NHR, VTI) und EGG-Programm (Perifac) zu finden. Die Parameter zu den Amplitudenperturbationen (MDVP) und diejenigen zur relativen Kontaktberechnung (Kontaktquotient) bzw. zur zeitlich bezogenen Berechnung der Schliessungs- und Öffnungsbewegung bei der elektroglottographischen Einzelperiode (Skewingquotient, EGG-Programm) betreffen unterschiedliche Bereiche der instrumentellen stimmlichen Charakterisierung." (Pützer, 2001: 76)

3.4. Statistische Verfahren

3.4.1. Experiment I: Pilotstudie

Die statistische Bearbeitung der Analysedaten wurde mit dem SPSS-Programm (Version 10.0) durchgeführt. Sie beinhaltete folgende Schritte:

1. Multivariate Varianzanalyse mit anschließenden Post-Hoc-Tests (Scheffé), um herauszufinden, durch welche Parameter sich die drei Sprecherinnengruppen signifikant voneinander unterscheiden.
2. Lineare Regressionsanalysen für die Überprüfung der zu erwartenden Redundanz einiger signifikanter Parameter innerhalb zweier Ansätze der akustischen Analyse (Frequenz- bzw. Amplitudenperturbationsmessungen). Parameter sind dann redundant, wenn ihr R^2 bezüglich der Einflußvariablen größer 0,9 war. Damit wurde bei beiden Ansätzen eine Parameterreduktion erreicht: Die lineare Regressionsanalyse der signifikanten Frequenzperturbationsparameter bezogen auf die relativen Jittermaße (mit *Jitt* als Einflußvariable und *RAP*, *PPQ* und *sPPQ* als abhängige Variablen) ergab eine Redundanz für *RAP* und *PPQ* bei allen Gruppen. Nur *sPPQ* erwies sich bei den drei Gruppen als nicht redundant. Die lineare Regressionsanalyse der signifikanten Amplitudenperturbationsparameter bezogen auf die relativen Shimmermaße (mit *Shim* als Einflußvariable und *APQ* als abhängige Variable) ergab bei allen Gruppen eine Redundanz für *APQ*.

3.4.2. Experiment II: Vier longitudinale Fallstudien

Da in *Experiment IIA* nur ein [a:]-Vokal pro Sitzung analysiert worden ist, wurden die daraus resultierenden Ergebnisse anhand von Tabellen und Abbildungen rein deskriptiv beschrieben. In *Experiment IIB* wurden neben [a:] auch die Vokale [i:] und [u:] analysiert. Die statistische Bearbeitung der Analysedaten erfolgte mit dem SPSS-Programm (Version 10.0). Es wurde eine multivariate Varianzanalyse mit anschließenden Post-Hoc-Tests (Scheffé) durchgeführt, um herauszufinden, durch welche Parameter sich die drei Sitzungen signifikant voneinander unterscheiden.

4. Darstellung und Interpretation der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der instrumentellen Analysen von *Experiment I* und *Experiment IIA* und *B* zuerst dargestellt und anschließend interpretiert.

4.1. Darstellung der Ergebnisse

4.1.1. Experiment I: Pilotstudie

Die Darstellung der Ergebnisse berücksichtigt von den für die Analysen verwendeten MDVP- bzw. EGG-Parametern nur diejenigen, mit denen eine signifikante Unterscheidung der Sprecherinnengruppen möglich ist. In Tabelle 12 werden die Ergebnisse zur *akustischen Analyse* angeführt.

Tabelle 12. Unterscheidung der Sprecherinnengruppen anhand signifikanter MDVP-Parameter (1 = gesunde Sprecherinnen; 2 = Sprecherinnen mit kompensierter einseitiger Rekurrensparese; 3 = Sprecherinnen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese; Die eingeklammerten Parameter stellen sich nach Durchführung linearer Regressionsanalysen als redundant heraus.; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

MDVP-Parametergruppen	Sprecherinnengruppen	
	2-3	1,2-3
Frequenzperturbation		<i>Jita</i> ** <i>Jitt</i> *** (<i>RAP</i> **) (<i>PPQ</i> *) <i>sPPQ</i> **
Amplitudenperturbation		<i>ShdB</i> ** <i>Shim</i> ** (<i>APQ</i> **)
Spektrale Energie	<i>VTI</i> *	<i>NHR</i> **

Es ist ersichtlich, daß sich mit insgesamt zehn MDVP-Parametern die Gruppen signifikant unterscheiden lassen. Der Post-Hoc-Test (Scheffé) ergibt, daß keiner dieser Parameter alle drei Gruppen unterscheidet. Es ist aber eine eindeutige Zweiteilung zu beobachten: Eine statistisch überwiegend hoch signifikante Differenzierung zwischen den Gruppen (1,2-3) wird durch die Parameter zur Frequenz- (*Jita*, *Jitt*, *RAP*, *PPQ*, *sPPQ*) bzw. Amplitudenperturbation (*ShdB*, *Shim*, *APQ*) und einem Parameter zur spektralen Energie (*NHR*) erreicht. Nach Durchführung linearer Regressionsanalysen erweisen sich die Parameter *RAP*, *PPQ* und *APQ* als redundant und werden nicht weiter beachtet. Die einzige signifikante Differenzierung zwischen den pathologischen Gruppen (2-3) geht auf den Parameter *VTI* zurück. Diese Ergebnisse lassen sich bereits tendenziell bei den Mittelwerten beobachten (s. Anhang C).

Die Ergebnisse zur *elektrolottographischen Analyse* werden in Tabelle 13 dargestellt. Unter Berücksichtigung von insgesamt neun EGG-Parametern können die Gruppen signifikant unterschieden werden. Der Post-Hoc-Test (Scheffé) zeigt, daß nur durch den Periodizitätsfaktor *Perifac* die drei Gruppen (1-2-3) höchst signifikant voneinander zu unterscheiden sind. Mit Hilfe der Parameter zum Kontaktquotienten (*Max. CQ*, *SD CQ*) kann eine höchst signifikante Differenzierung zwischen den Sprecherinnen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese und den beiden anderen Gruppen (1,2-3) erreicht werden. Die meisten Parameter differenzieren zwei Gruppen (1-3): Durch den Frequenzperturbationsparameter (*Avg. Jitter*), den Kontaktquotientparameter (*Range CQ*) und die Skewingquotientparameter (*Mean Skew*, *Range Skew*, *Max. Skew*, *SD Skew*) wird eine überwiegend hoch signifikante Unterscheidung zwischen den gesunden Sprecherinnen und denen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese erreicht. Tendenzen der Ergebnisse lassen sich auch hier bereits bei den Mittelwerten erkennen (s. Anhang C).

Tabelle 13. Unterscheidung der Sprecherinnengruppen anhand signifikanter EGG-Parameter (1 = gesunde Sprecherinnen; 2 = Sprecherinnen mit kompensierter einseitiger Rekurrensparese; 3 = Sprecherinnen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

EGG-Parametergruppen	Sprecherinnengruppen		
	1-3	1,2-3	1-2-3
Frequenzperturbation	<i>Avg. Jitter**</i>		
Kontaktquotient	<i>Range CQ***</i>	<i>Max. CQ***</i> <i>SD CQ***</i>	
Skewingquotient	<i>Mean Skew*</i> <i>Range Skew**</i> <i>Max. Skew**</i> <i>SD Skew*</i>		
Periodizitätsfaktor			<i>Perifac***</i>

4.1.2. Experiment IIA: Deskriptive Beschreibung der vier longitudinalen Fallstudien hinsichtlich klinischer Anwendung (Einzelvokalanalysen)

Es folgt eine deskriptive Beschreibung der Ergebnisse zu Einzelvokalanalysen von [a:], die einen Einblick bezüglich der klinischen Anwendung des MDVP und EGG geben soll. Im weiteren Verlauf wird die individuelle Entwicklung eines jeden Sprechers beschrieben. Dies geschieht mit Hilfe der graphischen Darstellung des MDVP, die dem Phoniater und vor allem dem Patienten als visuell objektives Feedback dient. Auf die graphische Darstellung des EGG wird hier verzichtet, da sie wegen mangelndem Illustrationscharakter für den Patienten keine Relevanz hat und zudem keine Vergleichsmöglichkeit zu Normwerten bietet. Stattdessen werden eigens erstellte Abbildungen verwendet. Unterstützt wird die visuelle Darstellung durch die Angabe relevanter Parameterwerte der Sprecher. Um die individuelle Entwicklung in ihrem Verlauf besser einschätzen zu können, wird sie mit einer Referenzbasis für Normalstimmen in Beziehung gesetzt. Die akustischen Ergebnisse werden dabei mit den vom Hersteller des MDVP angegebenen

Normwerten⁷ verglichen (MDVP-Manual, 1993). Da der Hersteller für das EGG keinerlei Normwerte angibt, werden für die elektrolottographischen Ergebnisse die bei Pützer (2001) angeführten Parametermittelwerte mit Standardabweichung (sd) zu 150 weiblichen und 150 männlichen Normalstimmen herangezogen. Die Parameterwerte, die weniger als ± 1 sd vom ermittelten Mittelwert zu den Normalstimmen abweichen, werden als gesund, d. h. als nicht pathologisch, betrachtet.

Zusätzlich wird eine auditive Bewertung der akustischen Signale nach dem RBH-System abgegeben (vgl. Nawka, Anders & Wendler, 1994; Nawka & Anders, 1996). Beim RBH-System handelt es sich um ein im deutschsprachigen Raum standardisiertes Verfahren zur auditiven Beurteilung von Stimmen. Diese werden nach den Qualitäten Rauhigkeit (R), Behauchtheit (B) und Heiserkeit (H) beurteilt und klassifiziert. Unterschieden wird dabei auf einer vierstufigen Skala: 0 = nicht vorhanden; 1 = leicht oder geringgradig; 2 = mittelgradig; 3 = hochgradig. Bei der Bewertung werden nur ganzzahlige Einstufungen akzeptiert. Eine Grundregel lautet: Der Gesamtheiserkeitseindruck kann nicht besser sein als die Bewertung einer Komponente (Rauhigkeit oder Behauchtheit). Die Bewertungen erfolgten nach einem Trainingsprogramm mit den von Nawka & Anders (1996) auf zwei CDs angebotenen Übungsbeispielen. Die Vokale eines jeden Sprechers sind vor der instrumentellen Analyse von der Verfasserin in randomisierter Reihenfolge beurteilt worden. Dabei wurde jeder Vokal mehrmals angehört. Diese Beurteilungen müssen dennoch mit Vorsicht betrachtet werden, da sie rein subjektiver Natur sind. Ob sich die Einzelvokalbewertungen in der spontanen oder gelesenen Sprache der Sprecher bestätigen würden, ist fraglich und im Rahmen dieser Arbeit nicht zu klären.

⁷ Die Normwerte des MDVP vernachlässigen eine geschlechtsspezifische Unterscheidung und basieren auf der Analyse einer Gruppe von nur 68 Sprechern mit gesunder und pathologischer Stimmqualität (vgl. MDVP-Manual, 1993). Für die akustische Einzelvokalanalyse werden sie trotzdem verwendet, da innerhalb der graphischen Darstellung darauf zurückgegriffen wird.

4.1.2.1. Ergebnisse der ersten Fallstudie: 1wVPN

Die Abbildung 13 bietet einen Überblick zur *akustischen Einzelvokalanalyse*. In Tabelle 14 sind nur die Parameterwerte angeführt, die ihre jeweiligen Normwerte überschreiten.

Tabelle 14. Ergebnisse der MDVP-Einzelvokalanalyse ([a:]) von 1wVPN über drei Sitzungen im Vergleich zu Normwerten (fett = Wert im Normbereich)

MDVP-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Normwerte
<i>Jitt (%)</i>	1,21	1,54	1,06	1,04
<i>RAP (%)</i>	0,74	0,95	0,63	0,68
<i>PPQ (%)</i>	0,68	0,86	0,61	0,84
<i>vF₀ (%)</i>	1,62	1,99	1,40	1,10
<i>sAPQ (%)</i>	5,65	4,50	4,72	4,23
<i>vAm (%)</i>	9,77	10,99	9,63	8,20
<i>SPI</i>	29,93	44,85	28,24	14,12
<i>DSH (%)</i>	3,23	0,00	0,00	0,00

Aus Abbildung 13 ist ersichtlich, daß die Parameter zur Frequenz- (*Jitt*, *RAP*, *vF₀*) und Amplitudenperturbation (*sAPQ*, *vAm*) die Normwerte bei der 1. Sitzung in unterschiedlichem Ausmaß relativ gering überschreiten, während ein Parameter zur spektralen Energie (*SPI*) größere und einer zu subharmonischen Komponenten (*DSH*) noch größere Abweichungen von den Normwerten zeigen.

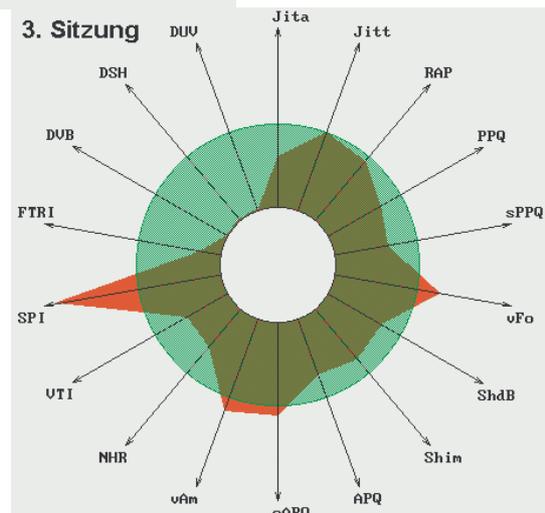
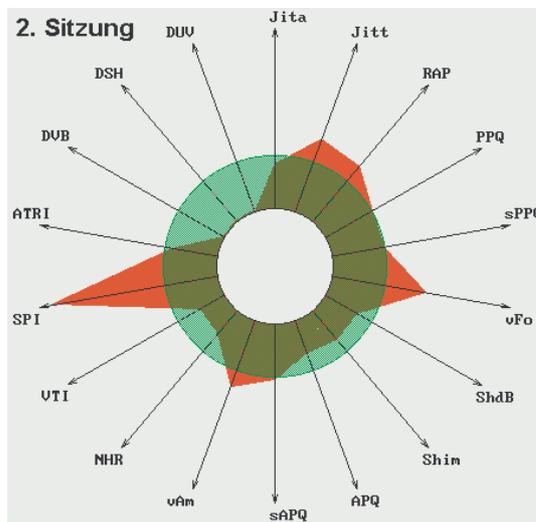
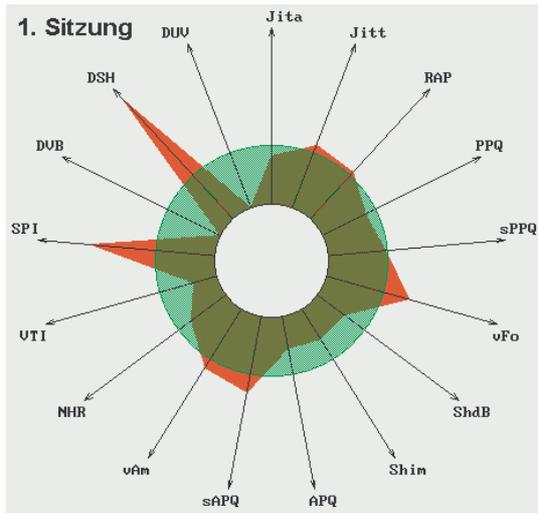


Abbildung 13. Ergebnisse der akustischen Einzelvokalanalyse über drei Sitzungen (1wVPN)

Beim Vergleich der 1. mit der 3. Sitzung ist eine Verbesserung aller Parameterwerte zu beobachten (s. Tabelle 14). Das trifft besonders auf Parameter im Bereich der Frequenzperturbation (*Jitt*, *RAP*, *PPQ*) und der subharmonischen Komponenten (*DSH*) zu. Auffällig ist allerdings eine leichte Verschlechterung der Werte bei der 2. Sitzung mit Ausnahme der Parameter *sAPQ* und *DSH*. Diese Verschlechterung hat vorwiegend Auswirkungen auf den Parameter *SPI*, während die anderen Parameter eher minimal betroffen sind (s. Abbildung 13). Ein direkter Vergleich mit den Normwerten zeigt, daß diese nur von den Parametern *RAP* (ab der 3. Sitzung), *PPQ* (1. und 3. Sitzung) und *DSH* (ab der 2. Sitzung) unterschritten werden. Die Parameterwerte zur Frequenz- (*Jitt*, vF_0) und Amplitudenperturbation (*sAPQ*, vAm) nähern sich im Verlauf der Sitzungen allerdings deutlich den Normwerten an. Nur der Parameter *SPI* bleibt davon ausgeschlossen (s. Tabelle 14). Die auditive Beurteilung ergibt: 1. Sitzung = R1 B1 H1; 2. Sitzung = R0 B1 H1; 3. Sitzung = R1 B1 H1. Diese Bewertung führt zu keinem nennenswerten Unterschied zwischen den Sitzungen. Dennoch klingt die Stimme der Sprecherin ab der 2. Sitzung kräftiger, klarer und resonanzreicher als in der 1. Sitzung. Diese Unterschiede können in diesem Fall mit dem RBH-System nicht ausgedrückt werden.

In Tabelle 15 befinden sich die Parameter, die bei der *elektroglottographischen Einzelvokalanalyse* von den Mittelwerten mit Standardabweichung (sd) für weibliche Normalstimmen abweichen.

Tabelle 15. Ergebnisse der EGG-Einzelvokalanalyse ([a:]) von 1wVPN über drei Sitzungen im Vergleich zu Mittelwerten (sd) für weibliche Normalstimmen (fett = Wert im Streuungsbereich ± 1 sd)

EGG-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Mittelwerte (sd) Normalstimme
<i>Avg. Jitter (%)</i>	4,02	1,26	0,81	0,55 (0,51)
<i>Range CQ (%)</i>	44,24	38,91	37,08	14,73 (12,08)
<i>Min. CQ (%)</i>	7,93	10,43	6,56	34,26 (9,79)
<i>SD CQ (%)</i>	4,15	3,06	3,06	1,88 (1,19)
<i>Mean Skew (%)</i>	79,57	50,94	57,53	45,35 (11,29)
<i>Range Skew (%)</i>	155,78	54,12	115,03	36,89 (38,16)
<i>Max. Skew (%)</i>	185,45	82,69	157,88	70,93 (37,77)
<i>SD Skew (%)</i>	27,51	8,47	9,83	5,58 (4,32)
<i>Perifac</i>	1,43	2,10	2,10	4,17 (1,12)

Die Ergebnisse der 1. Sitzung veranschaulichen, daß die Parameter zur Frequenzperturbation (*Avg. Jitter*), zum Kontakt- (*Range CQ*, *Min. CQ*, *SD CQ*) bzw. Skewingquotienten (*Mean Skew*, *Range Skew*, *Max. Skew*, *SD Skew*) und zum Periodizitätsfaktor (*Perifac*) im unterschiedlichen Ausmaß außerhalb des zugrundegelegten Streuungsbereichs liegen. In Abbildung 14 wird exemplarisch anhand des Frequenzperturbationsparameters *Avg. Jitter* eine kontinuierliche Verbesserung der Werte ab der 2. Sitzung gezeigt. In der 3. Sitzung liegt der Wert sogar im Streuungsbereich der Normalstimmen. Neben diesem Parameter zeigen jeweils ein Parameter zum Kontaktquotienten (*SD CQ*) und zum Skewingquotienten (*SD Skew*) dieselbe Tendenz. Beide Parameter fallen bereits ab der 2. Sitzung in den zugrundegelegten Streuungsbereich (s. Tabelle 15). Am Beispiel des Parameters *Perifac* ist ebenfalls eine Verbesserung der Werte ab der 2. Sitzung zu beobachten (s. Abbildung 14). Er läßt aber nur eine Annäherung an den Bereich einer stimmgesunden Kontrollgruppe erkennen. Ein Parameter zum Kontaktquotienten (*Range CQ*) zeigt einen ähnlichen Verlauf (s. Tabelle 15).

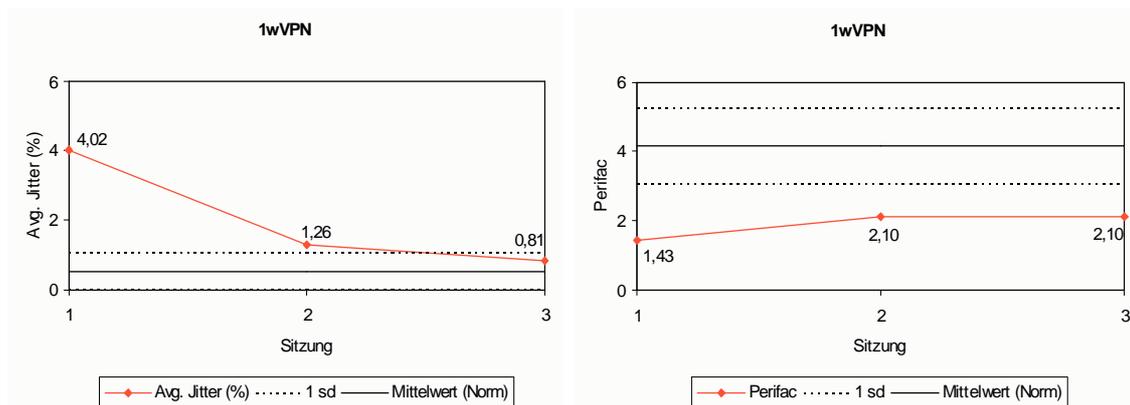


Abbildung 14.. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (1wVPN): Avg. Jitter und Perifac (EGG)

Bei drei Parametern zum Skewingquotienten (*Mean Skew*, *Range Skew*, *Max. Skew*) ist auch eine Verbesserung der Werte von der 1. zur 2. Sitzung festzustellen, allerdings verschlechtern sie sich ab der 3. Sitzung wieder. Diese Entwicklung wird exemplarisch anhand des Parameters *Range Skew* in Abbildung 15 verdeutlicht. Die Werte dieser Parameter liegen nur während der 2. Sitzung im vorgegebenen Streuungsbereich (s. Tabelle 15). Nur ein Parameter zum Kontaktquotienten (*Min. CQ*) befindet sich bei allen Sitzungen außerhalb des normalstimmlichen Bereichs (s. Abbildung 15). Ab der 2. Sitzung deutet sich zwar eine Bewegung in Richtung Normalstimmen an, aber bei der 3. Sitzung entfernt er sich wieder.

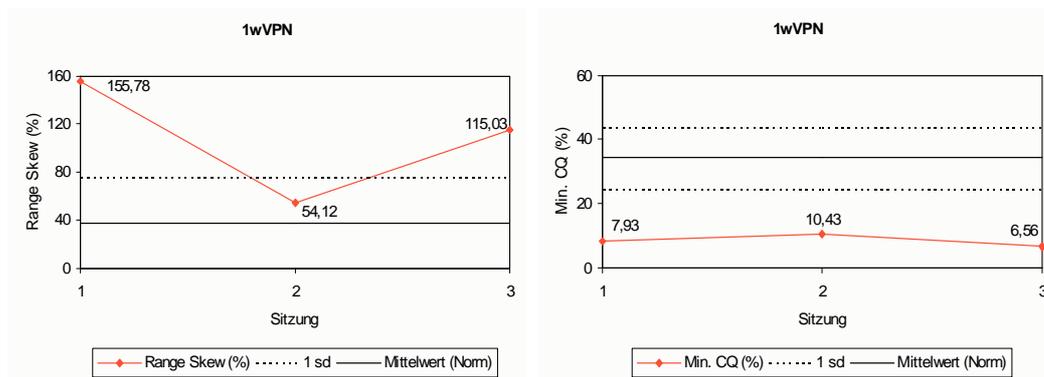


Abbildung 15. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (1wVPN): Range Skew und Min. CQ (EGG)

Beim Betrachten dieser Ergebnisse ist festzustellen, daß sich die 2. und 3. Sitzung mit einer Verbesserung der meisten Parameterwerte deutlich von der 1. Sitzung abheben.

Zusammenfassung der Ergebnisse von 1wVPN

Die Ergebnisse der instrumentellen Analysen zeigen im Verlauf der Sitzungen eine überwiegende Verbesserung der Stimmleistung. Diese führt zu einer deutlichen Annäherung an eine stimmgesunde Kontrollgruppe. Diese Entwicklung ist beim EGG im Unterschied zum MDVP schon ab der 2. Sitzung wahrzunehmen. Allerdings verläuft sie nicht so ausgeprägt hin zu den Normwerten im Vergleich zum MDVP. Beim MDVP findet die Verbesserung hauptsächlich im Bereich der Frequenzperturbation und der subharmonischen Komponenten statt, beim EGG vor allem im Bereich der Frequenzperturbation, des Kontaktquotienten und des Periodizitätsfaktors. Der auditive Eindruck führt mit Hilfe des RBH-Systems zu keinem nennenswerten Unterschied, dennoch klingt die Stimme in den letzten beiden Sitzungen kräftiger und resonanzreicher. Abweichende Entwicklungen zeigen sich anhand des MDVP-Parameters *SPI* im Laufe der Sitzungen und einiger EGG-Parameter zum Skewingquotienten (*Mean Skew*, *Range Skew*, *Max. Skew*) in der 3. Sitzung. Es ist außerdem darauf aufmerksam zu machen, daß die während der 1. Sitzung beobachteten Abweichungen von den Normwerten überwiegend relativ moderat sind.

4.1.2.2. Ergebnisse der zweiten Fallstudie: 2wVPN

Die Abbildung 16 ermöglicht einen Überblick zur *akustischen Einzelvokalanalyse*. In Tabelle 16 finden sich die von den Normwerten abweichenden Parameterwerte.

Tabelle 16. Ergebnisse der MDVP-Einzelvokalanalyse ([a:]) von 2wVPN über drei Sitzungen im Vergleich zu Normwerten (fett = Wert im Normbereich)

MDVP-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Normwerte
<i>Jita</i> (ms)	372,05	42,30	149,04	83,2
<i>Jitt</i> (%)	8,92	0,94	2,84	1,04
<i>RAP</i> (%)	5,28	0,58	1,71	0,68
<i>PPQ</i> (%)	5,64	0,50	1,70	0,84
<i>sPPQ</i> (%)	6,85	0,67	1,81	1,02
<i>vF₀</i> (%)	11,55	1,22	2,25	1,10
<i>ShdB</i> (dB)	3,28	0,42	0,35	0,35
<i>Shim</i> (%)	36,87	4,83	4,03	3,81
<i>APQ</i> (%)	22,90	3,72	2,61	3,07
<i>sAPQ</i> (%)	25,43	4,43	5,64	4,23
<i>vAm</i> (%)	34,61	11,71	19,51	8,20
<i>NHR</i>	0,40	0,12	0,16	0,19
<i>VTI</i>	0,075	0,053	0,053	0,061
<i>SPI</i>	16,48	24,03	29,09	14,12
<i>FTRI</i> (%)	3,17	0,65	0,38	0,95
<i>DVB</i> (%)	2,73	0,00	0,00	0,00
<i>DUV</i> (%)	93,55	0,00	0,00	0,00

Anhand der 1. Sitzung in Abbildung 16 ist festzustellen, daß die Parameter zur Frequenz- (*Jita*, *Jitt*, *RAP*, *PPQ*, *sPPQ*, *vF₀*) bzw. Amplitudenperturbation (*Shdb*, *Shim*, *APQ*, *sAPQ*, *vAm*) sowie zu Tremorkomponenten (*FTRI*), Stimmunterbrechungen (*DVB*) und aphonischen Komponenten (*DUV*) die Normwerte in unterschiedlichem Ausmaß relativ stark überschreiten, während die Parameter zur spektralen Energie (*NHR*, *VTI*, *SPI*) geringere Abweichungen von den Normwerten aufzeigen.

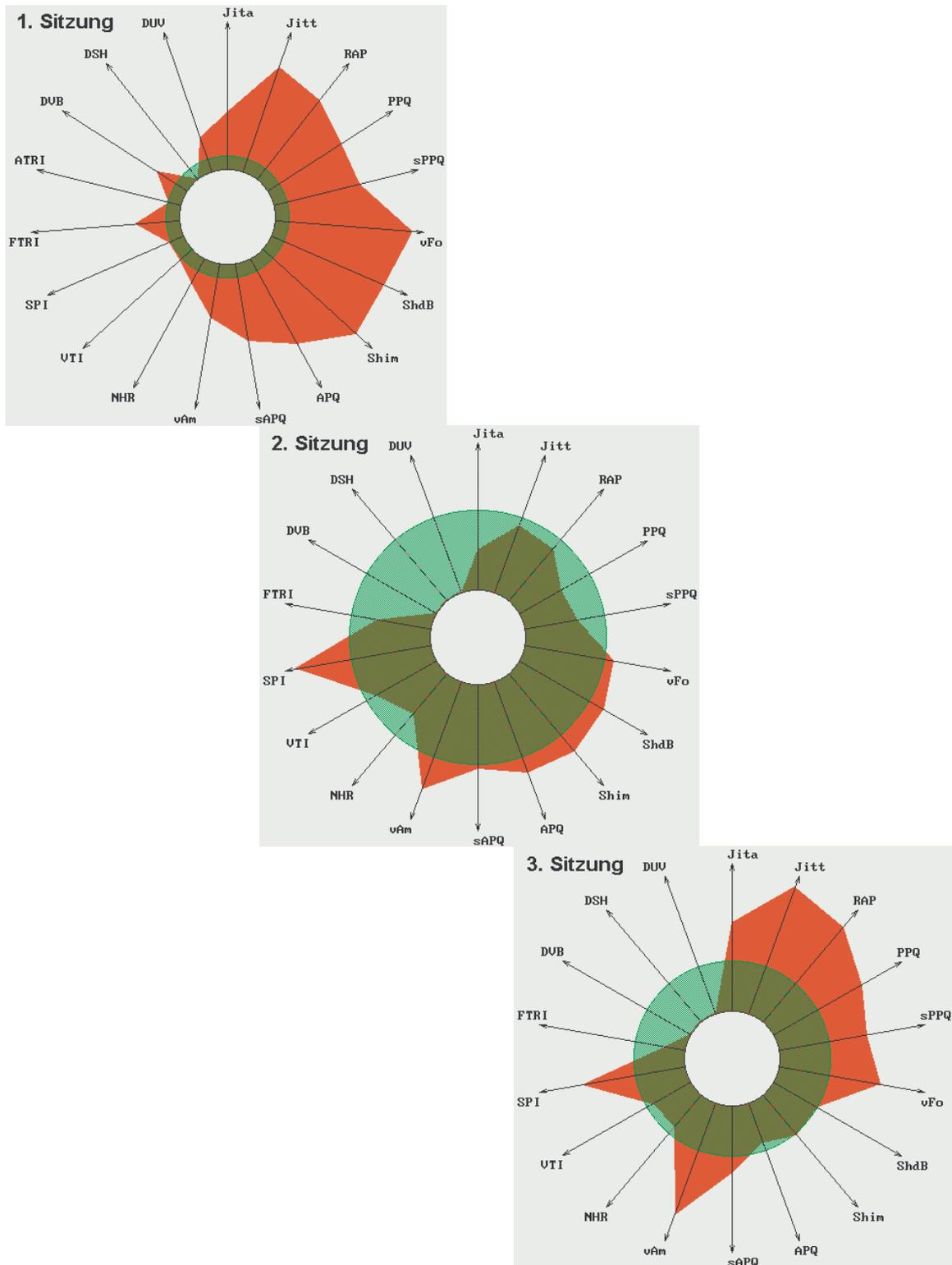


Abbildung 16. Ergebnisse der akustischen Einzelvokalanalyse über drei Sitzungen (2wVPN)

Der Vergleich der 1. mit der 2. Sitzung läßt eine enorme Verbesserung aller Parameterwerte mit Ausnahme von *SPI* erkennen. Allerdings ist beim Vergleich der 2. mit der 3. Sitzung eine Verschlechterung einiger Parameter zu beobachten. Diese Entwicklung zeigt sich anhand der Parameter zur Frequenz- (*Jita*, *Jitt*, *RAP*, *PPQ*, *sPPQ*, νF_0) bzw. Amplitudenperturbation (*sAPQ*, νAm) und eines Parameters zur spektralen Energie (*SPI*). Es ist dennoch festzuhalten, daß im Vergleich der 1. mit der 3. Sitzung alle Parameterwerte mit Ausnahme von *SPI* eine relative Verbesserung erkennen lassen (s. Tabelle 16). Im Vergleich mit den Normwerten ist erkennbar, daß diese von den Parametern *ShdB* bzw. *APQ* ab der 3. Sitzung und *NHR*, *VTI*, *FTRI*, *DVB* und *DUV* bereits ab der 2. Sitzung unterschritten werden. Alle Parameterwerte zur Frequenzperturbation (außer νF_0) unterschreiten ausschließlich während der 2. Sitzung die vom Analysesystem eingestellten Normwerte. Der Parameter νF_0 und die Parameter zur Amplitudenperturbation (*Shim*, *sAPQ*, νAm) nähern sich im Verlauf der drei Sitzungen den Normwerten an. Nur der Parameter *SPI* bleibt davon ausgeschlossen. Er weist eine kontinuierliche Verschlechterung auf (s. Tabelle 16). Die auditive Bewertung ergibt: 1. Sitzung = R3 B2 H3; 2. Sitzung = R0 B1 H1; 3. Sitzung = R0 B1 H1. Auch hier wird ein klarer Unterschied zwischen der 1. Sitzung gegenüber der 2. und 3. Sitzung festgestellt, der eine Verbesserung der Stimmleistung ausdrückt. Allerdings kann zwischen der 2. und 3. Sitzung im Gegensatz zu den instrumentellen Analysen auditiv kein Unterschied wahrgenommen werden.

In Tabelle 17 sind die Parameter angeführt, die bei der *elektroglottographischen Einzelvokalanalyse* von den Mittelwerten mit Standardabweichung (sd) für weibliche Normalstimmen abweichen. Anhand der Ergebnisse der 1. Sitzung ist ersichtlich, daß sich die Parameter zur Frequenzperturbation (*Avg. Jitter*), zum Kontakt- (*Range CQ*, *Max. CQ*, *SD CQ*) bzw. Skewingquotienten (*Mean Skew*, *Range Skew*, *Min. Skew*, *Max. Skew*, *SD Skew*) und zum Periodizitätsfaktor (*Perifac*) außerhalb des Streuungsbereichs befinden.

Tabelle 17. Ergebnisse der EGG-Einzelvokalanalyse ([a:]) von 2wVPN über drei Sitzungen im Vergleich zu Mittelwerten (sd) für weibliche Normalstimmen (fett = Wert im Streuungsbereich ± 1 sd)

EGG-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Mittelwerte (sd) Normalstimme
<i>Avg. Jitter (%)</i>	5,56	0,71	0,78	0,55 (0,51)
<i>Range CQ (%)</i>	29,85	32,75	34,93	14,73 (12,08)
<i>Min. CQ (%)</i>	35,78	7,95	14,12	34,26 (9,79)
<i>Max. CQ (%)</i>	65,63	40,70	49,05	49,00 (6,04)
<i>SD CQ (%)</i>	5,78	2,51	2,44	1,88 (1,19)
<i>Mean Skew (%)</i>	115,60	72,26	67,44	45,35 (11,29)
<i>Range Skew (%)</i>	285,62	148,56	39,81	36,89 (38,16)
<i>Min. Skew (%)</i>	17,71	40,32	58,22	34,06 (9,55)
<i>Max. Skew (%)</i>	303,33	188,88	98,03	70,93 (37,77)
<i>SD Skew (%)</i>	48,53	19,05	4,01	5,58 (4,32)
<i>Perifac</i>	0,39	2,80	2,89	4,17 (1,12)

Mit Hilfe des Kontaktquotientparameters *SD CQ* wird exemplarisch in Abbildung 17 die kontinuierliche Verbesserung der Werte ab der 2. Sitzung verdeutlicht. Dieser Parameterwert liegt bereits ab der 2. Sitzung im Streuungsbereich der Normalstimmen. Neben diesem Parameter zeigt der Parameter zur Frequenzperturbation (*Avg. Jitter*) dieselbe Tendenz. Drei Parameter des Skewingquotienten (*Range Skew*, *Max. Skew*, *SD Skew*) lassen auch eine Verbesserung der Werte ab der 2. Sitzung erkennen. Diese Parameter fallen aber erst ab der 3. Sitzung in den zugrundegelegten Streuungsbereich. Diese Entwicklung wird in Abbildung 17 anhand des Parameters *SD Skew* gezeigt.

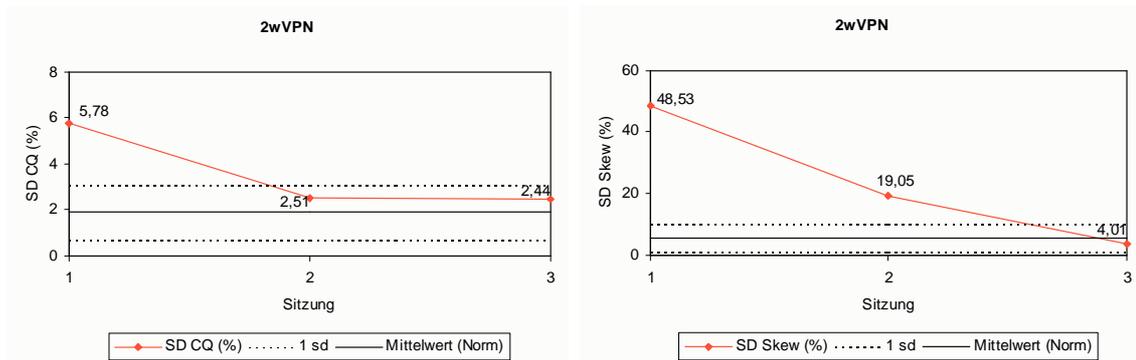


Abbildung 17. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (2wVPN): SD CQ und SD Skew (EGG)

Am Beispiel der Parameter *Mean Skew* und *Perifac* ist ebenfalls eine Verbesserung der Werte ab der 2. Sitzung zu beobachten (s. Abbildung 18). Sie zeigen im Verlauf aber nur eine kontinuierliche Annäherung an den Streuungsbereich.

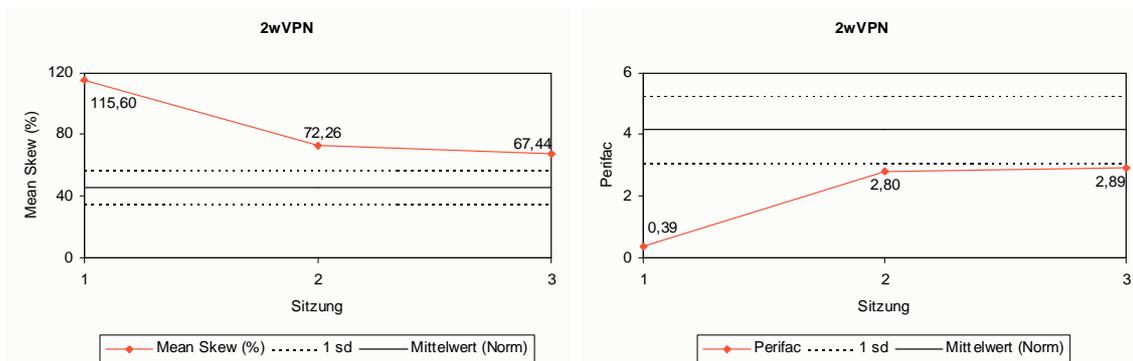


Abbildung 18. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (2wVPN): Mean Skew und Perifac (EGG)

Nur ein Parameter zum Kontaktquotienten (*Range CQ*) liegt bei allen Sitzungen außerhalb des stimmgesunden Bereichs und entfernt sich kontinuierlich davon (s. Abbildung 19). Zwei Parameter zum Kontaktquotienten (*Min. CQ*, *Max. CQ*) und ein Parameter zum Skewingquotienten (*Min. Skew*) weisen unregelmäßige Schwankungen während der Sitzungen auf. Diese Beobachtung wird in Abbildung 19 anhand des Parameters *Min. Skew* exemplarisch veranschaulicht.

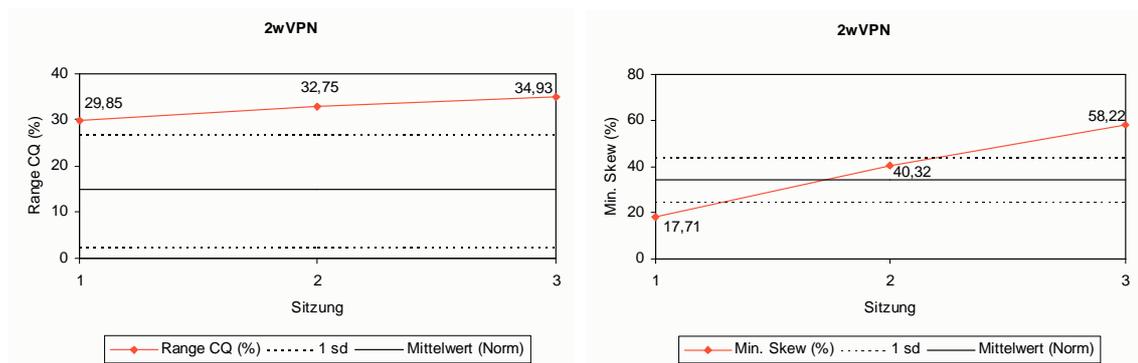


Abbildung 19. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (2wVPN): Range CQ und Min. Skew (EGG)

Die Ergebnisse zeigen, daß sich die 2. und 3. Sitzung mit einer Verbesserung der meisten Parameterwerte deutlich von der 1. Sitzung unterscheiden.

Zusammenfassung der Ergebnisse von 2wVPN

Die Ergebnisse der instrumentellen Analysen lassen im Verlauf der Sitzungen Tendenzen einer deutlichen Verbesserung der stimmlichen Eigenschaften erkennen. Diese Entwicklung führt zu einer klaren Annäherung an eine stimmgesunde Population, die teilweise auch mit ihr verglichen werden kann. Bei beiden Untersuchungsmethoden ist die Verbesserung schon ab der 2. Sitzung zu erkennen. Beim MDVP kann sie durch Parameter zur Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation, zur spektralen Energie sowie zu Tremorkomponenten, zu Stimmunterbrechungen und zu aphonischen Komponenten nachgewiesen werden, beim EGG überwiegend im Bereich der Frequenzperturbation, des Skewingquotienten und des Periodizitätsfaktors. Auch auditiv kann die positive Stimmentwicklung bestätigt werden. Nur beim MDVP läßt sich ab der 3. Sitzung dann eine leichte Verschlechterung einiger Parameterwerte zur Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation und zur spektralen Energie beobachten. Auffälligkeiten beim EGG zeigen sich dagegen hauptsächlich beim Kontaktquotienten.

4.1.2.3. Ergebnisse der dritten Fallstudie: 1mVPN

Die Ergebnisse zur *akustischen Einzelvokalanalyse* werden in Abbildung 20 dargestellt. Tabelle 18 führt nur die Parameterwerte an, die die zugrundegelegten Normwerte überschreiten.

Tabelle 18. Ergebnisse der MDVP-Einzelvokalanalyse ([a:]) von 1mVPN über drei Sitzungen im Vergleich zu Normwerten (fett = Wert im Normbereich; * Dieser Wert konnte vom MDVP nicht ermittelt werden.)

MDVP-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Normwerte
<i>Jita (ms)</i>	124,45	357,29	785,87	83,2
<i>Jitt (%)</i>	1,19	3,45	8,19	1,04
<i>RAP (%)</i>	0,70	2,16	4,53	0,68
<i>PPQ (%)</i>	0,66	2,12	5,42	0,84
<i>sPPQ (%)</i>	0,92	2,18	*	1,02
<i>vF₀ (%)</i>	1,31	3,86	7,97	1,10
<i>Shdb (dB)</i>	0,70	1,24	2,32	0,35
<i>Shim (%)</i>	8,03	13,80	21,35	3,81
<i>APQ (%)</i>	5,76	10,05	15,08	3,07
<i>sAPQ (%)</i>	7,43	10,66	*	4,23
<i>vAm (%)</i>	11,14	15,78	29,99	8,20
<i>NHR</i>	0,17	0,25	0,35	0,19
<i>VTI</i>	0,095	0,094	0,052	0,061
<i>SPI</i>	12,47	13,80	22,80	14,12
<i>FTRI (%)</i>	0,53	0,76	1,73	0,95
<i>ATRI (%)</i>	7,22	7,87	13,06	4,37
<i>DVB (%)</i>	0,00	0,00	42,36	0,00
<i>DUV (%)</i>	9,68	56,25	80,65	0,00

Aus Abbildung 20 ist ersichtlich, daß in der 1. Sitzung die Parameter zur Amplitudenperturbation (*Shdb*, *Shim*, *APQ*, *sAPQ*, *vAm*) und zu aphonischen Komponenten (*DUV*) ihre Normwerte im unterschiedlichen Ausmaß relativ stark überschreiten. Moderatere Abweichungen zeigen hingegen die Parameter zur Frequenzperturbation (*Jita*, *Jitt*, *RAP*, *vF₀*) und jeweils ein Parameter zur spektralen Energie (*VTI*) und zu Tremorkomponenten (*ATRI*). Beim Vergleich mit den folgenden Sitzungen ist eine kontinuierliche Verschlechterung der Parameterwerte zu beobachten.

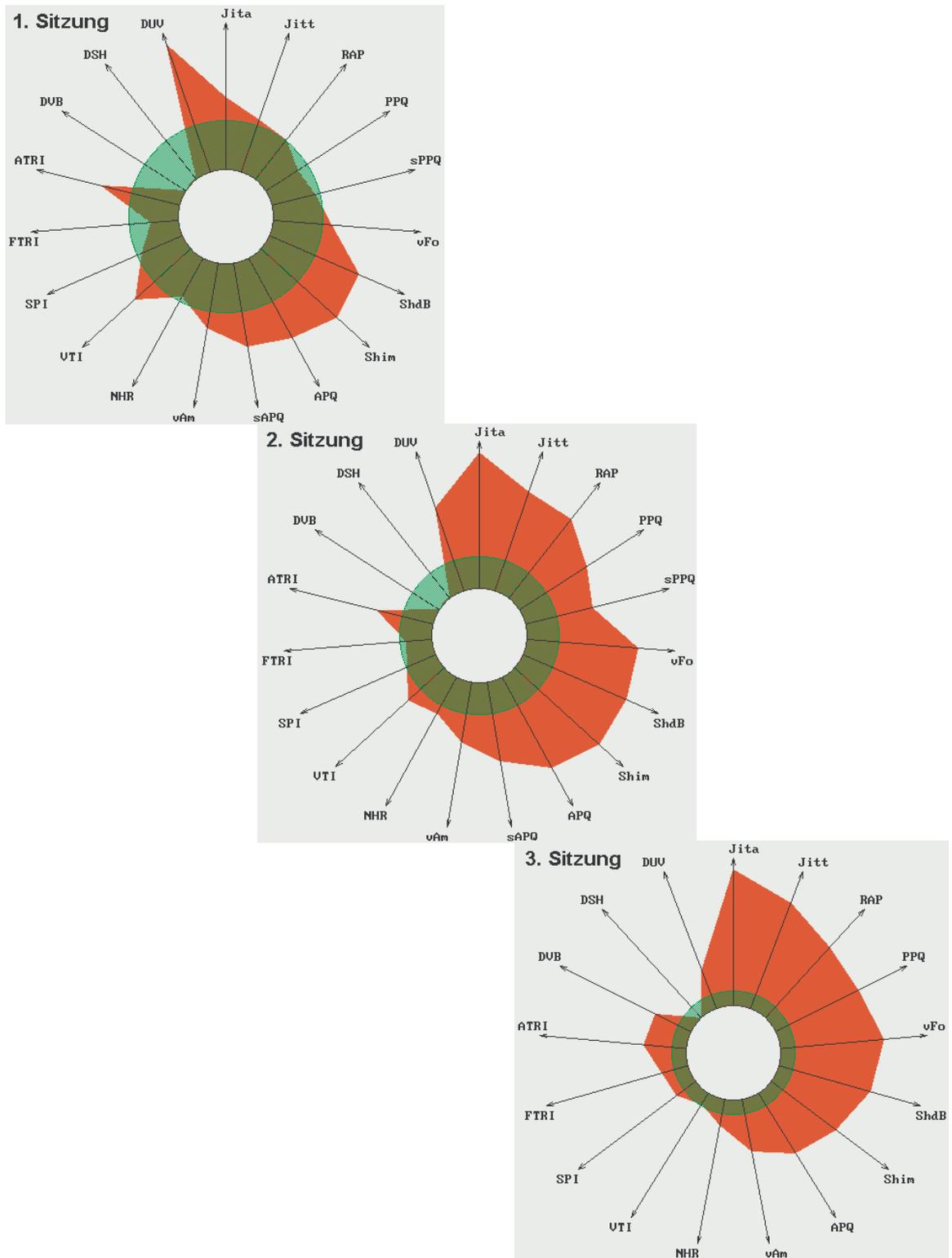


Abbildung 20. Ergebnisse der akustischen Einzelvokalanalyse über drei Sitzungen (1mVPN)

Diese Entwicklung macht sich vor allem im Bereich der Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation und der aphonischen Komponenten bemerkbar. Zusätzlich treten im Verlauf der letzten beiden Sitzungen Abweichungen von den Normwerten im Bereich der spektralen Energie (*NHR*, *SPI*), der Tremorkomponenten (*FTRI*) und der Stimmunterbrechungen (*DVB*) auf. Einzig der Parameter *VTI* läßt eine Verbesserung im Laufe der Sitzungen erkennen (s. Abbildung 20). Die Parameter *SPI*, *FTRI* und *DVB* unterschreiten nur während der ersten beiden Sitzungen ihre jeweiligen Normwerte. Die Parameterwerte von *PPQ*, *sPPQ* und *NHR* liegen nur während der 1. Sitzung und *VTI* ab der 3. Sitzung unterhalb des Normwertes. Die meisten Parameterwerte überschreiten jedoch im Verlauf der drei Sitzungen ihre Normwerte und entfernen sich tendenziell von ihnen (s. Tabelle 18). Die auditive Beurteilung lautet: 1. Sitzung = R2 B2 H2; 2. Sitzung = R2 B3 H3; 3. Sitzung = R3 B3 H3. Dieses Ergebnis bestätigt die in der akustischen Analyse festgestellte stetige Verschlechterung der Stimmleistung.

Tabelle 19 führt die Parameter der *elektroglottographischen Einzelvokalanalyse* an, die von den Mittelwerten mit Standardabweichung (sd) für männliche Normalstimmen abweichen.

Tabelle 19. Ergebnisse der EGG-Einzelvokalanalyse ([a:]) von 1mVPN über drei Sitzungen im Vergleich zu Mittelwerten (sd) für männliche Normalstimmen (fett = Wert im Streubereich ± 1 sd)

EGG-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Mittelwerte (sd) Normalstimme
<i>Avg. Jitter (%)</i>	0,87	1,36	13,31	0,6 (0,65)
<i>Mean CQ (%)</i>	35,17	50,39	43,77	44,79 (4,0)
<i>Range CQ (%)</i>	12,83	23,37	52,25	16,76 (10,39)
<i>Min. CQ (%)</i>	23,51	29,65	8,79	32,21 (10,68)
<i>Max. CQ (%)</i>	36,34	53,02	61,04	48,99 (5,64)
<i>SD CQ (%)</i>	1,28	2,47	9,77	1,93 (1,0)
<i>Mean Skew (%)</i>	39,07	164,52	219,73	37,79 (13,74)
<i>Range Skew (%)</i>	14,11	206,67	687,58	29,95 (33,56)
<i>Min. Skew (%)</i>	31,12	73,33	40,00	28,24 (9,08)
<i>Max. Skew (%)</i>	45,23	280,00	727,58	58,19 (35,82)
<i>SD Skew (%)</i>	3,07	38,88	147,79	5,16 (5,97)
<i>Perifac</i>	1,70	0,86	0,83	3,09 (0,9)

Aus den Ergebnissen der 1. Sitzung ist ersichtlich, daß nur zwei Parameter zum Kontaktquotienten (*Mean CQ*, *Max. CQ*) und der Periodizitätsfaktor (*Perifac*) außerhalb des vorgegebenen Streubereichs liegen. Alle anderen Parameterwerte befinden sich während der 1. Sitzung innerhalb des stimmgesunden Bereichs (s. Tabelle 19). In Abbildung 21 wird exemplarisch mit Hilfe des Frequenzperturbationsparameters *Avg. Jitter* und des Skewingquotientparameters *SD Skew* eine kontinuierliche Verschlechterung der Werte ab der 2. Sitzung verdeutlicht. Beide Parameterwerte befinden sich ab der 2. Sitzung außerhalb des Streubereichs. Neben diesen beiden Parametern lassen alle anderen Skewingparameter dieselbe Tendenz erkennen (s. Tabelle 19).

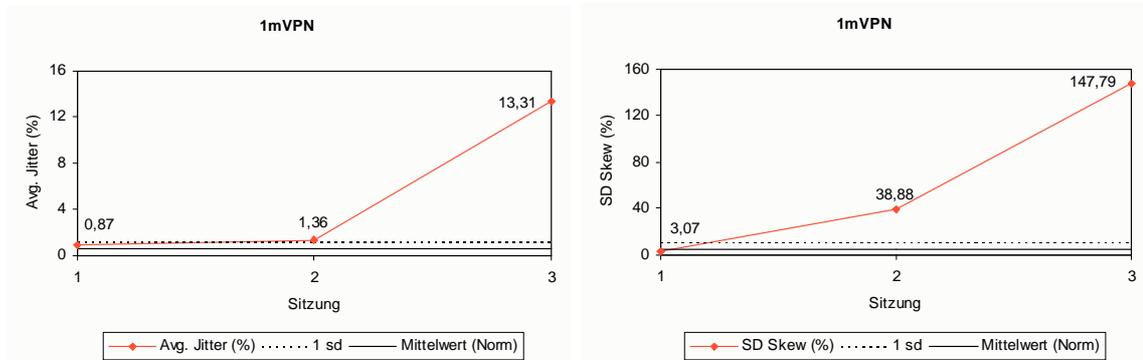


Abbildung 21. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (1mVPN): Avg. Jitter und SD Skew (EGG)

Drei Parameter des Kontaktquotienten (*Range CQ*, *Min. CQ*, *SD CQ*) lassen auch eine Verschlechterung erkennen. Sie liegen ab der 3. Sitzung außerhalb des Normbereichs. Diese Entwicklung wird am Beispiel des Parameters *SD CQ* gezeigt (s. Abbildung 22). Anhand des Parameters *Perifac* kann ebenfalls eine kontinuierliche Verschlechterung der Werte festgestellt werden (s. Abbildung 22). In diesem Fall befinden sich die Werte allerdings bei allen Sitzungen außerhalb des Streubereichs und entfernen sich stetig davon.

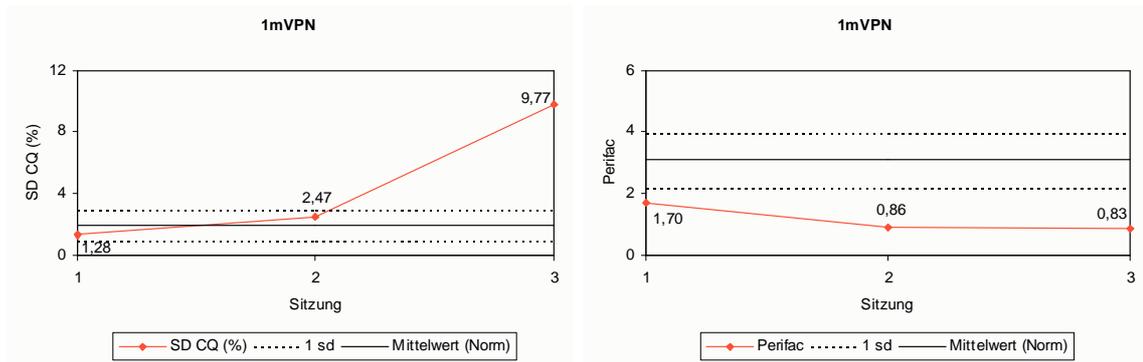


Abbildung 22. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (1mVPN): SD CQ und Perifac (EGG)

Schwankungen in der Nähe des zugrundegelegten Streubereichs lassen die Parameter *Mean CQ* und *Max. CQ* erkennen. Der Wert des Parameters *Mean CQ* liegt nur in der 3. Sitzung im Streubereich (s. Abbildung 23), der Wert des Parameters *Max. CQ* nur in der 2. Sitzung (s. Tabelle 19).

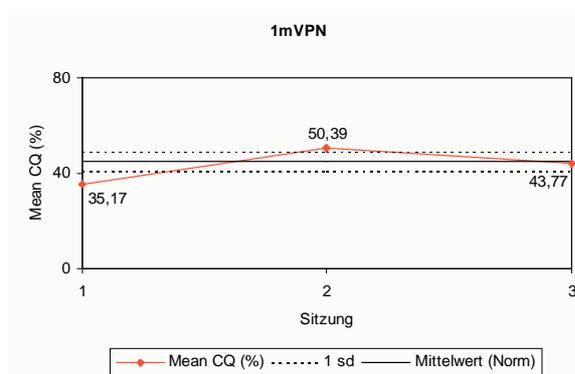


Abbildung 23. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (1mVPN): Mean CQ (EGG)

Beim Betrachten der Ergebnisse ist festzustellen, daß sich die 2. und 3. Sitzung mit einer kontinuierlichen Verschlechterung der Parameterwerte deutlich von der 1. Sitzung unterscheiden.

Zusammenfassung der Ergebnisse von 1mVPN

Anhand der Ergebnisse der instrumentellen Analysen ist eine kontinuierliche Verschlechterung der stimmlichen Leistungsfähigkeit festzustellen. Der Vergleich mit Normwerten zeigt, daß sich die Parameterwerte des MDVP und EGG während der Sitzungen tendenziell immer weiter von ihnen entfernen. Beide Untersuchungsmethoden lassen im Laufe der 2. und 3. Sitzung bei fast allen ursprünglich angegebenen Parametergruppen Abweichungen von den vorgegebenen Normwerten erkennen. Sie zeigen sich in der akustischen Analyse besonders im Bereich der Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation und aphonischen Komponenten. In der elektroglottographischen Analyse machen sich die Abweichungen vor allem im Bereich der Frequenzperturbation, des Skewingquotienten und des Periodizitätsfaktors bemerkbar. Die auditive Beurteilung bestätigt diese Entwicklung. Abweichungen von den Normwerten während der 1. Sitzung sind hauptsächlich bei der akustischen Analyse aufgefallen.

4.1.2.4. Ergebnisse der vierten Fallstudie: 2mVPN

Die Abbildung 24 bietet eine allgemeine Übersicht zur *akustischen Einzelvokalanalyse*. Die dabei von den Normwerten abweichenden Parameter sind in Tabelle 20 aufgelistet.

Tabelle 20. Ergebnisse der MDVP-Einzelvokalanalyse ([a:]) von 2mVPN über drei Sitzungen im Vergleich zu Normwerten (fett = Wert im Normbereich)

MDVP-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Normwerte
<i>Jita</i> (ms)	428,65	257,74	292,68	83,2
<i>Jitt</i> (%)	7,48	3,63	4,06	1,04
<i>RAP</i> (%)	4,66	2,04	2,49	0,68
<i>PPQ</i> (%)	3,63	1,96	2,44	0,84
<i>sPPQ</i> (%)	4,37	2,37	3,09	1,02
<i>vF₀</i> (%)	6,63	5,36	4,76	1,10
<i>ShdB</i> (dB)	1,50	0,77	0,77	0,35
<i>Shim</i> (%)	14,95	8,03	10,70	3,81
<i>APQ</i> (%)	9,08	5,42	7,34	3,07
<i>sAPQ</i> (%)	10,00	9,29	11,06	4,23
<i>vAm</i> (%)	22,87	18,43	53,30	8,20
<i>NHR</i>	0,29	0,17	0,20	0,19
<i>SPI</i>	18,85	22,26	18,15	14,12
<i>FTRI</i> (%)	2,49	1,18	1,32	0,95
<i>DSH</i> (%)	44,44	0,00	8,70	0,00
<i>DUV</i> (%)	3,57	28,57	4,17	0,00

Aus Abbildung 24 ist ersichtlich, daß in der 1. Sitzung die Parameter zur Frequenz- (*Jita*, *Jitt*, *RAP*, *PPQ*, *sPPQ*, *vF₀*) bzw. Amplitudenperturbation (*Shdb*, *Shim*, *APQ*, *sAPQ*, *vAm*) sowie zu subharmonischen Komponenten (*DSH*) und zu aphonischen Komponenten (*DUV*) die Normwerte in unterschiedlichem Ausmaß relativ stark überschreiten, während die Parameter zur spektralen Energie (*NHR*, *SPI*) und ein Parameter zu Tremorkomponenten (*FTRI*) im geringeren Ausmaß von den Normwerten abweichen.

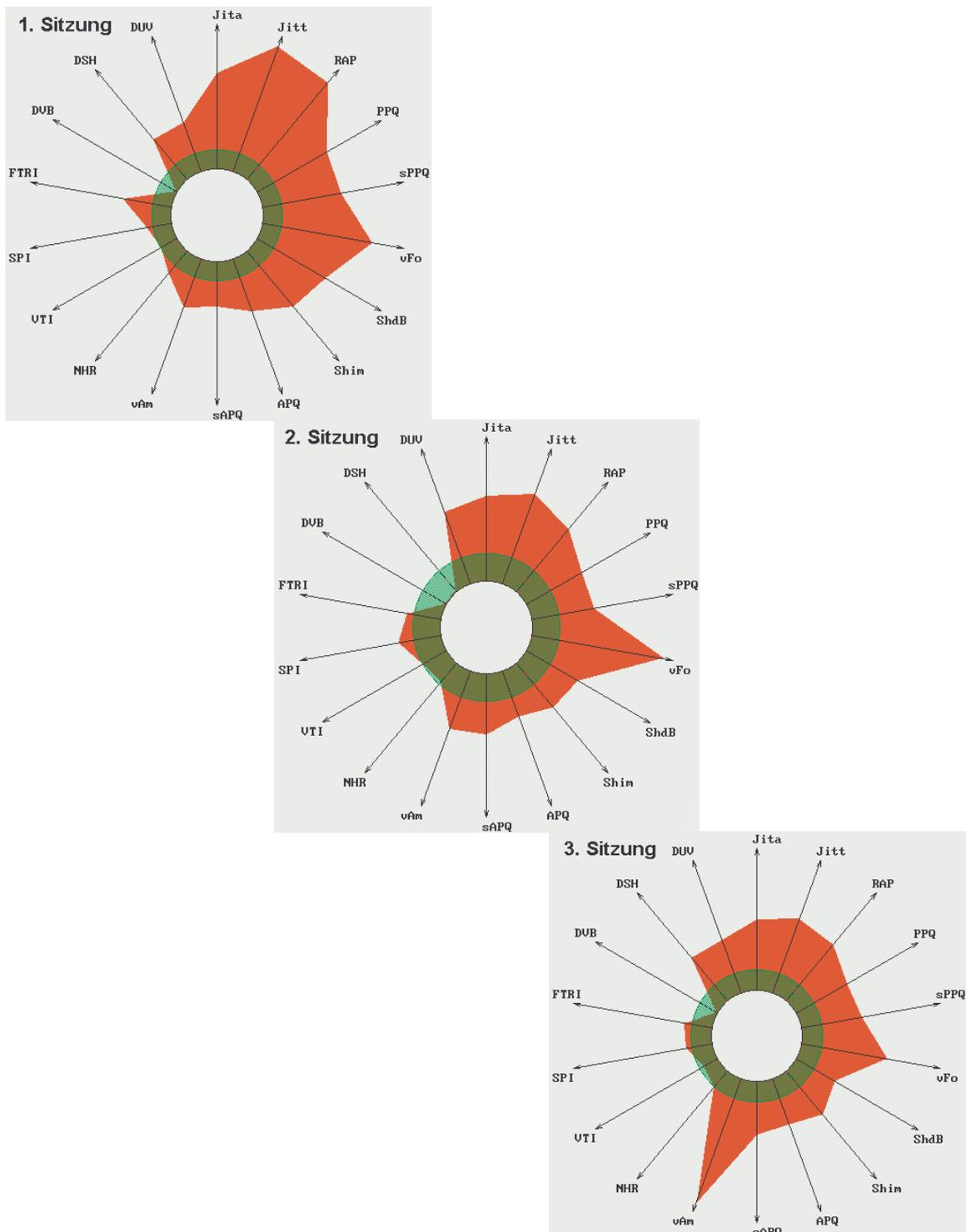


Abbildung 24. Ergebnisse der akustischen Einzelvokalanalyse über drei Sitzungen (2mVPN)

Es ist festzustellen, daß die Mehrzahl der Parameterwerte bei der 1. Sitzung im Vergleich zu den folgenden Sitzungen die größten Abweichungen von den Normwerten aufweisen (s. Tabelle 20). Eine minimale Verbesserung der Werte in der 2. und 3. Sitzung macht sich vor allem bei Parametern zur Frequenz- (*Jita*, *Jitt*, *RAP*, *PPQ*, *sPPQ*, νF_0) bzw. Amplitudenperturbation (*ShdB*, *Shim*, *APQ*) und jeweils einem Parameter zur spektralen Energie (*NHR*), zu Tremorkomponenten (*FTRI*) und zu subharmonischen Komponenten (*DSH*) bemerkbar (s. Abbildung 24). Trotz dieser Entwicklung bleibt festzuhalten, daß besonders im Bereich der Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation relativ große Abweichungen von den Normwerten auch in den letzten beiden Sitzungen bestehen bleiben. Die letzte Sitzung zeigt im Vergleich mit der 2. Sitzung allerdings Tendenzen einer Verschlechterung der Werte (s. Tabelle 20). Diese Beobachtung trifft vor allem auf Parameter der Frequenz- (*Jita*, *Jitt*, *RAP*, *PPQ*, *sPPQ*) bzw. Amplitudenperturbation (*Shim*, *APQ*, *sAPQ*, νAm), Tremorkomponenten (*FTRI*) und subharmonischen Komponenten (*DSH*) zu. Eine kontinuierliche Verbesserung der Werte läßt einzig der Parameter νF_0 erkennen, obwohl die Parameterwerte während der drei Sitzungen ihren Normwert überschreiten (s. Tabelle 20). Im Vergleich mit den Normwerten unterschreiten die Parameter *NHR* und *DSH* nur während der 2. Sitzung ihre jeweiligen Normwerte. Alle anderen Parameterwerte zeigen im unterschiedlichen Ausmaß Abweichungen von den Normwerten (s. Tabelle 20). Die auditive Beurteilung ergibt: 1. Sitzung = R2 B2 H2; 2. Sitzung = R2 B1 H2; 3. Sitzung = R2 B0 H2. Diese Bewertung zeigt nur, daß die Stärke der Behauchtheit im Laufe der Sitzungen abnimmt. Am wahrgenommenen Heiserkeitsgrad ändert dies jedoch nichts.

In Tabelle 21 sind die Ergebnisse zur *elektroglottographischen Einzelvokalanalyse* zusammengefaßt, die von den Mittelwerten mit Standardabweichung (sd) für männliche Normalstimmen abweichen.

Tabelle 21. Ergebnisse der EGG-Einzelvokalanalyse ([a:]) von 2mVPN über drei Sitzungen im Vergleich zu Mittelwerten (sd) für männliche Normalstimmen (fett = Wert im Streuungsbereich ± 1 sd)

EGG-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Mittelwerte (sd) Normalstimme
<i>Avg. Jitter (%)</i>	7,51	7,61	1,32	0,6 (0,65)
<i>Mean CQ (%)</i>	37,99	43,29	45,35	44,79 (4,0)
<i>Range CQ (%)</i>	37,78	64,71	22,81	16,76 (10,39)
<i>Min. CQ (%)</i>	22,80	9,42	41,16	32,21 (10,68)
<i>Max. CQ (%)</i>	60,58	74,13	63,97	48,99 (5,64)
<i>SD CQ (%)</i>	5,80	6,71	3,09	1,93 (1,0)
<i>Mean Skew (%)</i>	44,66	176,96	92,95	37,79 (13,74)
<i>Range Skew (%)</i>	241,78	478,80	490,02	29,95 (33,56)
<i>Min. Skew (%)</i>	6,25	26,86	32,56	28,24 (9,08)
<i>Max. Skew (%)</i>	248,03	505,66	522,58	58,19 (35,82)
<i>SD Skew (%)</i>	33,35	102,47	74,23	5,16 (5,97)
<i>Perifac</i>	2,46	1,34	1,92	3,09 (0,9)

Die Ergebnisse der 1. Sitzung veranschaulichen, daß die Parameter zur Frequenzperturbation (*Avg. Jitter*), zum Kontakt- (*Mean CQ*, *Range CQ*, *Max. CQ*, *SD CQ*) und Skewingquotienten (*Range Skew*, *Min. Skew*, *Max. Skew*, *SD Skew*) außerhalb des zugrundegelegten Streuungsbereichs liegen (s. Tabelle 21). Der Vergleich der 1. mit der 3. Sitzung zeigt einerseits eine Verbesserung der stimmlichen Eigenschaften, die vor allem im Bereich der Frequenzperturbation und des Kontaktquotienten zu beobachten ist. Im folgenden wird dieser Entwicklungsverlauf genauer beschrieben. Am Beispiel des Kontaktquotientparameters *Mean CQ* in Abbildung 25 wird die Verbesserung der Werte in den Bereich der Normalstimmen gezeigt. In der 1. Sitzung liegt der Wert noch knapp außerhalb des Streuungsbereichs, während er sich schon ab der 2. Sitzung im Streuungsbereich befindet. Dieselbe Tendenz ist auch beim Skewingquotientparameter *Min. Skew* zu erkennen. Eine Verbesserung zeigt sich ebenfalls hinsichtlich des Kontaktquotientparameters *Range CQ*, der im Vergleich zu den anderen beiden Parameterwerten erst ab der 3. Sitzung im Normbereich liegt (s. Tabelle 21). Eine Verbesserung der Stimm-

leistung mit Annäherung an den zugrundegelegten Streuungsbereich ab der 3. Sitzung lässt sich mit Hilfe des Frequenzperturbationsparameters *Avg. Jitter* feststellen (s. Abbildung 25). Beim Kontaktquotientparameter *SD CQ* ist derselbe Entwicklungsverlauf zu erkennen (s. Tabelle 21).

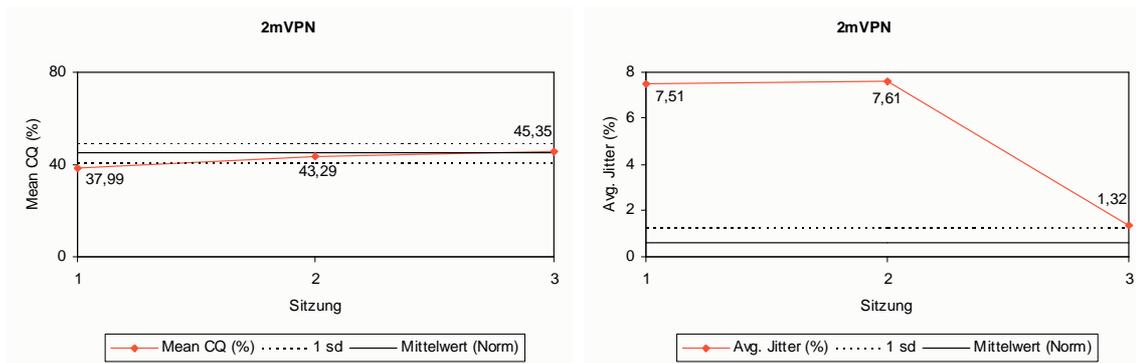


Abbildung 25. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (2mVPN): Mean CQ und Avg. Jitter (EGG)

Nur der Kontaktquotientparameter *Min. CQ* befindet sich während der 1. und 3. Sitzung innerhalb des vorgegebenen Streuungsbereichs (s. Abbildung 26).

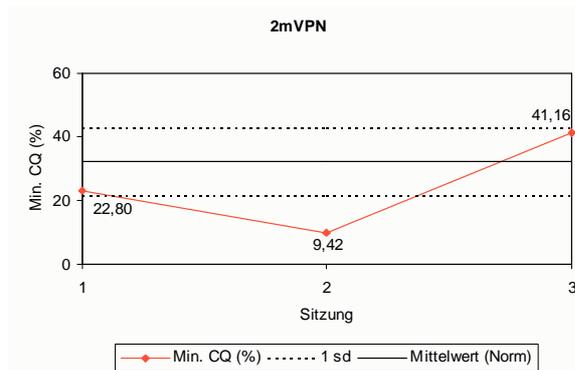


Abbildung 26. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (2mVPN): Min. CQ (EGG)

Andererseits ist beim Vergleich der 1. mit der 3. Sitzung aber auch eine Verschlechterung der stimmlichen Eigenschaften zu erkennen, die sich besonders im Bereich des Skewingquotienten und des Periodizitätsfaktors bemerkbar macht. Im folgenden wird auf

diese Beobachtung genauer eingegangen. In Abbildung 27 wird exemplarisch anhand des Skewingquotientparameters *Range Skew* die Verschlechterung der Werte gezeigt, die auch beim Skewingquotientparameter *Max. Skew* und bei einem Kontaktquotientparameter *Max. CQ* festzustellen ist (s. Tabelle 21). Am Beispiel des Periodizitätsfaktors *Perifac* in Abbildung 27 ist ebenfalls eine Verschlechterung zu erkennen. Der Wert befindet sich in der 1. Sitzung noch im Bereich der Normalstimmen, während er schon ab der 2. Sitzung außerhalb dieses Bereichs liegt. Es läßt sich dennoch ab der 3. Sitzung eine Bewegung in Richtung Normalstimmen erkennen. Dieselbe Tendenz zeigt der Skewingquotientparameter *Mean Skew* (s. Tabelle 21). Der Skewingquotientparameter *SD Skew* liegt zwar schon während der 1. Sitzung außerhalb des Streuungsbereichs, er zeigt ansonsten aber einen ähnlichen Bewegungsverlauf wie die Parameter *Perifac* und *Mean Skew* (s. Tabelle 21).

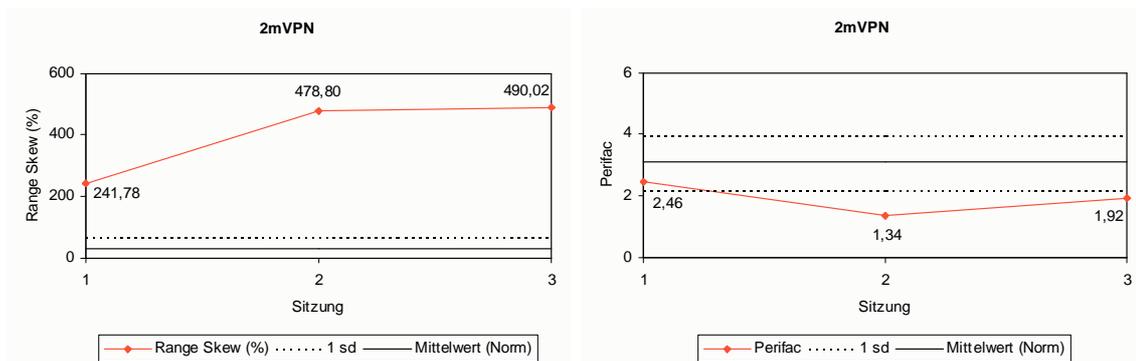


Abbildung 27. Entwicklungsverlauf über drei Sitzungen (2mVPN): Range Skew und Perifac (EGG)

Eine weitere wichtige Beobachtung ist eine Verschlechterung der Parameterwerte während der 2. Sitzung. Die Entwicklung ist in allen Parametergruppen zu finden, betrifft aber nicht alle Parameter. Diese Entwicklung ist am Beispiel der Parameter *Min. CQ* und *Perifac* zu verfolgen (s. auch Abbildung 26). Zusätzlich trifft diese Beobachtung auf Parameter im Bereich des Kontakt- (*Range CQ*, *Max. CQ*, *SD CQ*) und Skewingquotienten (*Mean Skew*, *SD Skew*) zu (s. Tabelle 21).

Zusammenfassung der Ergebnisse von 2mVPN

Die Ergebnisse der instrumentellen Analysen zeigen unterschiedliche Veränderungen während der drei Sitzungen, die keine klare Differenzierung erkennen lassen. In Verbindung mit dem MDVP sind in der 1. Sitzung die stärksten Abweichungen von den Normwerten zu beobachten, wobei die Verbesserung der Parameterwerte in den letzten beiden Sitzungen eher als minimal bezeichnet werden kann. Sie zeigt sich im Bereich der Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation, der spektralen Energie, der Tremorkomponenten und der subharmonischen Komponenten. Der Vergleich der 2. mit der 3. Sitzung zeigt hingegen wieder eine minimale Verschlechterung anhand der Parameter zur Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation, zu Tremorkomponenten und zu subharmonischen Komponenten. Festzuhalten ist, daß die Parameterwerte während der Sitzungen im unterschiedlichen Ausmaß größere Abweichungen von den Normwerten aufweisen, die sich besonders im Bereich der Frequenz- und Amplitudenperturbation bemerkbar machen. Auditiv kann zwar eine Verringerung der Behauchtheit festgestellt werden, dennoch ändert sich der Heiserkeitsgrad im Verlauf der Sitzungen nicht. Hinsichtlich des EGG lassen sich Tendenzen einer Verbesserung vor allem im Bereich der Frequenzperturbation und des Kontaktquotienten ausmachen. Die festgestellte Verschlechterung zeigt sich dagegen vor allem im Bereich des Skewingquotienten und des Periodizitätsfaktors. Auffällig ist die Verschlechterung einiger Parameter während der 2. Sitzung, die bei vergleichbaren MDVP-Parametern nicht beobachtet wurde. Anders als beim MDVP fallen beim EGG in der letzten Sitzung einige wenige Parameter in den Bereich der Normalstimmen oder lassen eine Annäherung erkennen.

4.1.3. Experiment IIB: Relative statistische Evaluierung der Einzelvokalergebnisse

Es folgt eine relative statistische Evaluierung der Einzelvokalergebnisse. Es wird ermittelt, ob die bei der Einzelvokalanalyse festgestellten Tendenzen statistisch bestätigt werden können. Trotz kleiner Datenbasis (drei Vokale [a:, i:, u:] pro Sitzung) interessiert dennoch, ob und durch welche akustischen und elektrolottographischen Parameter sich die drei Sitzungen signifikant voneinander unterscheiden. Für die instrumentellen Ergebnisse werden die bei Pützer (2001) angeführten Parametermittelwerte mit Standardabweichung (sd) zu jeweils 150 weiblichen und männlichen Normalstimmen zum Vergleich herangezogen. Die Parameterwerte, die weniger als ± 1 sd vom ermittelten Mittelwert zu den Normalstimmen abweichen, werden als gesund, d. h. als nicht pathologisch, betrachtet. Die Darstellung der Ergebnisse berücksichtigt von den für die Analysen

verwendeten MDVP- bzw. EGG-Parametern nur diejenigen, mit denen eine signifikante Unterscheidung der Sitzungen möglich ist.

4.1.3.1. Ergebnisse der ersten Fallstudie: 1wVPN

In Tabelle 22 werden die Ergebnisse der statistischen Evaluierung angegeben. Im Anhang D befinden sich die Mittelwerte im Vergleich zu weiblichen Normalstimmen.

Tabelle 22. Unterscheidung der Sitzungen anhand signifikanter EGG-Parameter bei 1wVPN (1 = 1. Sitzung; 2 = 2. Sitzung; 3 = 3. Sitzung; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

EGG-Parametergruppen	Sitzungen	
	1-3	1-2,3
Skewingquotient	<i>Min. Skew</i> *	<i>SD Skew</i> **
Periodizitätsfaktor	<i>Perifac</i> *	

Nur die elektrolottographischen Parameter des Skewingquotienten (*Min. Skew*, *SD Skew*) und des Periodizitätsfaktors (*Perifac*) führen zu einer signifikanten Unterscheidung der Sitzungen. Der Post-Hoc-Test (Scheffé) ergibt, daß die Parameter *Min. Skew* und *Perifac* die 1. Sitzung signifikant von der 3. Sitzung unterscheiden. Der Parameter *SD Skew* unterscheidet dagegen die 1. Sitzung hoch signifikant von der 2. und 3. Sitzung. Der Mittelwert von *Min. Skew* befindet sich in der 3. Sitzung im Bereich der Normalstimmen. Die Mittelwerte von *SD Skew* und *Perifac* zeigen eine klare Annäherung an Normalstimmen im Verlauf der Sitzungen. Somit kann die bereits bei der elektrolottographischen Einzelvokalanalyse beobachtete Tendenz der stimmlichen Verbesserung auch statistisch belegt werden. Der Periodizitätsfaktor *Perifac* bestätigt seinen in der Einzelvokalanalyse bereits beobachteten Verlauf.

4.1.3.2. Ergebnisse der zweiten Fallstudie: 2wVPN

Tabelle 23 faßt die Ergebnisse der statistischen Untersuchung zusammen. Es gibt sowohl akustische als auch elektrolottographische Parameter, mit deren Hilfe die Sitzungen signifikant unterschieden werden können. Die Mittelwerte sind im Vergleich zu weiblichen Normalstimmen im Anhang D angegeben.

Tabelle 23. Unterscheidung der Sitzungen anhand signifikanter MDVP- und EGG-Parameter bei 2wVPN (1 = 1. Sitzung; 2 = 2. Sitzung; 3 = 3. Sitzung; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

MDVP-Parametergruppen	Sitzungen		
	1-2	1-2,3	1,3-2
Frequenzperturbation		<i>Jitt</i> *** <i>RAP</i> *** <i>PPQ</i> *** <i>sPPQ</i> *** <i>vF₀</i> **	
Amplitudenperturbation		<i>ShdB</i> *** <i>Shim</i> *** <i>APQ</i> ** <i>sAPQ</i> *** <i>vAm</i> *	
Spektrale Energie		<i>NHR</i> **	
Tremorkomponenten		<i>FATR</i> *	
Aphonische Komponenten		<i>DUV</i> ***	
EGG-Parametergruppen			
Kontaktquotient	<i>SD CQ</i> *	<i>Max. CQ</i> ***	<i>Mean CQ</i> ***
Skewingquotient		<i>Mean Skew</i> **	
Periodizitätsfaktor		<i>Perifac</i> ***	

Hinsichtlich der *akustischen Analyse* lassen sich die Sitzungen mit insgesamt 13 Parametern signifikant unterscheiden. Der Post-Hoc-Test (Scheffé) zeigt, daß die Parameter zur Frequenz- (*Jitt*, *RAP*, *PPQ*, *sPPQ*, νF_0) und Amplitudenperturbation (*ShdB*, *Shim*, *APQ*, *sAPQ*, νAm) bzw. jeweils ein Parameter zur spektralen Energie (*NHR*), zu Tremorkomponenten (*FATR*) und zu aphonischen Komponenten (*DUV*) alle die 1. Sitzung überwiegend höchst signifikant von der 2. und 3. Sitzung unterscheiden. Wie schon bei der Einzelvokalanalyse beobachtet, zeigen die Mittelwerte der Frequenzperturbationsparameter eine Verbesserung in den Normbereich bei der 2. Sitzung, während sie sich ab der 3. Sitzung wieder davon wegbewegen (außer νF_0). Die Mittelwerte aller anderen Parameter befinden sich entweder ab der 2. oder 3. Sitzung im Bereich der Normalstimmen.

In Zusammenhang mit der *elektroglottographischen Analyse* können unter Berücksichtigung von insgesamt fünf Parametern die Sitzungen signifikant unterschieden werden. Die Parameter *Max. CQ*, *Mean Skew* und *Perifac* differenzieren die 1. Sitzung überwiegend höchst signifikant von der 2. und 3. Sitzung. Die Mittelwerte deuten auf eine Stimmverbesserung hin, indem sie sich im Laufe der Sitzungen innerhalb des vorgegebenen Streuungsbereichs befinden oder sich diesem annähern. Der Parameter *Mean CQ* unterscheidet die 1. und 3. Sitzung höchst signifikant von der 2. Sitzung, wobei nur der Mittelwert der 2. Sitzung knapp außerhalb des Streuungsbereichs liegt. Der Parameter *SD CQ* differenziert die 1. Sitzung signifikant von der 2. Sitzung. Ab der 2. Sitzung befindet sich der Mittelwert im Streuungsbereich.

Hiermit können die bereits in den instrumentellen Einzelvokalanalysen festgestellten Tendenzen der Stimmverbesserung auch statistisch belegt werden.

4.1.3.3. Ergebnisse der dritten Fallstudie: 1mVPN

In Tabelle 24 sind die Ergebnisse der statistischen Evaluierung aufgelistet. Sowohl anhand akustischer als auch elektroglottographischer Parameter können die Sitzungen signifikant unterschieden werden. Die Mittelwerte sind im Vergleich zu männlichen Normalstimmen im Anhang D angeführt.

Tabelle 24. Unterscheidung der Sitzungen anhand signifikanter MDVP- und EGG-Parameter bei 1mVPN (1 = 1. Sitzung; 2 = 2. Sitzung; 3 = 3. Sitzung; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$)

MDVP-Parametergruppen	Sitzungen	
	1-3	1-2,3
Amplitudenperturbation	vAm^*	
EKG-Parametergruppen		
Kontaktquotient	$Range CQ^*$	$Mean CQ^*$ $Max. CQ^{**}$

Der Parameter vAm ist der einzige akustische Parameter, der zu einer signifikanten Unterscheidung der drei Sitzungen führt. Nach Durchführung des Post-Hoc-Tests (Scheffé) stellt sich heraus, daß er die 1. Sitzung signifikant von der 3. Sitzung unterscheidet. Die Mittelwerte lassen eine Verschlechterung der stimmlichen Eigenschaften erkennen. Dieses Ergebnis unterstützt damit statistisch die bereits in *Experiment IIA* beschriebene Tendenz.

Nur die elektrolottographischen Parameter des Kontaktquotienten ($Mean CQ$, $Range CQ$, $Max. CQ$) führen zu einer signifikanten Unterscheidung der Sitzungen. Der Post-Hoc-Test (Scheffé) zeigt, daß $Mean CQ$ die 1. Sitzung signifikant von der 2. und 3. Sitzung, $Max. CQ$ die 1. Sitzung hoch signifikant von der 2. und 3. Sitzung und $Range CQ$ die 1. von der 3. Sitzung signifikant unterscheidet. Die Mittelwerte von $Mean CQ$ liegen in der 1. Sitzung nur knapp außerhalb des Streubereichs, während sie sich in den letzten beiden Sitzungen innerhalb des Normbereichs befinden. Der Mittelwert des Parameters $Max. CQ$ unterschreitet in der 1. Sitzung knapp den Normbereich, während die Werte der 2. und 3. Sitzung ihn knapp überschreiten. Der Mittelwert von $Range CQ$ liegt während der 1. Sitzung im Bereich der Normalstimmen, während sich der Wert der 3. Sitzung außerhalb befindet und eine Verschlechterung signalisiert. Diese Ergebnisse unterstützen statistisch weitestgehend die bereits in *Experiment IIA* beobachteten Tendenzen dieser Parameter.

4.1.3.4. *Ergebnisse der vierten Fallstudie: 2mVPN*

Die statistische Untersuchung ergibt, daß sich die drei Sitzungen weder mit akustischen noch mit elektrolottographischen Parametern signifikant unterscheiden lassen.

4.2. *Interpretation der Ergebnisse*

4.2.1. *Experiment I: Pilotstudie*

Die Ergebnisse der *akustischen Analyse* verdeutlichen, daß es für eine signifikante Unterscheidung der drei Sprecherinnengruppen keine Evidenz gibt. Zwischen gesunden Sprecherinnen und Sprecherinnen mit kompensierter einseitiger Rekurrensparese wird nicht unterschieden. Das bedeutet, daß Kompensation bei den berücksichtigten Sprecherinnen zu einer Adduktionsstellung und zu Schwingungsmustern der Stimmlippen führt, die mit gesunden Sprecherinnen vergleichbar sind. Die Parameter der Frequenz- (*Jita*, *Jitt*, *sPPQ*) bzw. Amplitudenperturbation (*ShdB*, *Shim*) und der spektralen Energie (*NHR*) ermöglichen wie erwartet eine signifikante Differenzierung zwischen gesunder und pathologischer Phonation: Die hohen Mittelwerte der Frequenz- und Amplitudenperturbationsparameter (s. Anhang C) weisen bei den Sprecherinnen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese auf eine pathologische Irregularität der Periodendauer bzw. der Amplitude zwischen aufeinanderfolgenden glottalen Schwingungsperioden hin. Irregularitäten von Periode zu Periode sind verbunden mit dem Unvermögen der Stimmlippen, ein periodisches Schwingungsmuster zu erzeugen. Ein weiterer Hinweis auf die pathologische Phonation dieser Sprecherinnen ist der Parameter *NHR*, der auf Geräuschkomponenten im Stimmsignal hinweist. Aufgrund eines nicht aktivierten Kompensationsmechanismus bleibt während der Phonation ein Spalt in der Glottis, durch den ein permanenter Luftstrom entweicht. *NHR* hängt laut MDVP-Manual (1993) auch eng mit Frequenz- und Amplitudenperturbation zusammen. Diese Ergebnisse unterstützen demnach die von Klingholz (1991: 79) gemachte Aussage, daß "der Jitter aber neben Shimmer und additivem Rauschen ein wesentliches Korrelat der Heiserkeit ist". Mit dem Parameter *VTI* findet sich ein weiteres Indiz für Geräuschkomponenten im spektralen Bereich. Auch er läßt Rückschlüsse auf einen permanenten Luftstrom während der Phonation bei nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese zu. Der Unterschied zu

einer kompensierten einseitigen Rekurrensparese verdeutlicht, daß durch eine phonatorische Kompensation ein Verschluß mit der gelähmten Stimmlippe möglich ist, der den Luftstrom innerhalb eines Schwingungszyklus unterbricht.

Die Ergebnisse der *elektroglottographischen Analyse* zeigen, daß der Periodizitätsfaktor das einzige Indiz einer höchst signifikanten Differenzierung zwischen den drei Sprecherinnengruppen ist. Der hohe Mittelwert der gesunden Sprecherinnen (s. Anhang C) weist auf ein hohes Maß an Periodizität im Stimmsignal hin, während die jeweils niedrigeren Mittelwerte der beiden pathologischen Gruppen auf ein geringer werdendes Maß an Periodizität hindeuten. Die geringere Periodizität ist auf Unregelmäßigkeiten der Stimmlippenschwingungen, Geräuschkomponenten und fehlende harmonische Komponenten zurückzuführen. Zwischen gesunder und pathologischer Phonation wird erwartungsgemäß durch Parameter der Frequenzperturbation (*Avg. Jitter*), des Kontaktquotienten (*Range CQ, Max. CQ, SD CQ*) und des Skewingquotienten (*Mean Skew, Range Skew, Max. Skew, SD Skew*) unterschieden: Der Parameter *Avg. Jitter* weist bei den Sprecherinnen der 3. Gruppe große Unregelmäßigkeiten der Dauer von Periode zu Periode nach (s. Mittelwerte im Anhang C). Die hohen Mittelwerte der Kontaktquotientparameter sind ein weiterer Hinweis der hohen Instabilität des phonatorischen Vorgangs. Aufgrund der Pathophysiologie der nicht-kompensierten einseitigen Rekurrensparese ist während der Phonation ein Stimmlippenverschluß erschwert. Alle Mittelwerte der signifikanten Skewingparameter sind für die Sprecherinnen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese besonders hoch. Die EGG-Kurven dieser Sprecherinnen sind demnach besonders flach und sinusartig, was wiederum in Zusammenhang mit der schwachen Anregung steht.

4.2.2. Experiment IIA und B

4.2.2.1. Erste Fallstudie: 1wVPN

Die akustischen Ergebnisse der Einzelvokalanalyse führen vorwiegend zu einer Differenzierung der 1. von der 3. Sitzung. Dagegen kommt es in Verbindung mit den elektroglottographischen Ergebnissen der Einzelvokalanalyse sogar zu einer klareren Abgrenzung der 1. Sitzung von der 2. und 3. Sitzung. Die Ergebnisse der instrumentellen Analysen zeigen im Vergleich mit zugrundegelegten Normwerten im Laufe der Sitzungen

eine deutliche Verbesserung der stimmlichen Leistungsfähigkeit, die sich anhand weniger EGG-Parameter sogar statistisch belegen läßt. Unter Berücksichtigung der phoniatischen Diagnosen kann somit instrumentell zwischen nicht-kompensierter und kompensierter einseitiger Rekurrensparese unterschieden werden.

Es werden nun die Auswirkungen der pathophysiologischen Verhältnisse auf die akustischen und elektroglottographischen Parametergruppen besprochen.

Eine signifikante Differenzierung der Sitzungen anhand akustischer Parameter ist nicht nachzuweisen. Dennoch zeigen die Ergebnisse der *akustischen Einzelvokalanalyse* eine tendenzielle Verbesserung der Phonation mit Annäherung an Normalstimmen, die teilweise mit ihr zu vergleichen ist. Diese Entwicklung macht sich vor allem im Vergleich der 1. mit der 3. Sitzung bemerkbar: Die Verbesserung der phonatorischen Gegebenheiten ist besonders in Zusammenhang mit einigen Parametern zur Frequenzperturbation (*Jitt*, *RAP*, *PPQ*) und einem Parameter zu subharmonischen Komponenten (*DSH*) zu beobachten. Gerade die Frequenzperturbationsparameter deuten eine wiederkehrende Stabilität der glottalen Schwingungsperioden im Kurzzeitbereich an. Die Werte des Parameters *DSH* sind hingegen ein Indiz für das Verschwinden subharmonischer Komponenten im Stimmsignal. Das bedeutet, daß Kompensation bei dieser Sprecherin zu einer Adduktionsstellung und zu Stimmlippenschwingungsmustern führt, die eine überwiegend starke Annäherung an eine stimmgesunde Kontrollgruppe für sich beanspruchen können.

Dennoch bleiben Hinweise einer leichten phonatorischen Instabilität bestehen. In der 3. Sitzung sind größere Abweichungen von den Normwerten hinsichtlich eines Parameters zur spektralen Energie (*SPI*) zu beobachten und eher geringere Abweichungen im Bereich der Frequenz- (νF_0) bzw. Amplitudenperturbation (*sAPQ*, νAm). Beim Vergleich mit der entsprechenden Diagnose bleibt trotz Kompensation mit gutem Glottisschluß ein leichter Restspalt bestehen. Die Werte des Parameters *SPI* sind diesbezüglich ein Indiz für eine vorhandene schwächere Anregung. Die Parameterwerte der Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation sind demzufolge ein Hinweis dafür, daß der durch diesen Restspalt im geringeren Maß noch fließende unmodulierte Luftstrom während der Phonation noch zu einer leichten Instabilität der glottalen Schwingungsperioden im Langzeitbereich führt.

Die bei der 2. Sitzung festgestellte minimale Verschlechterung einiger akustischer Parameterwerte scheint im Widerspruch mit der entsprechenden Diagnose einer guten Kompensation zu stehen. Im Rahmen der elektroglottographischen Analyse kann diese Beobachtung bei vergleichbaren Parametern nicht gemacht werden.

Die bei der akustischen Analyse festgestellte Verbesserung der stimmlichen Eigenschaften kann zudem auditiv bestätigt werden. Die Stimme klingt bereits ab der 2. Sitzung kräftiger, klarer und resonanzreicher, obwohl noch eine leichte Heiserkeit wahrnehmbar ist. Die instrumentell festgestellte minimale Verschlechterung während der 2. Sitzung ist demnach auditiv nicht wahrzunehmen.

Auch die Ergebnisse der *elektroglottographischen Einzelvokalanalyse* spiegeln die Verbesserung der Phonation in Richtung Normalstimmen wider. Es kommt hier allerdings zu einer klareren Abgrenzung der 1. von der 2. und 3. Sitzung: Zwischen nicht-kompensierter und kompensierter Phonation wird vor allem durch Parameter zur Frequenzperturbation (*Avg. Jitter*), zum Kontaktquotienten (*Range CQ*, *SD CQ*) und zum Periodizitätsfaktor (*Perifac*) differenziert. Diese Tendenzen können sogar statistisch zusätzlich durch die Skewingquotientparameter *Min. Skew* bzw. *SD Skew* und den Periodizitätsfaktor *Perifac* nachgewiesen werden.

Anhand des Parameters *Perifac* kann statistisch signifikant belegt werden, daß es zu einer Rückkehr periodischer Schwingungsverhältnisse gekommen ist. Periodizität bedeutet eine gewisse Regelmäßigkeit im glottalen Schwingungsablauf, der durch das EGG zwar nicht für die beiden Stimmlippen getrennt, aber doch relativ und in Bezug zu Daten einer nicht beeinträchtigten Kontrollgruppe belegt werden kann. Der Parameter *Avg. Jitter* bestätigt ebenfalls die Rückkehr regelmäßiger glottaler Schwingungsperioden. Mit Hilfe der Skewingquotientparameter kann statistisch signifikant nachgewiesen werden, daß es im Laufe der Sitzungen zu einer stärker werdenden glottalen Anregung gekommen ist. Dies ist natürlich wiederum auf den verbesserten Glottisschluß während der Phonation durch Kompensation zurückzuführen, der einen besseren subglottalen Druckaufbau ermöglicht. Auch anhand einiger Kontaktquotientparameter kann bei der Einzelvokalanalyse ein größer werdender Kontakt zwischen gelähmter und gesunder Stimmlippe erkannt werden.

Aber auch hier gibt es Hinweise einer vorhandenen leichten Instabilität der Phonation. Besonders in der Einzelvokalanalyse entfernen sich einige Parameter zum Skewingquotienten (*Mean Skew*, *Range Skew*, *Max. Skew*) ab der 3. Sitzung wieder von dem zugrundegelegten Streubereich. Statistisch ist dieser Entwicklungsverlauf der Skewingquotientparameter zwar nicht bestätigt worden, dennoch verläuft die Entwicklung der EGG-Parameter generell nicht so ausgeprägt hin zu Normalstimmen wie bei der akustischen Analyse.

Es bleibt an dieser Stelle festzuhalten, daß der Vergleich der instrumentellen Parameterwerte mit zugrundegelegten Normwerten zum einen die Einordnung der

stimmlichen Entwicklung mit einer nicht beeinträchtigten Kontrollgruppe ermöglicht. Zum anderen unterstreicht er aber auch die über den betrachteten Zeitraum noch leicht vorhandene phonatorische Instabilität. Da aber bekannt ist, daß Frauen generell aufgrund der physiologischen Gegebenheiten eher zu einer schwächeren Anregung tendieren (vgl. Hanson & Chuang, 1999), wäre an dieser Stelle ein Vergleich mit einer präoperativen Aufnahme wünschenswert. Es besteht nämlich die Möglichkeit, daß eine schwächere Anregung für diese Sprecherin in der präoperativen Zeit sprechertypisch war. Zudem ist bei der fast 70jährigen Frau trotz pathophysiologischer Gegebenheit auch von einer zusätzlich altersbedingten schwächeren Anregung auszugehen. Es wäre nun interessant herauszufinden, inwieweit sie mit Hilfe des erlernten und entwickelten Kompensationsmechanismus wieder an ihre ursprüngliche Stimmleistung heranreicht. Da solch eine Aufnahme aber nicht vorliegt, kann diesbezüglich nur spekuliert werden.

Auch wenn sich innerhalb des Aufnahmezeitraums von ca. zweieinhalb Jahren keine Reinnervation bemerkbar machte, ist der instrumentelle Nachweis einer relativ stabilen phonatorischen Kompensation ein zusätzlich wichtiges Indiz für Patientin und Phoniater. Es zeigt, daß die Therapie erfolgreich war und motiviert bei eventueller Weiterführung.

Abschließend ist bei der instrumentellen Analyse noch eine weitere wichtige Beobachtung gemacht worden. Bei der 1. Sitzung können trotz nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese überwiegend moderate Abweichungen der Parameterwerte im Vergleich zu den zugrundegelegten Normwerten festgestellt werden. Durch die in Paramedianstellung stehende gelähmte Stimmlippe einerseits und die individuelle Größe der Glottis andererseits, scheint der unmodulierte, permanente Luftstrom durch den Glottisspalt mäßig zu sein, so daß der phonatorische Vorgang dadurch nicht zu stark beeinträchtigt wird. Diese Beobachtung verdeutlicht, daß eine nicht-kompensierte einseitige Rekurrensparese nicht unbedingt zu einer extremen Stimmstörung führt. Auditiv ist bei der 1. Sitzung nur eine leichte Heiserkeit wahrgenommen worden, wobei die Stimme zusätzlich kraftlos und schwach klang.

4.2.2.2. Zweite Fallstudie: 2wVPN

Die akustischen und elektroglottographischen Ergebnisse der Einzelvokalanalyse bzw. der statistischen Evaluierung führen zu einer klaren Differenzierung der 1. Sitzung von den beiden folgenden Sitzungen. In diesem Fall ist unter Berücksichtigung der phoniatischen Diagnosen mit Hilfe instrumenteller Methoden somit eine Unterscheidung

zwischen nicht-kompensierter und kompensierter einseitiger Rekurrensparese möglich. Die größten Abweichungen von den vorgegebenen Normwerten finden dabei während der 1. Sitzung statt. Dies ist auf die pathophysiologischen Gegebenheiten zurückzuführen. Das klinische Bild zeigt die rechte Stimmlippe in Intermediärstellung leicht exkaviert stillstehend ohne Restbeweglichkeit. Durch eine zu diesem Zeitpunkt fehlende kompensatorische Bewegung der gesunden Stimmlippe, wird ein inkompletter Verschluß mit breiter glottischer Insuffizienz festgestellt. Das resultiert in einen unmodulierten, permanenten Luftstrom während der Phonation, der zu Schwingungsirritationen der gesunden Stimmlippe führt. Dem gegenüber steht das klinische Bild der 2. und 3. Sitzung: Nachdem sich die Sprecherin einer intensiven logopädischen Therapie (3x wöchentlich) unterzogen hat, ist bereits nach einem Monat bei der 2. Sitzung instrumentell eine enorme Verbesserung der stimmlichen Leistungsfähigkeit festzustellen. Obwohl in der dazugehörigen phoniatischen Diagnose nicht explizit eine Kompensation erwähnt wird, darf trotzdem davon ausgegangen werden. Es gibt keinen Hinweis einer Reinnervation, da die gelähmte Stimmlippe unverändert in Intermediärstellung steht. Zudem deutet die in der 1. Sitzung beobachtete leichte Exkavierung eher auf eine bleibende Schädigung hin. Daraus ist zu schließen, daß ohne Kompensation eine solche Stimmverbesserung nicht möglich sein dürfte. Unterstützt wird diese Überlegung durch die in der 3. Sitzung beschriebenen vollkommenden phonatorischen Kompensation mit gutem Glottisschluß. Auch bei dieser Sprecherin führt die Kompensation zu einer Adduktionsstellung, die einen permanent unmodulierten Luftstrom verhindert und ein relativ regelmäßiges Stimmlippenschwingungsmuster ermöglicht.

Im folgenden werden nun die Auswirkungen der pathophysiologischen Schwingungsverhältnisse auf die akustischen und elektroglottographischen Parametergruppen besprochen.

In der 1. Sitzung der *akustischen Einzelvokalanalyse* deuten die hohen Parameterwerte zur Frequenz- (*Jita*, *Jitt*, *RAP*, *PPQ*, *sPPQ*, vF_0) bzw. Amplitudenperturbation (*ShdB*, *Shim*, *APQ*, *sAPQ*, vAm) auf eine stark pathologische Irregularität der Periodendauer und der Amplitude zwischen aufeinanderfolgenden glottalen Schwingungsperioden hin. Für diese Tendenz liegt sogar der statistische Beleg vor, daß die 1. Sitzung überwiegend höchst signifikant mit Hilfe aller Frequenz- bzw. Amplitudenperturbationsparameter von den letzten beiden Sitzungen differenziert werden kann.

Die starke Beeinträchtigung der Stimmlippenschwingungsmuster spiegelt sich in den ebenfalls hohen Werten der Frequenz-Tremorkomponente (*FTRI*), des Stimmunter-

brechungsparameters (*DVB*) und der aphonischen Komponenten (*DUV*) wider. Diese Parameter liefern Hinweise dafür, daß es der Sprecherin aufgrund der pathophysiologischen Verhältnisse unmöglich ist, während eines isoliert gehaltenen Vokals eine durchgängige Stimmhaftigkeit aufrecht zu erhalten. Die statistische Evaluierung bestätigt diese Beobachtung für den Parameter *DUV*, der die 1. Sitzung höchst signifikant von der 2. und 3. Sitzung unterscheidet.

Nur gering von der Norm abweichende Werte zeigen dagegen die Parameter zur spektralen Energie (*NHR*, *VTI*, *SPI*), die aber ebenfalls die pathologische Phonation bestätigen. Die Parameter *NHR* und *VTI* signalisieren Geräuschkomponenten im Stimmsignal, die Rückschlüsse auf einen fehlenden bzw. inkompletten Stimmlippenverschluß während der Phonation zulassen. Diesbezüglich liefert der Parameter *NHR* einen statistischen Beleg für eine hoch signifikante Unterscheidung der 1. Sitzung von den letzten beiden Sitzungen. Der Parameter *SPI* kann als Maß einer eher inkompletten Adduktion angesehen werden und weist auf eine schwache Anregung hin. Die Erkenntnisse dieser 1. Sitzung lassen den Schluß einer stärkeren Stimmstörung zu. Die auditive Beurteilung der Sitzung (R3 B2 H3) bescheinigt eine hochgradige Heiserkeit.

Im Rahmen der 2. Sitzung schlägt sich die enorme Verbesserung der Stimmleistung in den niedrigeren Werten aller akustischer Parameter mit Ausnahme von *SPI* nieder. Das kompensatorische Phonationsverhalten führt innerhalb von nur einem Monat zur Rückkehr einer stabileren Adduktion und regelmäßigeren glottalen Schwingungsperioden.

Als besonders interessant stellt sich die Verschlechterung einiger Parameterwerte während der 3. Sitzung heraus, besonders in Verbindung mit der Frequenzperturbation. Es liegt dafür sogar ein statistischer Beleg vor. Auditiv konnte diese instrumentell ermittelte Verschlechterung allerdings nicht festgestellt werden (2. Sitzung: R0 B1 H1; 3. Sitzung: R0 B1 H1). Dafür wird aber eine deutliche Verbesserung der Stimmleistung während der letzten beiden Sitzungen bestätigt.

Hinsichtlich der 1. Sitzung der *elektroglottographischen Einzelvokalanalyse* finden sich erhöhte Werte in allen Parametergruppen. Die Kontaktquotientparameter drücken diesbezüglich einen inkompletten Stimmlippenverschluß aus, der die diagnostizierte breite glottische Insuffizienz zu bestätigen scheint. Die daraus resultierenden unregelmäßigen Schwankungen zwischen aufeinanderfolgenden Schwingungsperioden zeigen sich anhand des erhöhten Parameterwerts zur Frequenzperturbation (*Avg. Jitter*). Die besonders stark erhöhten Werte der Skewingquotientparameter sind typisch für nicht-kompensierte einseitige Rekurrensparesen bei Frauen (s. Pilotstudie) und Zeichen einer schwachen Anregung. Grund dafür ist der inkomplette Glottisschluß während der

Phonation, der einen subglottalen Druckaufbau erschwert. Im Vergleich zu optimalen EGG-Kurven sind die EGG-Kurven dieser Sprecherin eher flach und sinusartig. Der sehr niedrige Wert des Periodizitätsfaktors *Perifac* ist Indiz eines geringen Maß an Periodizität im Stimmsignal, das auf Irregularitäten der Schwingungsperioden, Geräuschkomponenten und fehlende harmonische Komponenten zurückzuführen ist.

Die 2. und 3. Sitzung zeigt eine kontinuierliche Verbesserung der meisten Parameterwerte. Das kompensatorische Phonationsverhalten ermöglicht einen guten Glottisschluß, wodurch ein subglottaler Druckaufbau wieder möglich ist. Zudem führt die Kompensation zu regelmäßigeren Schwingungsperioden.

Der statistische Beleg für die Differenzierung einer nicht-kompensierten und einer kompensierten Phonation wird in diesem Fall vorwiegend durch einige Parameter des Kontaktquotienten und des Periodizitätsfaktors geliefert.

Die individuelle Verbesserung der Stimmleistung zeigt im Vergleich zu stimmgesunden Kontrollgruppen anhand einiger Parameterwerte eine Einordnung zu normalstimmlicher Phonation. Andere Parameter bestätigen aber auch eine über den betrachteten Zeitraum noch vorhandene phonatorische Instabilität.

Auch bei dieser Sprecherin wäre eine präoperative Aufnahme wünschenswert, um herauszufinden, ob eine schwächere Anregung eventuell sprechertypisch war. Zudem könnte ermittelt werden, inwieweit sie mit Hilfe des durch logopädische Therapie und Eigenleistung aktivierten Kompensationsmechanismus an ihre ursprüngliche Stimmleistung heranreicht. Das Ergebnis zeigt aber, daß sich die logopädische Behandlung positiv ausgewirkt hat. Zum anderen kann der Hinweis einer noch vorhandenen leichten phonatorischen Instabilität genutzt werden, um die therapeutischen Maßnahmen weiterzuführen oder wiederaufzunehmen.

4.2.2.3. Dritte Fallstudie: ImVPN

Die akustische und elektroglossographische Einzelvokalanalyse zeigt die Tendenz einer kontinuierlichen Verschlechterung der stimmlichen Leistungsfähigkeit. Dabei entfernen sich die Parameterwerte im Laufe der Sitzungen immer mehr von den Werten einer stimmgesunden Kontrollgruppe. Einen eindeutigen statistischen Beleg gibt es aufgrund der wenigen signifikanten Parameter nicht direkt. Dennoch bestätigen sie bereits ihre in der Einzelvokalanalyse beobachteten Tendenzen. Die instrumentellen Ergebnisse sind auf

den ersten Blick erstaunlich, da sich bei Betrachtung der phoniatischen Diagnosen keine Änderung des klinischen Bildes zeigt. Es darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, daß dem Sprecher eine idiopathische Rekurrensparese diagnostiziert wurde, d. h. die Ursache für die Lähmung ist unbekannt. Ohne Kenntnis der eigentlichen Ursache ist ein entsprechender therapeutischer Ansatz schwer zu finden. Die Auswirkungen zeigen sich in diesem Fall: Der Sprecher unterzog sich zwar einer logopädischen Therapie, es konnte allerdings kein Kompensationsmechanismus aktiviert werden. Der Aufnahmezeitraum für diesen Sprecher umfaßt insgesamt neun Monate (von Januar bis September 1998). In der letzten Sitzung zeigt das stroboskopische Bild noch immer eine intermediär stillstehende Stimmlippe ohne Restbeweglichkeit. Laut Wirth (1995) bilden sich idiopathische Lähmungen bei zwei Drittel der Fälle innerhalb eines halben Jahres zurück, wobei danach keine Rückbildungen mehr zu erwarten sind. Eine Rückbildung hat in diesem Fall demnach nicht stattgefunden. Laut Wirth (1995) treten bereits nach vier Wochen die ersten irreversiblen Atrophien im M. vocalis auf. Möglicherweise sind die instrumentellen Ergebnisse ein Hinweis einer begonnenen Atrophie, die sich im klinischen Bild aber noch nicht bemerkbar macht. Diese Vermutungen müssen allerdings mit Vorsicht betrachtet werden. Es kann jedoch festgehalten werden, daß das phonatorische System immer schwächer wird.

An dieser Stelle werden die Auswirkungen der pathophysiologischen Verhältnisse auf die akustischen und elektrolottographischen Parameter diskutiert.

In Verbindung mit der *akustischen Einzelvokalanalyse* können die pathophysiologischen Gegebenheiten im Laufe der Sitzungen anhand der Parameter zur Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation, spektralen Energie sowie zu Tremorkomponenten, Stimmunterbrechungen und aphonischen Komponenten nachgewiesen werden. Somit sind fast alle für die Analyse vorgegebenen Parametergruppen betroffen, was wiederum den Schluß einer besonders stark beeinträchtigten Stimme zuläßt. Bestätigung finden sich sowohl in der eigenen auditiven Beurteilung als auch in der phoniatischen Diagnose. Dort wird von starker Verhauchung, aphonischen Unterbrechungen, Dysphonie und Diplophonie gesprochen. All diese Hinweise lassen auf eine sehr heisere Stimme schließen.

Die Abweichungen von den Normwerten machen sich besonders bei allen Parametern der Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation und der aphonischen Komponenten bemerkbar. Sie lassen Rückschlüsse auf eine große phonatorische Instabilität zu, die von Sitzung zu Sitzung größer wird. Aufgrund der pathophysiologischen Gegebenheiten ist es der gesunden Stimmlippe nicht möglich, relativ regelmäßige glottale Schwingungs-

perioden auszuführen. Das führt sogar so weit, daß ein Phonieren teilweise gar nicht mehr möglich ist. Mit dem Amplitudenperturbationsparameter vAm ist statistisch zu belegen, daß die phonatorische Instabilität im Laufe der Sitzungen immer größer wird.

Im Rahmen der *elektroglottographischen Einzelvokalanalyse* zeigen sich die Auswirkungen der pathophysiologischen Gegebenheiten sogar anhand aller vorgegebenen Parameter der Frequenzperturbation, des Kontakt- bzw. Skewingquotienten und des Periodizitätsfaktors. Hiermit wird der beim MDVP bereits beobachtete große Schweregrad der Stimmstörung bestätigt.

Die auffälligsten Abweichungen von den Normwerten zeigen sich dabei im Bereich der Frequenzperturbation, des Skewingquotienten und des Periodizitätsfaktors. Die Veränderung im Bereich der Frequenzperturbation unterstützen die bereits beschriebenen Beobachtungen der akustischen Analyse (s. oben). Die Werte der Skewingquotientparameter spiegeln hier die breite glottische Insuffizienz wider, wodurch es dem Sprecher unmöglich ist, einen subglottalen Druck aufzubauen. Die im Verlauf der Sitzung immer größer werdenden Parameterwerte deuten auf eine immer schwächere Anregung hin. Im Vergleich mit den optimalen EGG-Kurven erscheinen sie in diesem Fall von Sitzung zu Sitzung immer flacher. Die Werte des Parameters *Perifac* sind ein Indiz für die kontinuierliche Verringerung der Periodizität im Stimmsignal. Er weist auf große Irregularitäten des Stimmlippenschwingungsablaufs, ein Ansteigen der Geräuschkomponenten und ein Abnehmen harmonischer Anteile im Stimmsignal hin.

4.2.2.4. Vierte Fallstudie: 2mVPN

Die akustischen und elektroglottographischen Ergebnisse der Einzelvokalanalyse lassen keine klare Differenzierung zwischen den Sitzungen erkennen. Auch die statistische Evaluierung führt zu keiner signifikanten Unterscheidung. In gewisser Weise entspricht dies auch dem klinischen Bild in den phoniatischen Diagnosen. Gerade in den ersten beiden Sitzungen bleibt die Diagnose einer nicht-kompensierten einseitigen Rekurrensparese bestehen. In der letzten Sitzung ist der Lokalbefund zwar unverändert, aber es sind weichere Einschwingungen zu erkennen, die zu einem konstanteren und kompletteren Glottisschluß führen. Dennoch ist gerade die statistische Evaluierung ein Beleg dafür, daß sich die in der 3. Sitzung beginnende Kompensation zu diesem Zeitpunkt noch nicht von den ersten beiden Sitzungen abhebt.

Die Auswirkungen der pathophysiologischen Schwingungsverhältnisse auf die akustischen und elektrolottographischen Parametergruppen werden im folgenden besprochen.

Die *akustische Einzelvokalanalyse* zur 1. Sitzung zeigt im besonderen starke Abweichungen von den Normwerten im Bereich der Frequenz- bzw. Amplitudenperturbation, der subharmonischen und aphonischen Komponenten und eher geringere Abweichungen im Bereich der spektralen Energie und der Tremorkomponenten. Diese Beobachtung läßt auf eine stark beeinträchtigte Stimme schließen, die auch auditiv wahrgenommen werden kann. Gerade die Abweichungen in Verbindung mit den Frequenz- bzw. Amplitudenperturbationsparametern spiegeln das lupenlaryngoskopisch festgestellte unregelmäßige Schwingungsbild der gesunden Stimmlippe wider, die neben dem inkompletten Glottisschluß während der Phonation noch zusätzlich durch den unzureichenden hyperfunktionellen Kompensationsversuch hervorgerufen wird. Sogar die aphonischen Komponenten und die Tremorkomponenten im Stimmsignal sind ein Indiz der großen phonatorischen Instabilität des Stimmlippenschwingungsmusters. Die subharmonischen Komponenten und die Geräuschkomponenten sind jeweils ein Indiz für geringere harmonische Anteile im Stimmsignal. Grund dafür ist der Spalt in der Glottis während der Phonation, durch den permanent unmoduliert Luft entweicht. Gerade hier ist der Parameter *NHR* ein wichtiger Hinweis für Geräuschkomponenten im Stimmsignal, der auch eng mit Frequenz- und Amplitudenperturbation zusammenhängt (s. MDVP-Manual, 1993), obwohl er hier nur geringe Abweichungen von den Normwerten zeigt. Dennoch stellt das additive Rauschen nach Klingholz (1991) neben Jitter und Shimmer ein wesentliches Korrelat der Heiserkeit dar, das durch die auditive Beurteilung der 1. Sitzung auch bestätigt wird. Obwohl die Ergebnisse der 2. und 3. Sitzung die Tendenz einer minimalen Verbesserung gegenüber der 1. Sitzung zeigen, bleibt trotzdem eine große phonatorische Instabilität bestehen. Die zeigt sich auch in den letzten beiden Sitzungen besonders deutlich im Bereich der Frequenz- und Amplitudenperturbation.

In Verbindung mit der *elektrolottographischen Einzelvokalanalyse* lassen die Auswirkungen der pathophysiologischen Verhältnisse auch keine klare Differenzierung der Sitzungen erkennen. Im Vergleich der 1. mit der 3. Sitzung ist zum einen eine tendenzielle Verbesserung der Parameterwerte vor allem im Bereich der Frequenzperturbation und des Kontaktquotienten festzustellen. Gerade der Kontaktquotient unterstützt damit den in der letzten Sitzung beobachteten konstanteren und kompletteren Glottisschluß. Gerade die Parameter *Mean CQ* und *Range CQ* liegen während der 3. Sitzung im Bereich der Normalstimmen, während der Parameter *SD CQ* eine Annäherung erkennen läßt. Der Verlauf des Frequenzperturbationsparameters *Avg. Jitter*

läßt ab der letzten Sitzung eine Annäherung an den Normbereich erkennen. Daraus ist zu schließen, daß durch den besseren Verschluß der unmodulierte Luftstrom geringer ist und regelmäßiger glottale Schwingungsperioden vorhanden sind.

Zum anderen zeigt sich im Vergleich der 1. mit der 3. Sitzung dennoch eine tendenziell größer werdende phonatorische Instabilität besonders im Bereich des Skewingquotienten und des Periodizitätsfaktors *Perifac*. Vor allem die stark von den Normwerten abweichenden Werte der Skewingquotientparameter *Mean Skew*, *Range Skew*, *Max. Skew* und *SD Skew* in der letzten Sitzung sind Hinweise auf eine sehr schwache Anregung, die trotz des besseren Glottisschlusses bestehen bleibt. Der Periodizitätsfaktor *Perifac* bestätigt eine bestehende Irregularität des Stimmlippenschwingungsablaufs und ein Vorhandensein von Geräuschkomponenten im Stimmsignal in der letzten Sitzung. Dieser Parameter läßt aber auch in dieser Sitzung eine Bewegung in Richtung Normalstimmen erkennen, die eine gewisse Rückkehr glottaler Schwingungsverhältnisse im Stimmsignal impliziert.

Des weiteren muß berücksichtigt werden, daß es sich bei diesem Sprecher um einen fast 80jährigen Mann handelt. Neben den Auswirkungen einer diagnostizierten einseitigen Rekurrensparese macht sich bestimmt eine gewisse altersbedingte schwächere Anregung bemerkbar. An dieser Stelle kann nur spekuliert werden, da durch eine fehlende präoperative Aufnahme keine Information über die ursprüngliche Stimmleistung vorliegt. Anhand der instrumentellen Ergebnisse ist eine logopädische Therapie aufgrund der bestehenden großen phonatorischen Instabilität anzuraten oder eventuell weiterzuführen.

5. Zusammenfassende Schlußfolgerung und Ausblick

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, mit Hilfe instrumenteller Analysemethoden, die subjektiven phoniatischen Diagnosen zu bestätigen bzw. zu ergänzen und somit zu objektivieren. Mit anderen Worten: Den phoniatischen Einschätzungen werden die eigenen instrumentellen Einschätzungen gegenübergestellt. Es stellt sich nun die Frage nach einem Zusammenhang bzw. einer konträren Entwicklung hinsichtlich beider Einschätzungen. Zusätzlich muß die Frage nach einer Verifizierung oder Falfizierung der an Beginn der eigenen Untersuchungen aufgestellten Hypothesen aufgegriffen werden.

Im Rahmen der Pilotstudie wird unter Verwendung akustischer und elektroglottographischer Analysen eine signifikante Differenzierung zwischen gesunder und pathologischer Phonation der Sprecherinnengruppen nachgewiesen. Hinsichtlich der phoniatischen Diagnosen sind die instrumentellen Ergebnisse der Pilotstudie als objektive Unterstützung anzusehen. Für eine signifikante Unterscheidung der drei Gruppen durch akustische Parameter gibt es keine Evidenz. Es wird aber eine eindeutige Zweiteilung zwischen gesunden Sprecherinnen bzw. Sprecherinnen mit kompensierter einseitiger Rekurrensparese einerseits und Sprecherinnen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese andererseits festgestellt. Die elektroglottographische Analyse ergibt, daß eine signifikante Differenzierung zwischen den drei Gruppen nur anhand des Periodizitätsfaktors möglich ist. Ansonsten wird hauptsächlich zwischen gesunden Sprecherinnen und Sprecherinnen mit nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese signifikant unterschieden. Die in der Hypothese aufgestellte Vermutung, daß zwischen den drei Sprecherinnengruppen aufgrund ihres unterschiedlichen Phonationsverhaltens instrumentell zu unterscheiden ist, kann mit Ausnahme eines EGG-Parameters nicht bestätigt werden. Allerdings gelingen die beobachteten Gruppenunterscheidungen anhand der in den Hypothesen genannten Parametergruppen.

In Zusammenhang mit den ersten beiden Fallstudien kann die phoniatische Einschätzung einer positiven Stimmentwicklung von einer nicht-kompensierten zu einer kompensierten einseitigen Rekurrensparese instrumentell bestätigt und somit objektiviert werden. Damit läßt sich die Hypothese hinsichtlich der Möglichkeit einer instrumentellen Differenzierung zwischen fehlender und vorhandener Kompensation verifizieren. Ein zusätzlicher Vergleich mit normativen Grenzwerten (im MDVP sogar integriert) zeigt, daß durch den aktivierten Kompensationsmechanismus eine Stimmleistung möglich ist,

die eine Annäherung an eine stimmgesunde Kontrollgruppe zuläßt und teilweise auch mit ihr zu vergleichen ist.

Die instrumentellen (und auch auditiven) Ergebnisse der dritten Fallstudie lassen im Vergleich zu den phoniatischen Diagnosen dagegen eine eher konträre Entwicklung erkennen. Während das klinische Bild im Laufe der Sitzungen gleich bleibt, wird instrumentell und auditiv eine kontinuierliche Verschlechterung der stimmlichen Leistungsfähigkeit des Sprechers festgestellt. Insofern können die instrumentellen Untersuchungen als nützliche Ergänzung der phoniatischen Diagnosen angesehen werden. Die Dringlichkeit weiterer neurologischer Untersuchungen wegen ungeklärter Ätiologie in diesem Fall ist ersichtlich. Einzig beim Eindruck einer stark beeinträchtigten Stimme kann eine Übereinstimmung beider Einschätzungen erfolgen.

Hinsichtlich der vierten Fallstudie ist keine klare Differenzierung zu erkennen. Das klinische Bild ist während der Sitzungen relativ ähnlich, allerdings ist in der letzten Sitzung ansatzweise eine phonatorische Kompensation zu erkennen. Die akustische Analyse zeigt überwiegend nur minimale Veränderungen, während bei der elektroglossographischen Analyse sowohl positive als auch negative Entwicklungstendenzen zu erkennen sind. Statistisch ist keine Unterscheidung zwischen den Sitzungen möglich. Die phoniatischen Diagnosen lassen sich in diesem Fall nicht eindeutig bestätigen. Trotzdem kann der Zustand einer beeinträchtigten Stimme instrumentell (und auditiv) nachgewiesen werden, was für den Phoniater bei der weiteren Behandlung von Interesse sein kann.

Zusätzlich wird im Rahmen der vier Fallstudien gezeigt, daß sich der Schweregrad der Stimmstörung in den instrumentellen Parametergruppen widerspiegelt. Die diesbezüglich in der Hypothese aufgestellte Vermutung findet darin ihre Bestätigung. Allerdings können dem Krankheitsbild der einseitigen Rekurrensparese keine bestimmten Parametergruppen zugeordnet werden. Es ist dennoch auffällig, daß sich die pathophysiologischen Verhältnisse bei der akustischen Analyse besonders deutlich anhand der Frequenz- und Amplitudenparameter und bei der elektroglossographischen Analyse sogar bei allen vorgegebenen Parametergruppen zeigen. Bei jedem Sprecher sind die Auswirkungen jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. Es ist aber festzuhalten, daß eine stark beeinträchtigte Phonation durch die Werte fast aller in den einzelnen Analysegruppen vorhandenen Parameter nachzuweisen ist.

An dieser Stelle sei noch anzumerken, daß sich die Beobachtungen der Pilotstudie und der ersten beiden Fallstudien mit den Tendenzen von Untersuchungen, die auf größeren Datenmengen basieren decken (vgl. Koreman, Pützer & Just, 1999; Pützer & Marasek, 2000).

Somit kann anhand der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, daß akustische und elektroglossographische Parameter zur objektiven Dokumentation von Krankheits- bzw. Therapieverläufen herangezogen werden können. Die instrumentelle Stimmanalyse dient dabei aber lediglich der Unterstützung bzw. Ergänzung phoniatischer Diagnosen. Sie kann und soll die phoniatische Untersuchung nicht ersetzen. Eine ganzheitliche Untersuchungsmethode, die subjektive und objektive Schritte bei der Diagnosestellung und Bewertung von therapeutischen Ansätzen beinhaltet, ist aber erstrebenswert.

Als Ausblick für zukünftige Untersuchungen ist folgendes festzuhalten:

Die Vielzahl instrumenteller Parameter hat die Lektüre der vorliegenden Arbeit sicherlich erschwert. Von daher ist die Reduzierung von Parametern bei multidimensionalen Analyseprogrammen zur besseren Übersicht bzw. Handhabung in Klinik und Forschung wünschenswert. Zudem haben sich beim MDVP vereinzelt Entwicklungen gezeigt, die bei vergleichbaren Parametern des EGG nicht erkennbar waren und umgekehrt. Deshalb wäre eine Überprüfung der Aussagekraft beider Programme von Bedeutung, die im Rahmen dieser Arbeit nicht durchzuführen war. Zudem wären beim EGG integrierte normative Grenzwerte zum direkten Vergleich mit den Patientendaten von Vorteil.

Obwohl in der Saarbrücker Stimmdatenbank vereinzelt präoperative Aufnahmen vorliegen, wäre in Zukunft ein größerer Umfang solcher Aufnahmen wünschenswert. So könnte der Erfolg einer logopädischen oder operativen Behandlung noch besser eingeschätzt werden. In diesem Zusammenhang könnten instrumentelle Methoden zusätzlich genutzt werden, um unterschiedliche Therapieansätze (logopädisch und operativ) zu evaluieren.

Als Weiterführung dieser Arbeit wäre zusätzlich durch ein kontrolliertes Perzeptionsexperiment eine auditive Evaluierung der phoniatischen und instrumentellen Ergebnisse anzustreben.

Literatur

- Arndt, H. J. (1994). *Stimmstörungen*. In: Biesalski, P. & Frank, F. (Hrsg.). *Phoniatrie - Pädaudiologie: Band 1: Phoniatrie*. 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 175-249.
- Baken, R. J. (1987). *Clinical Measurement of Speech and Voice*. London: Taylor & Francis Ltd.
- Barth, V. (ohne Jahresangabe). *Der Kehlkopf. Funktionelle und organische Erkrankungen - ihre bildliche Darstellung mit Anmerkungen zur Diagnostik und Therapie*. Homburg: Atlas-HNO.
- Berg, J. W. van den (1958). Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *Journal of Speech and Hearing Research* **1**, 227-244.
- Boenninghaus, H.-G. (1993). *Hals-Nasen-Ohrenheilkunde für Medizinstudenten*. 9., überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Borden, G. J., Harris, K. S. & Raphael, L. J. (1994). *Speech Science Primer. Physiology, Acoustics, and Perception of Speech*. Third Edition. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Clark, J. & Yallop, C. (1995). *An Introduction to Phonetics and Phonology*. Second Edition. Oxford, Cambridge: Blackwell.
- Deckert, M. (1994). *Anatomie der Sprache, Stimme und Atmung. Ein Arbeitsbuch für Studierende der Logopädie, der Sprachheilpädagogik und der Stimm- und Atemtherapie*. 1. Auflage. Hannover: printmedia.
- Duden (1990). *Das Fremdwörterbuch Band 5*. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Mannheim, Wien, Zürich: Dudenverlag.
- EGG-Manual (1995). *Electroglottograph (EGG). Model 4338*. Lincoln Park, Kay Elemetrics Corp.
- Frick, H., Leonhardt, H. & Starck, D. (1980). *Spezielle Anatomie II. Kopf - Hals - Eingeweide - Nervensystem*. 2., überarbeitete Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Fritzell, B., Hammarberg, B., Gauffin, J., Karlsson, I. & Sundberg, J. (1986). Breathiness and insufficient vocal fold closure. *Journal of Phonetics* **14**, 549-553.
- Greene, M. C. L. (1964). *The Voice and its Disorders*. Second Edition. London: Pitman Medical.

- Haji, T., Horiguchi, S., Baer, T. & Gould, W. J. (1986). Frequency and amplitude perturbation analysis of electroglottograph during sustained phonation. *Journal of the Acoustical Society of America* **80** (1), 58-62.
- Hanson, D. G., Gerratt, B. R., Karin, R. R. & Berke, G. S. (1988). Glottographic Measures of Vocal Fold Vibration: An Examination of Laryngeal Paralysis. *Laryngoscope* **98**, 541-549.
- Hanson, H. M. & Chuang, E. S. (1999). Glottal characteristics of male speakers: Acoustic correlates and comparison with female data. *Journal of the Acoustical Society of America* **106** (2), 1064-1077.
- Hardcastle, W. J. (1976). *Physiology of Speech Production. An Introduction for Speech Scientists*. London, New York, San Francisco: Academic Press.
- Hartl, D. M., Maeda, S. & Crevier-Buchman, L. (2003). Effects of unilateral vocal fold paralysis on formant frequencies: Evidence for vocal tract modifications in severely breathy voice. *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences*, Barcelona, 2369-2371.
- Hirano, M. (1989). Objective evaluation of the human voice. Clinical aspects. *Folia Phoniatria* **41**, 89-144.
- Hirano, M. & Mori, K. (2000). *Vocal Fold Paralysis*. In: Kent, R. D. & Ball, M. J. (Hrsg.) *Voice Quality Measurement*. San Diego: Singular Publishing Group, 385-395.
- Kittel, G. & Schürenberg, B. (1988). *Objektive und semiobjektive Untersuchungsmöglichkeiten von Stimme, Sprache und Gehör*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Klatt, D. H. & Klatt, L. C. (1990). Analysis, synthesis, and perception of voice quality variations among female and male talkers. *Journal of the Acoustical Society of America* **87** (2), 820-857.
- Klingholz, F. (1991). Jitter. *Sprache-Stimme-Gehör* **15**, 79-85.
- Koreman, J., Pützer, M. & Just, M. (1999). *Acoustic, electroglottographic and perceptual correlates of vocal fold adduction deficiencies*. Poster presentation. Workshop on Non-Modal Vocal-Fold Vibration and Voice Quality, held on July 31, 1999, at UC Berkeley. 14th International Congress of Phonetic Sciences, San Francisco.
- Laver, J. (1980). *The Phonetic Description of Voice Quality*. Cambridge: University Press.
- Laver, J. (1994). *Principles of Phonetics*. Cambridge: University Press.
- MDVP-Manual (1993). *Multi-Dimensional Voice Program (MDVP). Model 4305*. Pine Brooke, Kay Elemetrics Corp.

- Miethe, E. & Hermann-Röttgen, M. (1993). Wenn die Stimme nicht stimmt...: Symptome, Ursachen, Therapie, Bedingungen und Wirkungen der Stimme. *Die Stimme im Beruf*. Stuttgart: Trias.
- Morsomme, D., Jamart, J., Wéry, C., Giovanni, A. & Remacle, M. (2001). Comparison between the GIRBAS Scale and the Acoustic and Aerodynamic Measures Provided by EVA for the Assessment of Dysphonia following Unilateral Vocal Fold Paralysis. *Folia Phoniatria et Logopaedica* **53**, 317-325.
- Nawka, T. & Anders, L. C. (1996). *Die auditive Bewertung heiserer Stimmen nach dem RBH-System: Doppel-Audio CD mit Stimmbeispielen*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Nawka, T., Anders, L. C. & Wendler, J. (1994). Die auditive Beurteilung heiserer Stimmen nach dem RBH-System. *Sprache-Stimme-Gehör* **18**, 130-133.
- Neppert, J. & Pétursson, M. (1992). *Elemente einer akustischen Phonetik*. 3., durchgesehene Auflage. Hamburg: Helmut Buske Verlag.
- Pétursson, M. & Neppert, J. (1991). *Elementarbuch der Phonetik*. Hamburg: Helmut Buske Verlag.
- Pompino-Marschall, B. (1995). *Einführung in die Phonetik*. Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- Probst, R., Grevers, G. & Iro, H. (2000). *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. Ein sicherer Einstieg: kleine Etappen in Text, Bild und Ton*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Ptok, M., Sesterhenn, G. & Arold, R. (1993). Bewertung der laryngealen Klanggeneration mit der FFT-Analyse der glottischen Impedanz bei Patienten mit Rekurrensparese. *Folia Phoniatria* **45**, 182-197.
- Pützer, M. (2001). Multiparametrische Stimmqualitätserfassung männlicher und weiblicher Normalstimmen. *Folia Phoniatria et Logopaedica* **53**, 73-84.
- Pützer, M. & Just, M. (1999). Akustische und elektrophysiologische Stimmanalysen nach laserchirurgischer Larynxkarzinomresektion: Eine Fallstudie. In: Barry, W. J. & Koreman, J. (Hrsg.). *Phonus* **4**. Saarbrücken: Institut für Phonetik, Universität des Saarlandes, 103-121.
- Pützer, M. & Koreman, J. (1997). A German Database of Patterns of Pathological Vocal Fold Vibration. In: Barry, W. J. & Koreman, J. (Hrsg.). *Phonus* **3**. Saarbrücken: Institut für Phonetik, Universität des Saarlandes, 143-153.

- Pützer, M. & Marasek, K. (2000). Differenzierung gesunder Stimmqualitäten und Stimmqualitäten bei Rekurrensparese mit Hilfe elektrolottographischer Messungen und RBH-System. *Sprache-Stimme-Gehör* **24**, 154-163.
- Rothenberg, M. (1981). Some relations between glottal airflow and vocal fold contact area. *American Speech-Language-Hearing Association Reports* **11**, 88-96.
- Sataloff, R. (1997). *Professional Voice. The Science and Art of Clinical Care*. San Diego: Singular Publishing Group, Inc.
- Schöneberger, M. & Kirsch, J. (1986). *Einsatz der Frequenz-Echtzeit-Analyse zur Unterstützung des logopädischen Stimmbefundes*. Schriftliche Examensarbeit. Lehranstalt für Logopäden Caritasklinik St. Theresia, Saarbrücken.
- Schultz-Coulon, H. J. & Klingholz, F. (1988). *Objektive und semiobjektive Untersuchungsmethoden der Stimme*. In: Kittel, G. & Schürenberg, B. (Hrsg.). *Objektive und semiobjektive Untersuchungsmöglichkeiten von Stimme, Sprache und Gehör*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 1-88.
- Sittel, C., Wassermann, K., Mathen, F. & Eckel, H. E. (2001). Die uni- und bilaterale Lähmung des Nervus laryngeus inferior (recurrens). *Pneumologie* **55**, 568-578.
- Spiecker-Henke, M. (1997). *Leitlinien der Stimmtherapie*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Titze, I. R. (1994). *Principles of Voice Production*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Titze, I. R. & Winholtz, W. S. (1993). Effect of microphone type and placement on voice perturbation measurements. *Journal of Speech and Hearing Research* **36**, 1177-1190.
- Wendler, J., Seidner, W., Kittel, G. & Eysholdt, U. (1996). *Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie*. 3., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Wirth, G. (1995). *Stimmstörungen. Lehrbuch für Ärzte, Logopäden, Sprachheilpädagogen und Sprecherzieher*. 4., überarbeitete Auflage. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.

Anhang A: Abkürzungsverzeichnis

A. = Arteria

CQ = Kontaktquotient (Parameter des EGG)

EGG = Electroglottograph

Lig. = Ligamentum

M. = Musculus

MDVP = Multi-Dimensional Voice Program

N. = Nervus

Skew = Skewingquotient (Parameter des EGG)

1wVPN = Erste weibliche Versuchsperson (Erste Fallstudie)

2wVPN = Zweite weibliche Versuchsperson (Zweite Fallstudie)

1mVPN = Erste männliche Versuchsperson (Dritte Fallstudie)

2mVPN = Zweite männliche Versuchsperson (Vierte Fallstudie)

Anhang B: Berechnungen des Kontakt- und Skewingquotienten

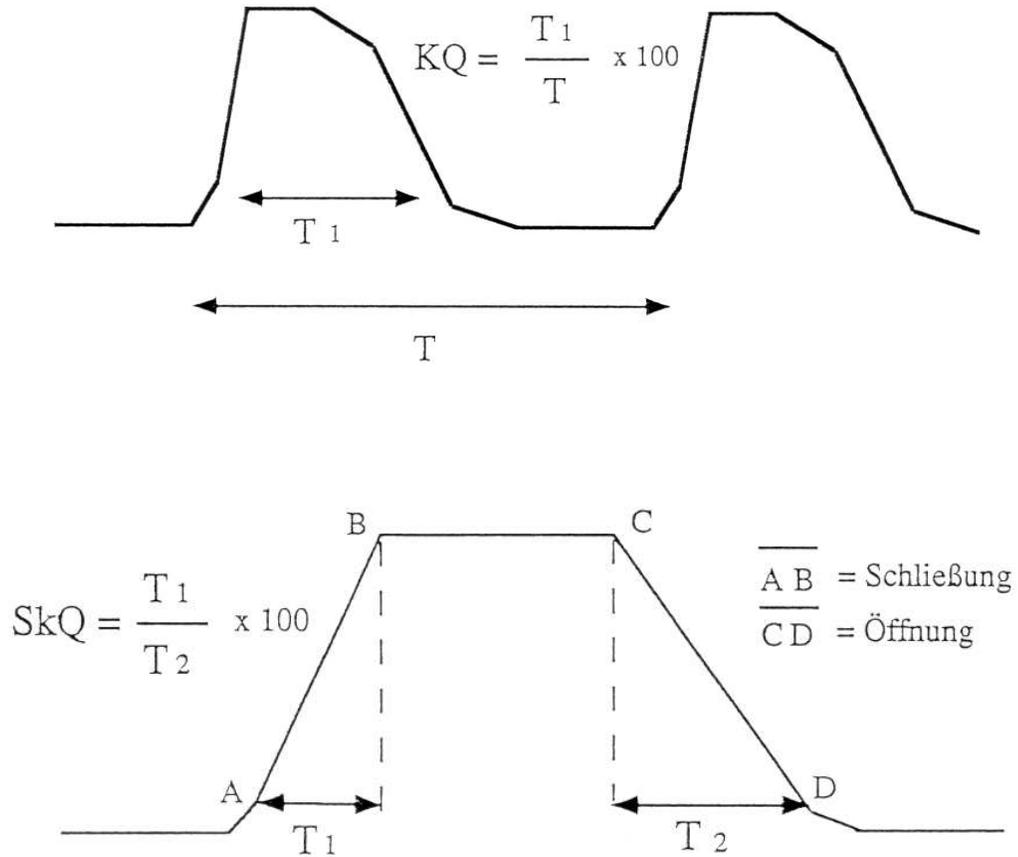


Abbildung 28. Berechnungen: Kontakt- und Skewingquotient (basierend auf der Grundlage der Berechnungsangabe im EGG-Manual, 1995)

Anhang C: Mittelwerte (sd) signifikanter MDVP- & EGG-Parameter (Pilotstudie)

Tabelle 25. Mittelwerte (sd) signifikanter MDVP-Parameter der analysierten [a:]-Vokale von gesunden und pathologischen Sprecherinnen mit kompensierter bzw. nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese (Pilotstudie)

MDVP-Parameter	gesund	mit Kompensation	ohne Kompensation
	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)
<i>Jita (ms)</i>	55,20 (37,04)	60,18 (44,58)	169,49 (237,19)
<i>Jitt (%)</i>	1,11 (0,74)	1,22 (0,92)	3,08 (3,31)
<i>RAP (%)</i>	0,67 (0,45)	0,74 (0,56)	1,93 (2,23)
<i>PPQ (%)</i>	0,64 (0,43)	0,68 (0,49)	1,93 (2,84)
<i>sPPQ (%)</i>	0,86 (0,42)	1,02 (0,54)	1,66 (1,27)
<i>ShdB (dB)</i>	0,27 (0,12)	0,33 (0,13)	0,73 (0,81)
<i>Shim (%)</i>	3,10 (1,37)	3,76 (1,51)	8,14 (8,75)
<i>APQ (%)</i>	2,24 (0,93)	2,70 (0,98)	5,76 (6,85)
<i>NHR</i>	0,12 (2,11)	0,13 (2,73)	0,17 (8,04)
<i>VTI</i>	3,55 (1,19)	3,10 (1,32)	4,26 (1,95)

Tabelle 26. Mittelwerte (sd) signifikanter EGG-Parameter der analysierten [a:]-Vokale von gesunden und pathologischen Sprecherinnen mit kompensierter bzw. nicht-kompensierter einseitiger Rekurrensparese (Pilotstudie)

EGG-Parameter	gesund	mit Kompensation	ohne Kompensation
	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)
<i>Avg. Jitter (%)</i>	1,00 (0,36)	3,49 (7,24)	8,74 (11,46)
<i>Range CQ (%)</i>	29,16 (11,58)	41,29 (16,63)	51,75 (25,53)
<i>Max. CQ (%)</i>	44,56 (4,11)	52,93 (12,07)	64,10 (19,38)
<i>SD CQ (%)</i>	2,26 (0,64)	4,10 (3,65)	7,49 (6,61)
<i>Mean Skew (%)</i>	41,35 (7,37)	70,28 (92,17)	116,03 (142,65)
<i>Range Skew (%)</i>	27,62 (18,55)	251,37 (622,18)	634,93 (995,36)
<i>Max. Skew (%)</i>	54,82 (15,14)	279,67 (624,64)	669,11 (992,49)
<i>SD Skew (%)</i>	4,15 (2,45)	38,13 (96,40)	97,24 (174,08)
<i>Perifac</i>	3,89 (1,07)	2,25 (1,03)	1,47 (0,86)

Anhang D: Mittelwerte (sd) signifikanter MDVP- & EGG-Parameter (Experiment IIB)

Erste Fallstudie: 1wVPN

Tabelle 27. Mittelwerte (sd) signifikanter EGG-Parameter bei 1wVPN im Vergleich zu weiblichen Normalstimmen (*Experiment IIB*)

EGG-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Normalstimme
	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)
<i>Min. Skew (%)</i>	24,34 (7,64)	28,11 (0,98)	40,93 (6,39)	34,06 (9,55)
<i>SD Skew (%)</i>	25,06 (3,96)	13,64 (4,55)	10,39 (2,06)	5,58 (4,32)
<i>Perifac</i>	1,14 (0,26)	1,29 (0,71)	2,56 (0,43)	4,17 (1,12)

Zweite Fallstudie: 2wVPN

Tabelle 28. Mittelwerte (sd) signifikanter MDVP- und EGG-Parameter bei 2wVPN im Vergleich zu weiblichen Normalstimmen (*Experiment IIB*)

MDVP-Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Normalstimme
	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)
<i>Jitt (%)</i>	9,01 (0,33)	1,57 (0,64)	2,10 (0,75)	1,32 (0,52)
<i>RAP (%)</i>	5,32 (0,22)	0,97 (0,39)	1,26 (0,44)	0,8 (0,32)
<i>PPQ (%)</i>	5,49 (0,86)	0,90 (0,39)	1,23 (0,46)	0,76 (0,3)
<i>sPPQ (%)</i>	8,90 (2,61)	1,02 (0,34)	1,30 (0,47)	0,89 (0,3)
<i>vF₀ (%)</i>	14,56 (5,30)	1,55 (0,36)	1,82 (0,62)	1,61 (0,51)
<i>ShdB (dB)</i>	3,04 (0,31)	0,32 (9,43)	0,25 (8,94)	0,24 (0,08)
<i>Shim (%)</i>	32,87 (4,09)	3,61 (1,06)	2,88 (1,01)	2,73 (0,93)
<i>APQ (%)</i>	26,66 (9,15)	2,70 (0,89)	1,86 (0,65)	1,91 (0,61)
<i>sAPQ (%)</i>	26,49 (6,25)	3,74 (0,80)	3,36 (1,99)	3,63 (1,21)
<i>vAm (%)</i>	38,31 (13,14)	9,77 (3,45)	12,53 (7,12)	14,56 (6,9)
<i>NHR</i>	0,34 (9,32)	0,10 (2,69)	0,13 (3,74)	0,11 (0,02)
<i>FATR (Hz)</i>	11,04 (5,58)	1,29 (2,24)	0,00 (0,00)	*
<i>DUV (%)</i>	66,52 (23,60)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00**
EGG-Parameter				
<i>Mean CQ (%)</i>	51,71 (1,51)	32,42 (4,44)	45,35 (1,35)	45,35 (11,28)
<i>Max. CQ (%)</i>	77,92 (11,21)	34,81 (5,24)	49,28 (0,28)	49,00 (6,04)
<i>SD CQ (%)</i>	10,13 (5,15)	2,03 (0,45)	2,44 (0,34)	1,88 (1,19)
<i>Mean Skew (%)</i>	140,46 (25,30)	74,72 (6,62)	68,69 (1,96)	45,35 (11,29)
<i>Perifac</i>	0,36 (4,16)	3,37 (0,49)	3,00 (0,49)	4,17 (1,12)

* Dafür wird weder bei Pützer (2001) ein auf einer größeren Stichprobe basierender Mittelwert mit Standardabweichung noch ein normativer Grenzwert im MDVP-Manual (1993) angegeben.

** Bei Pützer (2001) wird dieser Parameter nicht angeführt. Der oben angegebene normative Grenzwert stammt aus dem MDVP-Manual (1993).

*Dritte Fallstudie: 1mVPN*Tabelle 29. Mittelwerte (sd) signifikanter MDVP- und EGG-Parameter bei 1mVPN im Vergleich zu männlichen Normalstimmen (*Experiment IIB*)

MDVP- Parameter	1. Sitzung	2. Sitzung	3. Sitzung	Normalstimme
	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)	Mittelwert (sd)
<i>vAm (%)</i>	9,24 (2,05)	17,57 (3,23)	22,56 (6,50)	11,1 (5,06)
EGG-Parameter				
<i>Mean CQ (%)</i>	38,63 (3,00)	47,97 (2,69)	47,83 (4,33)	44,79 (4,0)
<i>Range CQ (%)</i>	22,11 (8,03)	34,43 (9,98)	45,86 (7,90)	16,76 (10,39)
<i>Max. CQ (%)</i>	40,44 (3,55)	55,08 (1,85)	57,40 (6,32)	48,99 (5,64)