

**Aus der Abteilung Hals-Nasen-Ohrenheilkunde  
(Prof. Dr. med. Ch. Matthias)  
im Zentrum Augenheilkunde und Hals-Nasen-Ohrenheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen**

---

**Zur Wertigkeit videostroboskopischer und lupenlaryngoskopischer  
Tonaufnahmen für die objektive Stimmanalyse**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizinischen Fakultät der  
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Leonie Lemm

aus

Essen

Göttingen 2012

**D e k a n:** Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

**I. Berichtstatter:** PD Dr. med. A. Olthoff

**II. Berichtstatter/in:** Priv.-Doz. Dr. med. S. G. Russo

**III. Berichtstatter/in:** Prof. Dr. med. M. Oppermann

**Tag der mündlichen Prüfung:** 02. Juli 2013

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1	Stimmdiagnostik.....	- 1 -
1.2	Untersuchung des stimmbildenden Apparates.....	- 2 -
1.2.1	Laryngoskopie.....	- 2 -
1.2.2	Stroboskopie.....	- 4 -
1.3	Perzeptive Stimmanalyse.....	- 6 -
1.3.1	Stimmklang.....	- 7 -
1.3.2	GRBAS-Skala.....	- 8 -
1.3.3	RBH-Skala.....	- 8 -
1.4	Akustische Stimmanalyse.....	- 9 -
1.4.1	Parameter zur Berechnung der Irregularität.....	- 9 -
1.4.2	Parameter zur Berechnung des additiven Rauschanteils.....	- 11 -
1.5	Göttinger Heiserkeits-Diagramm.....	- 12 -
1.6	Zielsetzung der Untersuchung.....	- 14 -
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODIK.....</b>	<b>- 16 -</b>
2.1	Patienten.....	- 16 -
2.2	Material.....	- 17 -
2.3	Methodik Göttinger Heiserkeits-Diagramm.....	- 18 -
2.4	Methodik Laryngoskopie und Stroboskopie.....	- 22 -
2.5	Versuchsaufbau und Untersuchungsparameter.....	- 24 -
2.5.1	Vergleich beider Analysemethoden.....	- 27 -
2.5.2	Einfluss der Anzahl der Phonationen.....	- 27 -
2.5.3	Einfluss der Phonationsdauer.....	- 28 -
2.5.4	Einfluss der Art der Vokale.....	- 28 -
2.5.5	Stimmveränderungen im Verlauf.....	- 29 -

<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>- 30 -</b>
3.1	Vergleich beider Analysemethoden .....	- 30 -
3.2	Einfluss der Anzahl der Phonationen .....	- 31 -
3.3	Einfluss der Phonationsdauer.....	- 32 -
3.4	Einfluss der Art der Vokale .....	- 34 -
3.5	Stimmveränderungen im Verlauf.....	- 35 -
<b>4</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>- 38 -</b>
4.1	Relevanz der Fragestellung .....	- 38 -
4.2	Diskussion der Ergebnisse .....	- 40 -
4.2.1	Vergleich beider Analysemethoden.....	- 40 -
4.2.2	Einfluss der Anzahl der Phonationen .....	- 41 -
4.2.3	Einfluss der Phonationsdauer .....	- 43 -
4.2.4	Einfluss der Art der Vokale .....	- 44 -
4.2.5	Stimmveränderungen im Verlauf .....	- 46 -
4.3	Diskussion der Methodik .....	- 47 -
4.4	Diskussion der Patientenauswahl.....	- 49 -
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>- 50 -</b>
<b>6</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>- 52 -</b>
6.1	Abkürzungsverzeichnis.....	- 52 -
6.2	Graphen.....	- 54 -
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>- 58 -</b>

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Stimmdiagnostik

Die Stimmdiagnostik umfasst eine ganze Reihe von Untersuchungsformen, die der Beurteilung der Stimmqualität von Patienten dienen. Nur im weitesten Sinne zur Stimmdiagnostik gehörend, steht an erster Stelle die Untersuchung des Endolarynx als stimmproduzierendes Organ. Dessen anatomische Gegebenheiten haben Einfluss auf die Qualität der Stimme und werden somit erfasst. Als mögliche Untersuchungsmethoden seien in dieser Arbeit verschiedene Formen der Laryngoskopie und die Stroboskopie erläutert. Zur Beurteilung der Stimmqualität selbst existieren ebenfalls verschiedene Verfahren. Subjektiv kann die Stimmgüte mithilfe der perzeptiven Stimmanalyse erfasst werden; hierzu werden verschiedene Schemata erläutert. Objektiv lässt sich der Stimmklang mittels akustischer Parameter bewerten, welche ebenfalls vorgestellt werden. Als wesentlicher Bestandteil der vorliegenden Arbeit wird schließlich das Göttinger Heiserkeits-Diagramm beschrieben. Dieses bedient sich zur Erfassung der Stimmqualität einiger der genannten akustischen Stimmparameter und stellt eine objektive computergestützte Analysemethode in der Stimmdiagnostik dar.

Die in dieser Arbeit dargestellten Methoden der Stimmdiagnostik geben lediglich einen Überblick über die verschiedenen Ansätze der Stimmanalyse. In jedem Falle erfolgen die genannten Untersuchungsverfahren im klinischen Alltag getrennt voneinander. Dies bedeutet mehrfache Untersuchungen und möglicherweise qualitativ unterschiedliche Stimmgebungen, die getrennt voneinander analysiert und in die letztendliche Bewertung einbezogen werden. In der vorliegenden Arbeit wurde geprüft, ob das Stimmsignal der Laryngoskopie, welches zur Beurteilung der anatomischen Gegebenheiten des Larynx gewonnen wird, ebenfalls zur Stimmanalyse mittels der genannten Methode des Göttinger Heiserkeits-Diagramms genutzt werden kann.

## 1.2 Untersuchung des stimmbildenden Apparates

### 1.2.1 Laryngoskopie

Zur Basisdiagnostik bei Stimmstörungen gehört die Untersuchung des Endolarynx, welche heutzutage vor allem mittels Lupenlaryngoskopie (Kehlkopfendoskopie) durchgeführt wird. Diese entspricht in Anlehnung an die klassische Kehlkopfspiegelung dem indirekten Verfahren, da lediglich das Spiegelbild des Larynx beurteilt werden kann. Sie kann mit einem Kehlkopfspiegel, mit einem starren oder mit einem flexiblen Endoskop durchgeführt werden (Probst et al. 2008). Direkt kann der Kehlkopf in Vollnarkose über ein Laryngoskoprohr mit dem Mikroskop betrachtet werden.

Die Laryngoskopie wurde erstmals 1855 von Manuel Garcia durchgeführt, dem es gelang, seinen eigenen Kehlkopf mithilfe eines Zahnarztspiegels darzustellen. Diese Kehlkopfspiegelung wurde 1858 von Ludwig Türck und Johann Nepomuk Czermak in die Klinik eingeführt und bildete lange Zeit das Standardverfahren zur Untersuchung des Endolarynx (Feldmann 2002).

Aktuell wird in Deutschland statt des klassischen Kehlkopfspiegels routinemäßig meist ein Lupenlaryngoskop zur Darstellung des Larynx verwendet, also die indirekte Laryngoskopie mittels eines starren Endoskops durchgeführt. Dabei wird die herausgestreckte Zunge des Patienten vom Untersucher manuell fixiert und das Endoskop bis hinter die Uvula vorgeschoben. Das Endoskop besitzt eine um 70 bzw. 90 Grad abgewinkelte Optik sowie eine Lichtquelle und bietet dem Untersucher die Möglichkeit, den Kehlkopf mithilfe einer Lupenoptik vergrößert zu betrachten (siehe Abbildung 1).

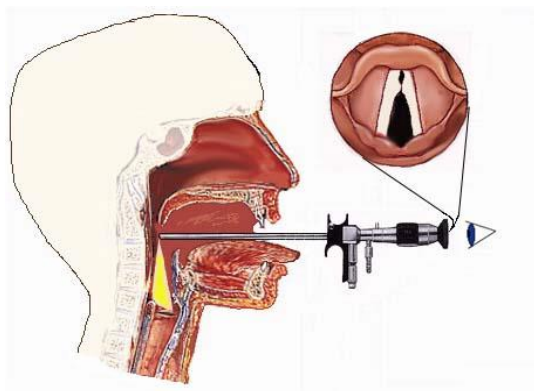


Abbildung 1: Kehlkopfspiegelung ([www.dysphonia.certec.html](http://www.dysphonia.certec.html))

Die anatomischen Gegebenheiten sowie eventuell vorliegende pathologische Veränderungen des Stimmapparates können nun beurteilt werden. Neben der Kehlkopfdarstellung in Respiationsstellung kann der Patient zur Phonation aufgefordert werden. Dadurch werden der Phonationsvorgang selbst sowie die Larynxanatomie während der Stimmproduktion beurteilbar. Dies bietet den Vorteil, dass auch leichtgradige Veränderungen in der Morphologie des Kehlkopfes erkennbar sind. Das Endoskop lässt sich außerdem mit einer Videokamera verbinden, sodass der Kehlkopf zusätzlich an einem Monitor betrachtet werden kann. Die vorliegenden Befunde lassen sich so außerdem zur Dokumentation aufzeichnen. Aufnahmen solcher videoendoskopischer Untersuchungen wurden für die vorliegende Arbeit verwendet.

Neben der indirekten Laryngoskopie mithilfe des starren Endoskops lässt sich diese auch mittels flexibler Endoskope durchführen. Dieses Verfahren wird angewandt, wenn entweder auf Grund eines ausgeprägten Würgereizes beim Patienten trotz Oberflächenanästhesie die Begutachtung des Larynx weder durch die Spiegeluntersuchung noch durch die starre Endoskopie möglich ist, oder wenn zusätzlich zur Kehlkopfdarstellung eine Tracheobronchoskopie durchgeführt werden soll. Die flexiblen Endoskope sind mit einem Außendurchmesser von 2,7-6 mm sehr dünn und werden über die Nase eingeführt (Nasopharyngolaryngoskope). Sie werden über Naso- und Oropharynx bis zum Larynx vorgeschoben und falls notwendig darüber hinaus bis in die Trachea (siehe Abbildung 2). Im Gegensatz zu den starren Optiken verfügen sie allerdings über eine schlechtere Abbildungsqualität (Probst et al. 2008, Wendler et al. 2005).

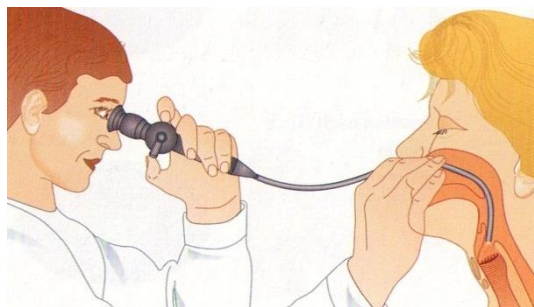


Abbildung 2: Flexible Nasopharyngolaryngoskopie (Probst et al. 2008, S. 314)

Im Gegensatz zur indirekten Laryngoskopie steht die direkte Darstellung des Kehlkopfes. Dieses Verfahren führte der Laryngologe Alfred Kirstein erstmals 1895 durch (Hirsch et al. 1986). Wie bereits erwähnt, erfolgt diese Untersuchung heutzutage nur noch in Vollnarkose, da sie sehr unangenehm ist. Das Laryngoskoprohr wird dabei bis zur

Epiglottis vorgeschoben (Boenninghaus und Lenarz 2007), der Untersucher schaut durch ein Binokularmikroskop direkt auf den Kehlkopf (Mikrolaryngoskopie). Dieses Verfahren ermöglicht die Diagnostik minimalster laryngealer Veränderungen sowie gleichzeitig deren therapeutische Versorgung (Probst et al. 2008; siehe Abbildung 3).

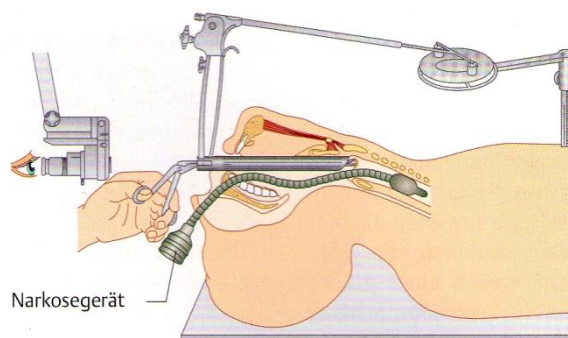


Abbildung 3: Direkte Laryngoskopie (Mikrolaryngoskopie) (Probst et al. 2008, S. 315)

### 1.2.2 Stroboskopie

Während die Laryngoskopie zur Untersuchung des Kehlkopfes durchgeführt wird, visualisiert die Stroboskopie die Stimmlippenschwingung. Sie dient der Beurteilung von Schwingungsfähigkeit und -symmetrie der Stimmlippen während der Phonation (Fleischer und Hess 2006; Wendler et al. 2005).

Während der Stimmgebung erfolgt die Schwingung der Stimmlippen periodisch und so schnell, dass sie für das menschliche Auge nicht sichtbar ist (Frequenz von 80-400 Hz). Die Verwendung eines Stroboskops ermöglicht es, diese Schwingung virtuell in Zeitlupe darzustellen und so sichtbar zu machen (Wendler et al. 2005).

Hierzu werden Lichtblitze verwendet, die vom Stroboskop erzeugt werden und sich in ihrer Frequenz nach der Frequenz der Stimmlippenschwingung richten. Nur die durch den Lichtblitz beleuchtete Phase der Stimmlippenschwingung wird für den Untersucher sichtbar. Haben Stimmlippenschwingung und Lichtblitze die gleiche Frequenz, trifft das Licht immer in derselben Phase der periodischen Schwingung auf die Stimmlippen. Dadurch entsteht beim Untersucher der Eindruck eines stillstehenden Bildes („Stroboskopie im stehenden Bild“, siehe Abbildung 4, a).



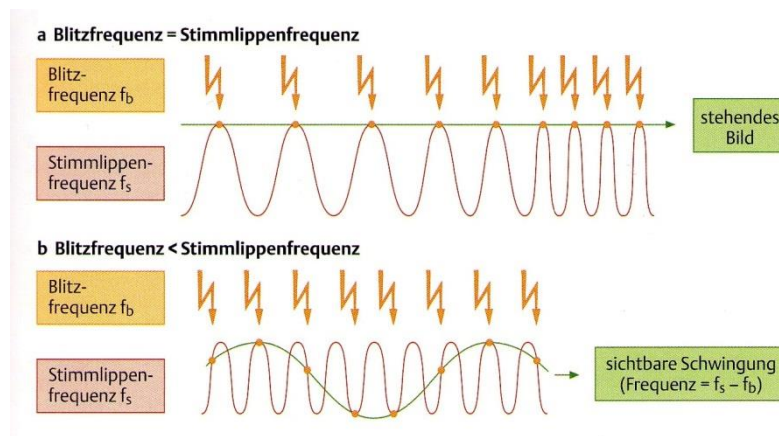


Abbildung 4: Prinzip der Stroboskopie (Probst et al. 2008, S. 351)

Ist die Frequenz der Lichtblitze etwas niedriger als die der Stimmlippen-schwingung, so trifft der Lichtstrahl die Stimmlippen immer in der benachbarten Phase der Schwingung, die Position der Stimmlippen ist im Vergleich zum vorherigen Bild leicht verschoben. Da die Bilder das menschliche Auge jedoch so schnell erreichen, dass sie nicht als Einzelbilder wahrgenommen werden können, entsteht beim Untersucher der Eindruck einer scheinbaren Zeitlupenbewegung („Stroboskopie im bewegten Bild“, siehe Abbildung 4, b; Wendler et al. 2005).

Je größer die Frequenzdifferenz zwischen Lichtblitzen und Stimmlippen-schwingung ist, desto schneller erscheint das verlangsamte Bild dem Untersucher (Schönhärl 1960). Über die Regulierung dieser Frequenzdifferenz können alle Phasen der Stimmlippen-schwingung vom Untersucher beurteilt werden.

Zur Stroboskopie können alle Endoskopietechniken eingesetzt werden, die auch in der indirekten Laryngoskopie Verwendung finden. Am häufigsten wird jedoch die Lupenstroboskopie durchgeführt (Wendler et al. 2005). Dabei betrachtet der Untersucher durch ein Endoskop die Glottis. Das aus dem Stroboskop kommende Licht (sowohl eine Dauerlicht- als auch eine Blitzlichtquelle ist enthalten) wird in das Endoskop geleitet. Das Umschalten zwischen beiden Beleuchtungsarten ist über einen Fußschalter vom Untersucher steuerbar. Der Patient wird zur gehaltenen Phonation aufgefordert (Ziel ist eine Phonationsdauer von mehreren Sekunden), während über ein Kehlkopfmikrofon am Patienten die Frequenz der Stimmlippen-schwingung abgenommen wird. Über das Stroboskop werden Lichtblitze erzeugt, die in ihrer Frequenz leicht gegenüber der Stimmlippenfrequenz verschoben sind. Dadurch ist die Beobachtung sämtlicher Phasen der periodischen Stimmlippen-schwingung möglich und es werden Unregelmäßigkeiten im

Schwingungsablauf und eine veränderte Schwingungsfähigkeit der Stimmlippen sichtbar (Wendler et al. 2005, Fleischer und Hess 2006).

Es gibt eine ganze Reihe von Kriterien, die in der Stroboskopie beurteilt werden können (Schönhärl 1960; Hirano 1981; Schürenberg 1990; Wendler 1992 und 1997; Friedrich und Dejonckere 2005; Fleischer und Hess 2006). In der Praxis beschränkt sich der Untersucher im Allgemeinen auf die Beurteilung der Amplituden der Schwingungen (Bewegung der Stimmlippen als Ganzes), der Randkantenverschiebungen (Verschiebung lediglich des Epithels der Stimmlippen), des Glottisschlusses während der Phonation (Ausmaß und Dauer der Schlussphase) und der zeitlichen und räumlichen Symmetrie der Schwingungen beider Stimmbänder (Gleichseitigkeit und Gleichzeitigkeit) (Wendler et al. 2005; Fleischer und Hess 2006). Mit Ausnahme des letzten Maßes sind diese Parameter abhängig von Tonhöhe und Lautstärke der Phonation, also von der Stimmlippenspannung. Eine objektive Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist daher schwer möglich, zumal die Bewertung des stroboskopischen Bildes auch stark von der Erfahrung des Untersuchers abhängt. Weil darüber hinaus häufig eine Diskrepanz zwischen stroboskopischem und akustischem Befund besteht, sollten immer beide vom Untersucher erhoben werden (Klingholz 1990).

Eine periodische Stimmlippenschwingung ist Voraussetzung für die stroboskopische Untersuchung. Somit kann diese nicht bei aperiodischen Schwingungsabläufen zur Diagnostik verwendet werden (Fleischer und Hess 2006). Je stärker eine Stimme gestört ist, desto reduzierter ist die Periodizität der Schwingung und desto weniger lässt sich die Stroboskopie nutzen. Dennoch stellt sie ein Standardverfahren in der Diagnostik der Laryngologie dar. Wird das Stroboskop mit einer Videokamera verbunden, können die Untersuchungen wie bei der Videoendoskopie aufgezeichnet werden. Solche Videoaufnahmen stroboskopischer Untersuchungen dienen als Material für diese Arbeit.

### **1.3 Perzeptive Stimmanalyse**

Die perzeptive (oder auch auditive) Stimmanalyse ist die subjektive Bewertung der Stimmgüte des Patienten durch den Untersucher. Da die Beschreibung der Stimmqualität vom Untersucher oft sehr individuell vorgenommen wird, ergibt sich eine Vielzahl von Adjektiven, um den Stimmklang zu beschreiben (Fex 1992). Da dies einen einheitlichen Bewertungsmaßstab unmöglich macht, ist die Beschränkung auf wesentliche

Klangphänomene sinnvoll. Diese stellen Heiserkeit, Rauigkeit und Behauchtheit dar (Schneider und Bigenzahn 2007), welche im Folgenden näher betrachtet werden sollen.

### 1.3.1 Stimmklang

Stimmstörungen haben Veränderungen des Stimmklangs zur Folge. Als Hauptsymptom dieser Klangveränderungen ist die Heiserkeit zu nennen. Da dieses Symptom jedoch bei einer Vielzahl von Stimmstörungen auftritt, lässt es keine ausreichenden Rückschlüsse auf deren Ursache zu (Wendler et al. 2005). Hierzu bedarf es der weiteren Spezifizierung.

Heiserkeit ist ein auditiv wahrnehmbares Phänomen, das akustisch durch das Auftreten von Geräuschanteilen im Stimmsignal charakterisiert wird. Es lassen sich zwei verschiedene Geräuschkomponenten unterscheiden, die auf physiologischer Ebene durch unterschiedliche Pathomechanismen entstehen.

Die erste Geräuschkomponente kommt durch aperiodische Abläufe, also Irregularitäten in der Stimmlippenschwingung, zustande. Sie wird als multiplikativer Rauschanteil des Stimmsignals bezeichnet und perzeptiv als Rauigkeit der Stimme wahrgenommen. Der zweite Geräuschanteil entsteht durch Turbulenzen des Luftstroms an den Stimmlippen, welche bei unvollständigem Glottisschluss während der Phonation zustande kommen. Er wird als additiver Rauschanteil bezeichnet und perzeptiv als Behauchtheit empfunden (Nawka et al. 1994).

Der Stimmklang „Heiser“ wird somit durch die perzeptiven Parameter Rauigkeit und Behauchtheit näher spezifiziert (Nawka et al. 1994; Friedrich et al. 2005). Da diesen Parametern, wie beschrieben, bestimmte pathophysiologische Mechanismen auf Ebene der Stimmerzeugung zugrunde liegen, lässt die Bewertung der Stimmqualität hinsichtlich dieser Parameter Rückschlüsse auf die Entität der beim Patienten vorliegenden Stimmstörung zu.

Heiserkeit als Maß für die Stimmqualität stellt ein relativ einfach auditiv wahrnehmbares Merkmal dar. Darüber hinaus ist die Stimme von Patienten durch erfahrene Untersucher nach Heiserkeitsgraden klassifizierbar (Anders et al. 1988; Nawka et al. 1994). Um diese Klassifikation zu vereinheitlichen, haben sich international zwei Bewertungsmaßstäbe etabliert: Die GRBAS- und die RBH-Skala.

### 1.3.2 GRBAS-Skala

Zu Beginn der Entwicklung einer Klassifikationsskala für die Heiserkeit wurden zunächst die Parameter Rauigkeit, Behauchtheit, Asthenie (Kraftlosigkeit der Stimme) und Grad der Heiserkeit als wesentlich für eine Klassifikation eingeschätzt (Isshiki und Takeuchi 1970). Von der japanischen Gesellschaft für Logopädie und Phoniatrie vorgeschlagen, hat sich in Japan und dem US-Amerikanischen Raum die Verwendung der GRBAS-Skala etabliert (Hiki et al. 1976; Hirano 1981; Fujiu et al. 1988). Diese beruht auf der Verwendung der perceptiven Parameter „Grade“ (Grad der Heiserkeit), „Rough“ (Rauigkeit), „Breathy“ (Behauchtheit), „Asthenic“ (Asthenie/Kraftlosigkeit der Stimme) und „Strained“ (Spannung). Alle Parameter können mit vier verschiedenen Stufen beurteilt werden (0-3, 0=nicht vorhanden bzw. normal, 1=leicht oder geringgradig, 2=mittelgradig, 3=hochgradig bzw. extrem). Um die Zuordnung von Stimmen zu den einzelnen Stufen für den Untersucher zu erleichtern, wurde ein Standard-Tonband erstellt, das repräsentative Stimmbeispiele für jeden Bewertungsgrad der GRBAS-Skala enthält (Hirano 1981).

Der Untersucher bewertet also anhand der oben genannten Parameter subjektiv die Stimmqualität des Patienten. Dazu sind viel Erfahrung und ein gut geschultes Gehör notwendig. Dennoch haben Studien die Reliabilität der GRBAS-Skala belegt, sodass sie eine Standardmethode zur subjektiven Einschätzung der Stimmqualität darstellt (Dejonckere et al. 1993; Carding et al. 2000; Bhuta et al. 2004).

### 1.3.3 RBH-Skala

Im deutschsprachigen Raum hat sich hingegen die sogenannte RBH-Skala zur perceptiven Stimmanalyse durchgesetzt. Bei dieser Klassifikationsmethode werden lediglich die Parameter **R**auigkeit, **B**ehauchtheit und **H**eiserkeit als Maße für die Stimmqualität einbezogen. Dies beruht auf einer Studie von Wendler et al., in der diese Maße als ausreichende Kriterien zur Bewertung der Stimmqualität nachgewiesen wurden (Wendler et al. 1986). Die Heiserkeit stellt dabei den Grad der Stimmstörung insgesamt dar, Rauigkeit und Behauchtheit spezifizieren dies, wie bereits in 1.3.1 beschrieben, näher. Die Bewertung der Stimme erfolgt wie bei der GRBAS-Skala in vier Stufen (0-3).

Obwohl sich dieses Bewertungsschema in zahlreichen Studien als praktikabel erwiesen hat (Wendler et al. 1986; Anders et al. 1988; de Bodt et al. 1997; Ptok et al. 2005 und 2006),

wird es, ebenso wie die perzeptive Stimmgütebeurteilung allgemein, in anderen Untersuchungen durchaus kritisch bewertet (Kreiman und Gerratt 1996, 1998, 2000; Kreiman et al. 1990, 1992 und 1994). Kreiman und Gerratt kamen zu dem Schluss „that traditional protocols for assessing qualities like breathiness and roughness are not useful for measuring perceived vocal quality“ (Kreiman und Gerratt 1998, S. 1607). Auf Grund der subjektiven Einschätzung der Stimme ist die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch verschiedene Untersucher ebenfalls nicht optimal. Als Alternative kann daher die akustische Stimmanalyse gesehen werden (Fröhlich et al. 2003). Bei dieser objektiven Art der Stimmanalyse werden verschiedene akustische Parameter des Stimmsignals beurteilt, die darüber hinaus mit perzeptiven Charakteristika korrelieren (Zwirner et al. 1998). Im Laufe der zahlreichen Untersuchungen wurde eine ganze Reihe solcher Parameter für die Stimmanalyse vorgestellt. Einige davon sollen im Folgenden näher betrachtet und ihre Relevanz für den klinischen Alltag aufgezeigt werden.

## **1.4 Akustische Stimmanalyse**

Wie bereits in 1.3.1 erläutert, kommt Heiserkeit durch das Vorliegen von Geräuschanteilen im Stimmsignal zustande. Bei der akustischen Stimmanalyse wird der Anteil der Geräuschanteile am Stimmsignal nicht subjektiv bewertet, sondern objektiv gemessen bzw. berechnet. Dazu stehen für beide Parameter unterschiedliche Methoden zur Verfügung.

### **1.4.1 Parameter zur Berechnung der Irregularität**

Die Irregularität des Stimmsignals insgesamt, die den multiplikativen Rauschanteil ausmacht, wird im Einzelnen durch Schwankungen in der Periodenlänge, -amplitude und -form der Stimmlippenschwingung verursacht.

Als Maß für die Schwankung der Periodenlänge zwischen aufeinanderfolgenden Schwingungszyklen der Stimmlippen wurde bereits 1961 von Philip Liebermann der sogenannte „Jitter“ entwickelt (Liebermann 1961). Er gibt die Schwankungen in der Frequenz der Schwingung an und kann entweder als absolutes Maß oder in % bezogen auf

die Grundfrequenz angegeben werden (Klingholz 1991). Bei gesunden Stimmen liegen nur geringe Frequenzschwankungen vor. Nehmen diese zu, wird der Jitterwert also größer, variiert die Tonhöhe der Stimme. In ausgeprägten Fällen erscheint sie rau. Die Angaben zum maximalen Jitter-Wert eines Gesunden sind in der Literatur uneinheitlich (Klingholz 1991; Wendler et al. 2005). Als Richtwert kann jedoch ein Jitter-Wert von 1% bei Gesunden angesehen werden, bei Stimmgestörten kann er sich verzehnfachen (Friedrich und Dejonckere 2005; Klingholz 1990).

Schwankungen in der Schwingungsamplitude von einer Periode zur nächsten werden durch den Parameter „Shimmer“ angegeben (Koike 1969). Der Shimmer beschreibt die Irregularität des Schalldrucks und kann vom Hörer als Intensitätsschwankung wahrgenommen werden. Er kann in dB oder ebenfalls in % angegeben werden und liegt bei euphonen Stimmen zwischen 0,5 und 4%. Bei Werten größer 4% erscheint die Stimme ebenfalls rau (Schneider und Bigenzahn 2007).

Die Periodenkorrelation gibt die Ähnlichkeit der Periodenform zweier aufeinander folgender Schwingungszyklen an, also die Korrelation zwischen zwei aufeinanderfolgenden Perioden. Zur Berechnung der Irregularität des Stimmsignals wird die mittlere Periodenkorrelation verwendet. Diese gibt gemittelt für das gesamte Stimmsignal an, inwieweit 2 jeweils aufeinanderfolgende Perioden in ihrer Form übereinstimmen. Da die Stimmlippen physiologischerweise nicht ständig periodisch schwingen, ist eine geringe Veränderung der Form von Periode zu Periode auch bei Stimmgesunden normal. Wäre die Form zweier aufeinanderfolgender Perioden identisch, wäre der Wert für die mittlere Periodenkorrelation 1. Bei schwer gestörten Stimmen liegen geringe Werte für die mittlere Periodenkorrelation vor, da die Stimmlippen einen hohen irregulären Schwingungsanteil aufweisen und sich die aufeinanderfolgenden Perioden in ihrer Form daher eher unähnlich sind (Schneider und Bigenzahn 2007). Liegt eine gänzlich aperiodische Schwingung der Stimmlippen vor, so erreicht der Wert für die mittlere Periodenkorrelation 0.

Jitter, Shimmer und mittlere Periodenkorrelation beschreiben also jeweils bestimmte Unregelmäßigkeiten im Stimmsignal. Bestimmt man diese Parameter aus Stimmaufnahmen von Patienten, so ermöglichen sie die Berechnung der Irregularität des Stimmsignals insgesamt und damit eine Quantifizierung der Rauigkeit einer Stimme.

## 1.4.2 Parameter zur Berechnung des additiven Rauschanteils

Zur Berechnung des additiven Rauschanteils bzw. der Behauchtheit des Stimmsignals wurde im Laufe der Zeit eine Vielzahl verschiedener Parameter entwickelt. Die Grundlage all dieser Maße ist die Annahme, dass das Stimmsignal aus einer Signal- und einer Rauschkomponente zusammengesetzt ist. Entwickelt wurde z.B. die Harmonics-to-noise ratio (HNR; Yumoto et al. 1982; de Krom 1993) oder die Normalized Noise Energy (NNE; Kasuya et al. 1986).

Die HNR „gibt die relative Stärke der harmonischen Signalenergie zur Energie des Rauschanteils an“ (Michaelis 1999, S. 36), die NNE ist das Verhältnis der Rauschenergie zur Gesamtenergie des Stimmsignals (Michaelis et al. 1997a). Beide Parameter eignen sich zwar, um den additiven Rauschanteil des Stimmsignals zu berechnen, haben sich jedoch als nicht unabhängig von Jitter und Shimmer erwiesen und messen somit eher die gesamte Stimmqualität und nicht nur den additiven Rauschanteil (Fröhlich et al. 1998a). Um die Heiserkeit einer Stimme jedoch objektiv hinsichtlich Rauigkeit und Behauchtheit aufzuschlüsseln, sind Parameter nötig, die jeweils nur die Irregularität bzw. den additiven Rauschanteil messen.

Es wurde daher ein neuer Parameter entwickelt: der „glottal-to-noise excitation ratio“ (GNE). Der GNE „soll beschreiben, inwieweit die Stimme durch einen Verschluss der Stimmlippen oder durch turbulentes Rauschen an der Glottis angeregt wird“ (Michaelis 1999, S. 44), gibt also den Anteil glottaler Stimmanregung (glottal) gegenüber Rauschanregung (noise) an (Michaelis et al. 1997a).

Somit eignet sich der Parameter GNE, um den additiven Rauschanteil der Stimme zu messen. Es konnte gezeigt werden, dass er dabei unabhängig vom multiplikativen Rauschanteil bzw. der Irregularität der Stimmlippenschwingung ist und somit zur Bewertung der Behauchtheit herangezogen werden kann. Auf Grund seiner Unabhängigkeit von der Irregularität sollte der GNE den Parametern HNR und NNE vorgezogen werden (Fröhlich et al. 1998a; Michaelis et al. 1997a, 1998a).

Die Stimmqualität „heiser“ kann somit neben subjektiver Einschätzung durch den Untersucher nach dem GRBAS- oder RBH-Schema auch gemessen werden, indem Rauigkeit und Behauchtheit mittels der Berechnung von Jitter, Shimmer und mittlerer Periodenkorrelation sowie GNE bestimmt werden. Da solche Berechnungen reproduzierbar sind, ermöglichen sie eine objektive Bewertung der Stimmqualität. Diese wird vor allem mittels computergestützter Stimmanalysesysteme durchgeführt. Ein Analysesystem, das die objektive Stimmqualität mithilfe der oben genannten

Stimmgüteparameter errechnet, ist das im Folgenden vorgestellte Göttinger Heiserkeits-Diagramm.

## 1.5 Göttinger Heiserkeits-Diagramm

Das Göttinger Heiserkeits-Diagramm (GHD) wurde von Dirk Michaelis an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen entwickelt (Michaelis 1999). Das GHD stellt ein computergestütztes, akustisches Analyseverfahren dar, welches die objektive Beurteilung der Stimmqualität von Patienten ermöglicht. Es können sowohl gering gestörte als auch stark veränderte Stimmen bis hin zur Aphonie abgebildet werden (Fröhlich et al. 1997, 1998b, 1998c).

Darüber hinaus spiegelt das GHD den der Stimmgebung zugrunde liegenden laryngealen Phonationsmechanismus wider. Patienten mit gleichen oder ähnlichen Phonationsabläufen weisen im GHD keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Stimmqualität auf. Liegen der Stimmgebung unterschiedliche Phonationsvorgänge zugrunde, ergibt die Stimmanalyse signifikante Unterschiede (Fröhlich et al. 1998b, 1998c, 1998d, 2000; Michaelis et al. 1997b).

Von den Patienten werden Stimmproben nach einem festgelegten Protokoll aufgezeichnet, das einen Korpus von 28 Vokalen in verschiedenen Tonlagen beinhaltet. Im Anschluss analysiert das Programm diese Stimmgebungen, errechnet daraus die Stimmqualität des Patienten und stellt diese zweidimensional graphisch dar.

Auf der X-Achse wird die sogenannte „Irregularitätskomponente“ aufgetragen. Die Skala reicht von 0 bis 10. Stimmen mit Irregularitätswerten zwischen 0 und 5 gelten als „normal“, liegen Werte größer 5 vor, wird die Stimme als pathologisch angesehen (Schneider und Bigenzahn 2007).

Die Irregularitätskomponente spiegelt die Irregularität des Stimmsignals wider und ist ein Maß für die Rauigkeit der Stimme. Diese wird durch die akustischen Marker Jitter, Shimmer und die mittlere Periodenkorrelation repräsentiert (siehe 1.4.1). Untersuchungen haben ergeben, dass Jitter, Shimmer und die mittlere Periodenkorrelation sehr stark miteinander korrelieren. Daher können sie zum Parameter der Irregularitätskomponente zusammengefasst werden (Michaelis et al. 1996). In die Berechnung dieses Parameters gehen alle drei Maße zu gleichen Teilen ein (Michaelis et al. 1998a).



Auf der Y-Achse des GHD wird die „Rauschkomponente“ aufgetragen. Die Skala reicht von 0 bis 5, wobei gesunde Stimmen im Bereich unter 2,5 liegen (Schneider und Bigenzahn 2007).

Die Rauschkomponente ist ein Maß für die Behauchtheit der Stimme. Sie wird durch den von Jitter, Shimmer und mittlerer Periodenkorrelation unabhängigen „Glottal-to-Noise Excitation Ratio“ (GNE) berechnet (siehe 1.4.2). Liegt der Stimmgebung ein vollständiger Glottisschluss zugrunde, ist der GNE-Wert hoch (um 1). Wird die Stimme überwiegend durch turbulentes Rauschen angeregt, ist der GNE-Wert gering (Michaelis et al. 1996). Dies ist beispielsweise bei aphonen bzw. geflüsterten Stimmen der Fall. Im GHD wird die Rauschkomponente so berechnet, dass ein hoher GNE-Wert einen niedrigen Wert für die Rauschkomponente zur Folge hat (Lessing 2007). Die Stimme wird im Göttinger Heiserkeits-Diagramm also nach Irregularitäts- und Rauschkomponente bzw. Rauigkeit und Behauchtheit aufgetragen. Je stärker die Stimme gestört ist, desto weiter vom Ursprung entfernt wird sie abgebildet (siehe Abbildung 5).

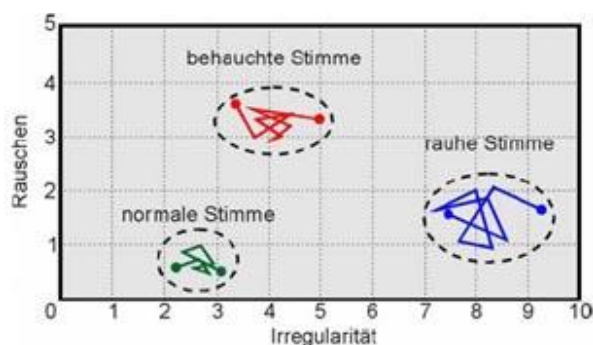


Abbildung 5: Darstellung normaler, behauchter und rauher Stimme im GHD (Homepage Rehder/Partner Medizintechnik 2011)

Da Rauigkeit und Behauchtheit pathophysiologisch durch bestimmte Phonationsabläufe repräsentiert werden (siehe 1.3.1), lassen sich auf Grund der Darstellung der Stimme im GHD Rückschlüsse auf die Ursache der Stimmstörung ziehen. Neben der Analyse der aktuellen Stimmqualität ist es mittels des GHD ebenfalls möglich, Veränderungen in der Stimmgüte in einem bestimmten Zeitraum (z. B. während logopädischer Therapie o. ä.) zu dokumentieren. Dazu werden die Bewertungen der Stimmqualität von verschiedenen Zeitpunkten in dasselbe Datenblatt eingespeist, was eine einfache Beobachtung der Stimmgüteveränderung im Verlauf ermöglicht (siehe Abbildung 6; Michaelis et al. 1996; Fröhlich et al. 1998b).

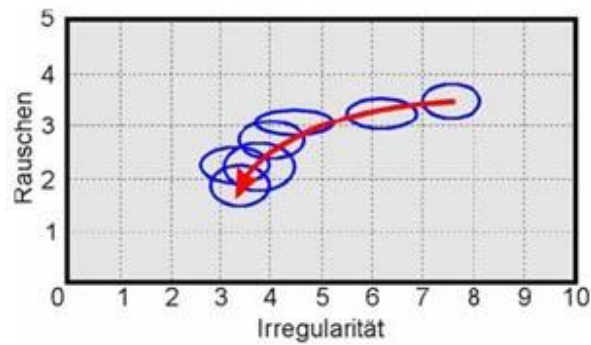


Abbildung 6: Darstellung der Stimmgüteveränderung im Verlauf im GHD (Homepage Rehder/Partner Medizintechnik 2011)

## 1.6 Zielsetzung der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war die Beantwortung der Frage, ob sich gehaltene Phonationen, die während videolaryngoskopischer und -stroboskopischer Untersuchungen von Patienten aufgezeichnet wurden, zur objektiven Analyse der Stimmqualität mittels des Göttinger Heiserkeits-Diagramms eignen. Diese Untersuchungen werden eigentlich zur Beurteilung der Stimmlippenschwingung durchgeführt und um eventuell vorliegende Pathologien des stimmbildenden Apparates zu diagnostizieren.

Der Goldstandard der objektiven Stimmanalyse, das für diese Arbeit verwendete Göttinger Heiserkeits-Diagramm (GHD), erfordert durch die Aufzeichnung von insgesamt 28 Vokalen nach einem festgelegten Schema einen durchschnittlichen Zeitaufwand von 15 Minuten pro Patient sowie zusätzliches Personal.

In der vorliegenden Arbeit wurden Phonationen nach dem vollständigen Aufnahmeprotokoll des GHD mit insgesamt 28 Vokalen aufgezeichnet und analysiert. Von denselben Patienten wurden am gleichen Untersuchungstag gehaltene Phonationen aus Videoaufzeichnungen laryngoskopischer und stroboskopischer Untersuchungen aufgenommen und ebenfalls mittels des GHD analysiert (im Folgenden als reduziertes Protokoll bezeichnet).

Die sich aus beiden Untersuchungsverfahren nach der Analyse mittels des GHD ergebenden Werte für Irregularität und Rauschen als wesentliche Charakteristika der Stimmqualität wurden miteinander korreliert. Das Maß der Korrelation ließ dann Rückschlüsse darauf zu, inwiefern sich die Werte für die Stimmqualität aus beiden Verfahren entsprechen. Außerdem wurde untersucht, ob Anzahl und Dauer der

Phonationen sowie die Reduktion des Protokolls auf den Vokal [ɛ:] bei der Laryngoskopie bzw. Stroboskopie im Gegensatz zum vollständigen Protokoll mit 28 Vokalen im GHD auf die ermittelten Werte für Irregularität und Rauschen Einfluss nehmen. Weiterhin wurde analysiert, ob sich beide Methoden gleichermaßen zur Verlaufskontrolle der Stimmqualität eignen.

## 2 MATERIAL UND METHODIK

### 2.1 Patienten

Das Patientenkollektiv für diese Untersuchung bestand aus 213 Patienten, von denen 97 männlich waren, 116 weiblich. Die Altersspanne lag zwischen 8 und 88 Jahren (Mittelwert: 49, Median: 50).

Die Patienten wurden nach spezifischen Diagnosen einzelnen Gruppen zugeordnet:

108 Patienten wurden auf Grund organischer Stimmstörungen untersucht (Reinke-Ödeme, Hämatome, entzündliche Erkrankungen, benigne und maligne Neubildungen wie z.B. Larynxpapillome, Granulome, Polypen, Zysten oder Knötchen der Stimmlippen, Hyperkeratosen, Karzinome sowie postoperative und postinterventionelle Stimmstörungen z.B. nach Trauma oder Radiatio).

45 Patienten kamen wegen funktioneller Stimmstörungen (hypofunktionelle Dysphonie, larvierte Mutation).

Bei 52 Patienten wurden neurologische Stimmstörungen diagnostiziert (ein- oder beidseitige Paresen der Stimmlippen in Intermediär- oder Paramedianstellung, Dysarthrophonie, spasmodische Dysphonien).

2 Patienten wurden auf Grund von psychosomatischen Stimmstörungen behandelt (psychosomatische Dysphonie).

6 Patienten kamen zur präoperativen Kontrolle der Stimmfunktion z.B. um vor Schilddrüsen-Operation die Funktion der innervierenden Nerven zu dokumentieren. Bei ihnen war keine Stimmeinschränkung vorhanden.

Unabhängig von der Diagnose wurden von 43 Patienten zu einem späteren Zeitpunkt angefertigte Zweituntersuchungen ausgewertet, die zur Dokumentation des Verlaufs bzw. der Stimmentwicklung der Patienten dienten.

Von den 207 Patienten, bei denen eine Dysphonie vorlag, zeigten 120 eine glottische Phonation, 79 eine glottische Phonation mit Aktivität der Taschenfalten. Acht Patienten zeigten nach Traumata des Kehlkopfes bzw. Kehlkopfteilresektion nach Tumor eine Ersatzphonation, da der Larynx in seiner ursprünglichen Anatomie nicht mehr zur Stimmbildung verwendet werden konnte. Davon lag bei zwei Patienten eine pseudoglottische, bei drei Patienten eine glottoventrikuläre, bei einem eine ventrikuläre und bei zwei Patienten eine aryepiglottische Ersatzphonation vor.

## 2.2 Material

Als Material für die vorliegende Arbeit dienten typische Mikrofonaufnahmen von Patienten, die nach dem Standardprotokoll zur Analyse mit dem Göttinger Heiserkeits-Diagramm in den Jahren 2007 und 2008 in der Phoniatrie und Pädaudiologie der Abteilung für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde der Universitätsmedizin Göttingen aufgezeichnet und mit einem Computersystem auf der Festplatte gespeichert wurden.

Des Weiteren wurden gehaltene Phonationen aus videodokumentierten laryngoskopischen und videostroboskopischen Untersuchungen genutzt. Diese wurden am gleichen Untersuchungstag und von denselben Patienten angefertigt wie die Heiserkeitsdiagramme nach dem vollständigen Protokoll. Sie wurden ebenfalls routinemäßig im .avi-Format mit einem Computersystem auf der Festplatte gespeichert (Rehder/Partner Medizintechnik, Hamburg). Diese Festplatte stellt eine Datenbank der Abteilung dar, in der seit dem Jahr 2000 alle auf diese Weise durchgeführten Untersuchungen gespeichert werden.

In die Analyse wurden nur diejenigen Patienten einbezogen, von denen vom gleichen Untersuchungstag in beiden Systemen Aufnahmen vorlagen. Es erfolgte zunächst die Sichtung der nach dem vollständigen Protokoll erstellten Heiserkeits-Diagramme im Programm „lingWAVES“ (Version 2.4 der Firma lingcom GmbH, Forchheim). Danach wurden die am selben Untersuchungstag aufgezeichneten Videoaufnahmen im Rehder-System herausgesucht. Die Tonspur der einzelnen Phonationen dieser Videoaufnahmen wurde dann in das Programm „lingWAVES“ überspielt. Aus diesem reduzierten Protokoll wurde ein Heiserkeits-Diagramm erzeugt. Die aus beiden Untersuchungsverfahren mittels des GHD ermittelten Werte für Irregularität und Rauschen wurden miteinander korreliert.

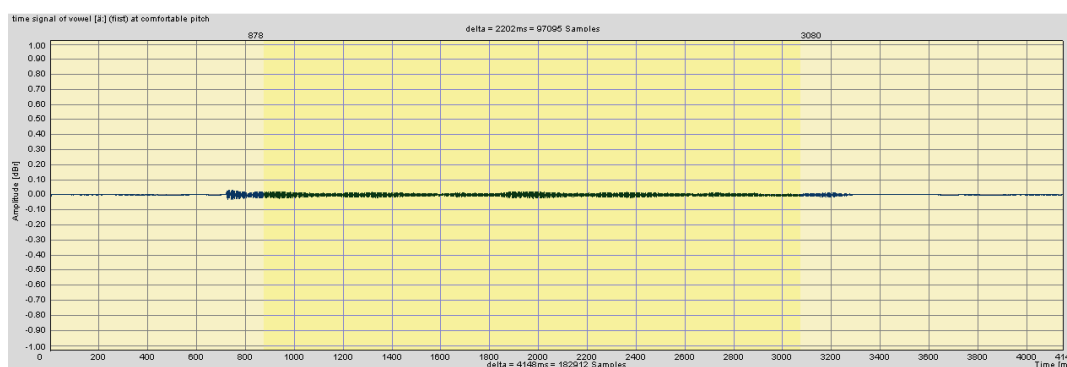
In der Datenbank der Abteilung lagen Aufnahmen von mehr Patienten vor, als für diese Arbeit analysiert wurden. Es wurden konsekutiv die ersten 213 in der Datenbank befindlichen Patienten, deren Stimmgebungen für die Analyse verwertbar waren, in die Untersuchung einbezogen. Dies geschah unabhängig von Alter oder Diagnose.

## 2.3 Methodik Göttinger Heiserkeits-Diagramm

Die für diese Arbeit verwendeten Heiserkeitsdiagramme aus der Abteilung Phoniatrie und Pädaudiologie wurden nach einem standardisierten Protokoll aufgezeichnet.

Dieses beinhaltete die Aufnahme gehaltener Phonationen der Vokale [ɛ:]<sub>1</sub>, [a:], [e:], [i:], [o:], [u:], [ɛ:]<sub>2</sub>, die jeweils in den Tonlagen normal, tief, hoch und normal<sub>2</sub> (nach dem Lesen des vorgegebenen Textes „Nordwind und Sonne“) von den Patienten phoniert wurden, ohne dass die Vokale ineinander übergingen (Michaelis 1999). Die Reihenfolge der Vokale und der Tonlagen, in denen erstere vom Patienten phoniert werden sollten, wurde vom Programm vorgegeben und war daher standardisiert. Als Tonlage „normal“ wurde eine für den Patienten als angenehm empfundene Tonlage angesehen, meist die mittlere Sprechstimmlage. Die Patienten wurden aufgefordert, die Vokale jeweils ca. drei bis fünf Sekunden lang zu halten.

Die Aufnahme der Vokale erfolgte dabei im Sitzen in einem schallgedämmten Raum (DIN EN ISO 8253-Standard) mithilfe eines Mess-Mikrofons mit Kugelcharakteristik (Center 322 sound level meter) und einem Mund-Mikrofon-Abstand von 30 cm. Für jeden Patienten wurde eine eigene Datei mit Namen, Geburtsdatum, Datum der Aufnahme und Patientennummer des jeweiligen Patienten im Programm „lingWAVES“ angelegt. Die Tonaufnahmen der Vokale wurden im .wav-Format auf der Festplatte des Computers gespeichert, auf dem das Betriebssystem Windows XP Professional Version 2002 installiert war. Im Programm „lingWAVES“ wird nach der Aufnahme jedes Vokals der zeitliche Phonationsverlauf dargestellt. In dieser Darstellung wurde der gehaltene Ton ohne Ein- und Ausschwingphase markiert und nur dieser Teil des Stimmsignals für die spätere Erzeugung eines Heiserkeitsdiagramms verwendet (siehe Abbildung 7).



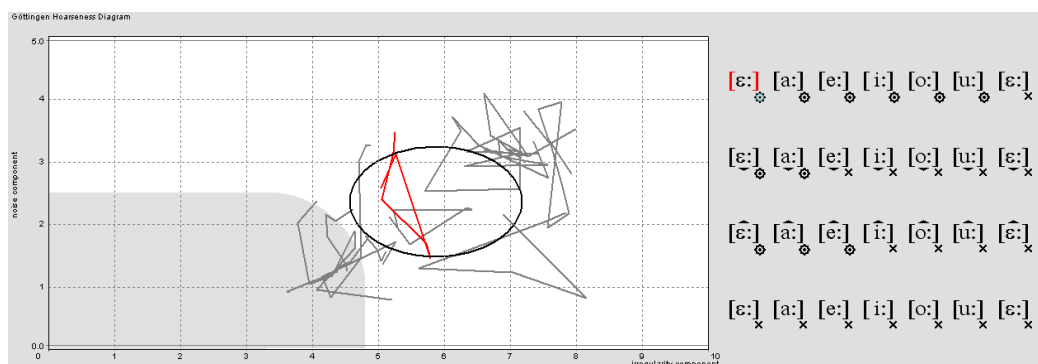
**Abbildung 7:** Zeitlicher Phonationsverlauf eines Vokals im Programm „lingWAVES“, aufgetragen gegen die Amplitude. Nur der markierte Bereich der Phonation wurde für die Erstellung eines GHD verwendet

Dies wurde für alle Vokale durchgeführt, der Text „Nordwind und Sonne“ wurde nicht aufgezeichnet bzw. analysiert. Er dient lediglich dazu, die Stimme des Patienten einer standardisierten Belastungssituation auszusetzen. Die im Anschluss aufgenommene Vokalreihe entspricht somit der Stimme nach Belastung in normaler Tonlage.

Aus den so bearbeiteten Vokalen ergab sich ein Korpus von 28 Vokalen pro Patient und Aufnahme, aus dem das Programm im Anschluss das GHD erzeugte. Dieses gab sowohl graphisch als auch in reinen Zahlen die Stimmqualität des Patienten wieder. Die graphische Darstellung erfolgte zweidimensional: Auf der X-Achse wurde dabei die Irregularitätskomponente aufgetragen, die die Rauigkeit der Stimme durch die Irregularität der Stimmlippenschwingung repräsentierte. Sie konnte Werte zwischen 0 und 10 annehmen, wobei Irregularitätswerte unter 5 eine normale, Werte über 5 eine pathologische Stimme bezeichneten.

Auf der Y-Achse wurde die Rauschkomponente aufgetragen, die die Behauchtheit der Stimme repräsentierte. Sie konnte Werte zwischen 0 und 5 annehmen, wobei Stimmen mit einem Rauschanteil bis 2,5 als normal gelten, Werte zwischen 2,5 und 5 hingegen als pathologisch (siehe Kapitel 1.5).

In dieser zweidimensionalen Darstellung wurde jeder Vokal einzeln abgebildet, und zwar als Strecke, die die gesamte Phonationsdauer wiedergab. Um die Vokale in der Grafik voneinander unterscheiden zu können, wurden sie in verschiedenen Farben dargestellt (siehe Abbildung 8).



**Abbildung 8:** Darstellung der Phonationsdauer der einzelnen Vokale des GHD

Für jeden Vokal wurde also nicht nur jeweils ein Wert für die beiden Parameter Irregularität und Rauschen errechnet, sondern über die gesamte Strecke des Phonationsverlaufs mehrere, wobei ihre Anzahl abhängig von der Tonhaltedauer war. Diese Werte für Irregularität und Rauschen, die über die gesamte Phonationsdauer

aufgezeichnet wurden, wurden vom Programm gemittelt. Dadurch lag für jeden einzelnen Vokal jeweils ein Wert für die Irregularität und ein Wert für den Rauschanteil des Stimmsignals vor.

Aus den 28 für alle Vokale errechneten Werten für Irregularität bzw. Rauschen wurden wiederum der Mittelwert und die Standardabweichung jeweils für beide Parameter errechnet. Beide Mittelwerte bildeten die Stimmqualität des Patienten am Untersuchungstermin ab. Graphisch wurde dies durch eine Ellipse dargestellt:

Aus den Mittelwerten und den Standardabweichungen für Irregularität und Rauschen wurde eine Ellipse errechnet, wobei die Mittelwerte den Mittelpunkt, die Standardabweichung die Halbachsen der Ellipse (Höhe und Breite) darstellten. Die Ellipse zeigte also graphisch die Stimmqualität des Patienten zum Untersuchungszeitpunkt (Fröhlich et al. 1998d, siehe Abbildung 8).

Neben dieser graphischen Darstellung wurde die Stimmqualität vom Programm auch in reinen Zahlenwerten angegeben. Durch Anklicken der graphischen Darstellung öffnete sich eine Tabelle, in der neben den einzelnen Vokalen in der jeweiligen Tonlage die Anzahl der Messpunkte, die für den jeweiligen Vokal über die gesamte Phonationsdauer aufgezeichnet wurden (n), die Werte für die mittlere Periodenkorrelation, Jitter (in %), Shimmer (in %) und GNE, sowie daraus errechnete Werte für Irregularität und Rauschen, jeweils mit Standardabweichungen in Klammern angegeben, für jeden Vokal einzeln aufgeführt waren. Die Grundfrequenz  $F_0$  des Stimmsignals wurde ebenfalls angegeben. Außerdem waren die aus allen Vokalen gemittelten Werte für alle oben genannten Parameter, für Irregularität und Rauschen jeweils mit Standardabweichung und in Rot, am Ende der Tabelle angegeben. Die in Rot angegebenen Zahlenwerte gaben dabei die Stimmqualität des Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung wieder (siehe Abbildung 9).



Mode	n	Period-correlation	Jitter [%]	Shimmer [%]	GNE	FD [Hz]	Irrag.-component	Noise-component
[ä] normal	3	0.875	0.47	13.7	0.63	-	6.3 (0.14)	1.8 (0.03)
[a] normal	4	0.975	0.11	13.0	0.78	-	4.9 (0.31)	1.2 (0.27)
[e] normal	6	0.981	0.06	4.1	0.71	-	3.4 (0.51)	1.4 (0.07)
[i] normal	6	0.995	0.13	2.9	0.76	-	3.1 (0.57)	1.2 (0.18)
[o] normal	4	0.999	0.03	2.5	0.26	-	2.0 (0.19)	3.3 (0.49)
[u] normal	4	0.998	0.05	2.9	0.12	-	2.6 (0.21)	3.9 (0.23)
[ä] normal	6	0.991	0.05	3.2	0.80	-	3.3 (0.26)	1.1 (0.29)
[ä] low pitch	2	0.927	0.21	11.7	0.81	-	5.7 (0.14)	1.0 (0.04)
[a] low pitch	4	0.935	0.58	11.8	0.81	-	5.9 (0.73)	1.0 (0.06)
[e] low pitch	2	0.856	0.48	14.4	0.86	-	6.4 (0.04)	0.8 (0.04)
[i] low pitch	4	0.962	0.11	4.9	0.47	-	4.5 (0.27)	2.4 (0.40)
[o] low pitch	2	0.990	0.14	17.0	0.36	-	4.9 (0.00)	2.9 (0.17)
[u] low pitch	5	0.984	0.16	8.1	0.16	-	4.6 (0.23)	3.7 (0.57)
[ä] low pitch	2	0.944	0.11	8.6	0.81	-	5.1 (0.18)	1.0 (0.06)
[ä] high pitch	4	0.997	0.07	5.7	0.70	-	3.4 (0.11)	1.5 (0.08)
[a] high pitch	4	0.994	0.17	8.4	0.80	-	4.2 (0.36)	1.1 (0.22)
[e] high pitch	5	0.996	0.05	5.5	0.67	-	3.3 (0.50)	1.6 (0.14)
[i] high pitch	8	0.992	0.12	4.2	0.37	-	3.7 (0.61)	2.9 (0.33)
[o] high pitch	5	0.975	0.77	8.2	0.26	-	4.7 (1.61)	3.3 (0.29)
[u] high pitch	4	0.994	0.15	6.7	0.10	-	4.0 (0.33)	4.0 (0.12)
[ä] high pitch	4	0.998	0.08	6.8	0.56	-	4.1 (0.36)	2.1 (0.19)
[ä] after load	4	0.984	0.14	6.5	0.73	-	4.7 (0.47)	1.4 (0.15)
[a] after load	3	0.993	0.06	3.9	0.88	-	3.4 (0.37)	0.7 (0.01)
[e] after load	5	0.980	0.07	4.7	0.78	-	3.9 (0.61)	1.1 (0.04)
[i] after load	4	0.996	0.05	3.2	0.60	-	2.9 (0.36)	1.9 (0.08)
[o] after load	3	0.989	0.16	8.8	0.29	-	4.5 (0.40)	3.2 (0.27)
[u] after load	2	0.998	0.05	3.7	0.11	-	2.7 (0.12)	3.9 (0.10)
[ä] after load	2	0.971	0.14	7.5	0.69	-	4.8 (0.22)	1.5 (0.04)
mean	3.96	0.97	0.17	7.24	0.57	-	4.01 (1.14)	2.05 (1.06)

Abbildung 9: Tabelle der Zahlenwerte des vorliegenden Heiserkeits-Diagramms

Wie bereits erwähnt, wurde die Irregularität dabei durch die Parameter Jitter, Shimmer und mittlere Periodenkorrelation, der Rauschparameter durch den GNE-Wert berechnet. Zunächst mussten jedoch die Parameter zur Berechnung selbst berechnet werden. Dies geschah für Jitter, Shimmer und mittlere Periodenkorrelation im GHD mithilfe des sogenannten „waveform-matching-Verfahrens“ (Michaelis 1999). Es dient der Bestimmung der Grundfrequenz und erlaubt deren Analyse. Bei diesem Verfahren wurde die Form von aufeinander folgenden Perioden des Stimmsignals, also von zwei Schwingungszyklen, in Bezug auf ihre Ähnlichkeit untersucht. Darüber wurden dann die Frequenz-Schwankungen (Jitter), die Amplituden-Schwankungen (Shimmer) und die Ähnlichkeit benachbarter Perioden gemittelt über das gesamte Stimmsignal (mittlere Periodenkorrelation) berechnet. Diese drei Parameter gingen zu gleichen Teilen in die Berechnung der Irregularität ein.

Der Parameter GNE basiert auf der maximalen Korrelation zwischen Hilberteinhüllenden, die für die verschiedenen Frequenzbänder des invers gefilterten Stimmsignals berechnet werden (Fröhlich et al. 1997). Er gibt den Anteil glottaler Stimmanregung gegenüber der Rauschanregung des Stimmsignals an („glottal-to-noise-excitation-ratio“, Michaelis et al. 1997a). Die Rauschkomponente des GHD wurde allein durch den GNE berechnet (Lessing 2007). Ein hoher GNE-Wert (nahezu reine Stimmanregung durch die Glottis) schlug sich in einem niedrigeren Rauschanteil des Stimmsignals im GHD nieder.

## 2.4 Methodik Laryngoskopie und Stroboskopie

Die laryngoskopischen und stroboskopischen Untersuchungen, deren Videoaufzeichnungen in dieser Arbeit Verwendung fanden, wurden am sitzenden Patienten durchgeführt. Während der Untersuchungen wurden die Patienten aufgefordert, in normaler Tonlage (mittlere Sprechstimmlage) ein „Hi“ zu phonieren, um die Stimmlippschwingung optisch beurteilen zu können. Da der Untersucher dabei jedoch die herausgestreckte Zunge des Patienten fixierte, ergab sich akustisch bei allen Patienten der Vokal [ɛ:]. Von Patienten, die die Untersuchungssituation problemlos tolerierten, wurden auch Stimmgebungen in den Tonlagen hoch und tief aufgezeichnet. Die Patienten wurden vom Untersucher so häufig zur Phonation aufgefordert, wie es für die Beurteilung des stimmbildenden Apparates notwendig war. Die Anzahl der Stimmgebungen war hier demnach nicht standardisiert.

Die Laryngoskopie wurde mit einem Laryngoskop mit 90° Lupenoptik durchgeführt (Richard Wolf GmbH, Knittlingen). Für die Stroboskopie wurden ein Stroboskop KS 4300 der Firma Timcke, Hamburg mit dem dazu gehörigen Körperschallmikrofon verwendet.

Beide Untersuchungsgeräte wurden mit einer Videokamera verbunden (Olympus OTV-S7) und die Untersuchungen mit dem Programm „rpSzene®“ (Rehder/Partner Medizintechnik, Hamburg) aufgezeichnet und gespeichert.

Zur Tonaufzeichnung während der Untersuchungen kam das Mikrofon AKG C 417 mit Kugelcharakteristik zum Einsatz. Die Tonspuren dieser Aufnahmen wurden im PCM-Audioformat mit einer Auflösung von 44,1 kHz und einer Abtastrate von 16 Bit aufgezeichnet und direkt auf dem Computer gespeichert. Auf diesem war das Betriebssystem Windows XP installiert.

Für die vorliegende Arbeit wurden die Videoaufzeichnungen der laryngoskopischen und stroboskopischen Untersuchungen vom jeweiligen Patienten, deren Datum mit dem Aufnahmedatum der Heiserkeits-Diagramme nach dem vollständigen Protokoll korrespondierte, im Programm „rpSzene®“ aufgerufen und angeschaut. Die Anzahl verwertbarer Phonationen in dieser Aufnahme wurde notiert. Als verwertbar galten alle Stimmgebungen, die mindestens eine Sekunde lang waren, nicht von Husten oder Würgen des Patienten unterbrochen wurden und auf denen keine anderen Störgeräusche zu hören waren, wie beispielsweise Anweisungen des Untersuchers oder Rauschen des Mikrofons.

Als Auswahlkriterium galt ebenfalls, dass die Stimmlippen des Patienten während der Stimmgebung auf der Videoaufnahme zu sehen sein mussten, um die Phonationsebene

bestimmen zu können, da diese die Stimmqualität beeinflusst. Wurde bei einem Patienten beispielsweise in der Vorgeschichte eine Operation am Larynx durchgeführt, welche die Ebene der Stimmbildung veränderte, ergaben sich daraus gegebenenfalls Veränderungen in der Stimmqualität. Es wurde unterschieden zwischen glottischer Phonation durch die Stimmlippen, glottischer Phonation mit Aktivität der Taschenfalten sowie Ersatzphonation auf pseudoglottischer, glottoventrikulärer, ventrikulärer und aryepiglottischer Ebene.

Alle verwertbaren Stimmgebungen, die von einem Patienten am jeweiligen Untersuchungstag vorlagen, wurden im Folgenden mithilfe des Bearbeitungsmoduls des Programms „rpSzene®“ einzeln aus der gesamten videodokumentierten Untersuchung ausgeschnitten. Als Ergebnis lagen nur noch die einzelnen Stimmgebungen vor. Bei einigen Patienten lag zu einem Datum mehr als ein Untersuchungsvideo in der Datenbank vor. In diesem Fall wurden alle vorhandenen Aufnahmen genutzt.

Da aus den Phonationen im Anschluss mithilfe des Programms „lingWAVES“ ein Heiserkeits-Diagramm erzeugt werden sollte, mussten die Tonfragmente die hierfür notwendige Länge von 0,5 Sekunden aufweisen. Kürzere Phonationen können durch das Programm nicht analysiert werden. Für die nach dem Standardprotokoll angefertigten Heiserkeits-Diagramme ist jedoch eine Zieldauer der Phonationen von drei bis fünf Sekunden festgelegt (Michaelis 1999).

Um die Differenz der Phonationsdauer aus beiden Verfahren zu minimieren und deren möglichen Einfluss auf das Ergebnis der Stimmanalyse zu reduzieren, legten wir für die Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie, die zur Erstellung eines Heiserkeits-Diagramms verwendet wurden, eine Mindestdauer von zwei Sekunden fest. Es fiel bei der Sichtung der Stimmgebungen jedoch auf, dass eine nicht unerhebliche Anzahl der zur Verfügung stehenden Phonationen aus der Phonoskopie (Laryngoskopie und Stroboskopie) nur unwesentlich länger als eine Sekunde war. Um nicht zu viele Patienten von der Untersuchung ausschließen zu müssen, wurden die entsprechenden Tonfragmente verdoppelt. Hierzu wurde mit dem Bearbeitungsfenster des Programms „rpSzene®“ der gehaltene Teil der Phonation ohne Ein- und Ausschwingphase markiert, kopiert und an das ursprüngliche Fragment angehängt. Dadurch konnte eine größere Anzahl von Patienten in die Analyse einbezogen werden. Da das Tonfragment durch diese Vorgehensweise lediglich verdoppelt und zu einer Stimmgebung „zusammengefasst“ wurde, wurde die Stimmqualität nicht verändert. Als Mindestdauer der Original-Phonation wurde dabei eine Länge von einer Sekunde (ohne Ein- und Ausschwingphase) festgelegt, sodass alle

Phonationen, aus denen die Heiserkeits-Diagramme erzeugt wurden, teilweise nach Verdopplung, mindestens zwei Sekunden lang waren.

Die von dem jeweiligen Patienten am jeweiligen Untersuchungstag vorliegenden verwertbaren Phonationen wurden dann auf einer portablen Festplatte gespeichert. Die Anzahl der Phonationen unterschied sich dabei von Patient zu Patient, sie lag zwischen einer und zwölf Stimmgebung(en). Im Mittel standen pro Patient vier Stimmgebungen zur Verfügung. Die Dauer der Phonationen war ebenfalls unterschiedlich, betrug jedoch, wie beschrieben teilweise nach Bearbeitung, mindestens zwei Sekunden.

Von allen Patienten konnte auf Grund der Untersuchungssituation lediglich der Vokal [ɛ:] zur Analyse gewonnen werden. Im Gegensatz zum vollständigen Protokoll des GHD, wo die Vokale [a:], [e:], [i:], [o:], [u:] und zweimal [ɛ:] jeweils in den Tonlagen normal, tief, hoch und normal<sub>2</sub> aufgezeichnet wurden, lag damit aus der Laryngoskopie und Stroboskopie ein reduziertes Protokoll mit lediglich einem Vokal in variierender Anzahl und Dauer vor.

Während der laryngoskopischen bzw. stroboskopischen Untersuchung wurden von allen Patienten Stimmgebungen in normaler Tonlage aufgezeichnet. Einige Patienten wurden auch zur Phonation in den Tonlagen tief und hoch aufgefordert. Da diese in ihrer Anzahl eine statistisch signifikante Aussage nicht ermöglicht hätten, wurde bei der Erzeugung der Heiserkeitsdiagramme aus diesen Phonationen jedoch nicht nach Tonlage unterschieden. Es wurden alle Phonationen als normale Tonlage eingespeist.

## **2.5 Versuchsaufbau und Untersuchungsparameter**

Um zu untersuchen, ob die Stimmanalyse nach dem reduzierten Protokoll der regulären Stimmanalyse nach dem vollständigen GHD-Protokoll äquivalent ist, wurden aus beiden Verfahren mittels des Programms „lingWAVES“ über die Erzeugung eines GHD die Werte für Irregularität und Rauschen als Parameter der Stimmqualität der Patienten ermittelt. Um darüber hinaus herauszufinden, welche Charakteristika die Phonationen aus Laryngoskopie und Stroboskopie besitzen müssen, um statt der regulären Stimmanalyse verwendet werden zu können (z.B. Anzahl und Dauer der Phonationen), wurden die Werte für Irregularität und Rauschen aus beiden Untersuchungsmethoden unter verschiedenen Fragestellungen miteinander korreliert. Da die Tonaufnahmen für beide Verfahren am

gleichen Tag aufgezeichnet wurden, waren keine Unterschiede in der tatsächlichen Stimmqualität zu erwarten. Die Korrelationswerte bildeten daher lediglich die Unterschiede zwischen den Untersuchungsverfahren ab (gemessene Stimmqualität).

Für die Korrelationsanalysen kam im Computerprogramm „Statistica“ in der Version 9.0 (StatSoft, Inc., Tulsa Oklahoma, USA) der Pearson-Korrelationstest zur Anwendung. Dabei wurde die Korrelation zwischen den Irregularitäts- bzw. Rausch-Werten aus reduziertem und vollständigem GHD-Protokoll bestimmt und der P-Wert als Maß für die Signifikanz ermittelt. Als positive Korrelation wurde dabei ein Korrelationskoeffizient  $r$  von  $r > 0$  angesehen, wobei  $r$  Werte zwischen -1 und +1 annehmen kann. Als signifikant wurde das Ergebnis angesehen, wenn  $p < 0,05$  war (Signifikanzniveau von 5 %).

Graphisch wurde dies dargestellt, indem für die unterschiedlichen Fragestellungen für Irregularität und Rauschen getrennt jeweils die Analysewerte aus beiden Untersuchungsverfahren in einem 2D-Scatterplot gegeneinander aufgetragen wurden. Da die Stimmanalyse nach dem vollständigen GHD-Protokoll als Standardverfahren zur Bestimmung der Stimmqualität gilt, wurde sie als unabhängige Variable definiert (Auftragung auf der X-Achse), die Stimmgebungen aus Lupenlaryngoskopie und Stroboskopie als abhängige Variable (Auftragung auf der Y-Achse).

Da der Pearson-Test lediglich bei normalverteilten Daten Anwendung findet, wurde die Normalverteilung zuvor mittels des Quantil-Quantil-Plots (kurz Q-Q-Plot) graphisch überprüft. Hierbei werden die Beobachtungswerte, also die vorhandenen Daten, mit der Normalverteilung verglichen. Diese wird innerhalb des Graphen durch eine rote Gerade dargestellt. Liegen die Beobachtungswerte näherungsweise auf dieser Geraden, so kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden. Die einzelnen Graphen finden sich im Anhang dieser Arbeit (siehe Kapitel 6.2).

Von den Tonaufnahmen der Patienten, die nach dem vollständigen Protokoll des GHD aufgezeichnet wurden, lagen bereits Heiserkeits-Diagramme vor und damit auch Werte für Irregularität und Rauschen. Aus den Phonationen, die aus Laryngoskopie und Stroboskopie gewonnen wurden, mussten erst noch Heiserkeits-Diagramme erzeugt werden, um die Werte für die Korrelationsanalysen verwenden zu können.

Dazu mussten die Phonationen in das Programm „lingWAVES“ überspielt werden. Es wurde der Audio-Ausgang eines Laptops mittels eines Stereo-Audio-Klinken-Kabels 3,5 mm mit dem Mikrofon-Eingang des Computersystems, auf dem das Programm „lingWAVES“ installiert war, verbunden. An den Laptop war eine portable Festplatte

angeschlossen, auf der die Stimmgebungen der stroboskopischen und laryngoskopischen Untersuchungen aller Patienten gespeichert waren.

Im Anschluss wurde im Programm „lingWAVES“ für jeden Patienten eine neue Datei mit Namen, Geburtsdatum, Untersuchungsdatum und Patientennummer angelegt und dann, wie bei der regulären Stimmanalyse nach dem vollständigen GHD-Protokoll, jede einzelne Stimmgebung als ein Vokal aufgenommen. Hierzu wurde in „lingWAVES“ die Taste „record“ gedrückt und dann das Video der Stimmgebung auf dem Laptop mithilfe des Windows Media Players abgespielt. Wenn die Tonspur des Videos überspielt war, wurde in „lingWAVES“ die Taste „stop“ gedrückt und das nächste Tonfragment des Patienten auf die gleiche Art und Weise als neuer Vokal in das Programm überspielt. Nach erfolgter Aufnahme jedes Vokals wurde nur das zu analysierende Tonfragment ohne Ein- und Ausschwingvorgang in der zeitlichen Phonationsdarstellung markiert. Da der Ein- bzw. Ausschwingvorgang bei einem Großteil der Aufnahmen durch den Verdopplungs-Vorgang (siehe Kapitel 2.4) jedoch bereits im Programm „rpSzene®“ ausgeschnitten wurde, entsprach der zu analysierende Teil des Stimmsignals meist dem vollständigen Tonfragment.

Das Vorgehen wurde so lange wiederholt, bis alle Stimmgebungen eines Patienten von einem bestimmten Untersuchungstermin in einer dem Patienten zugehörigen Datei im Programm „lingWAVES“ als einzelne Vokale vorlagen. Danach konnte aus diesen Vokalen ein Heiserkeits-Diagramm erzeugt werden. Die Gesamtwerte für Irregularität und Rauschen aus diesen Diagrammen, gemittelt aus allen Stimmgebungen, gaben die Stimmqualität des Patienten, gewonnen aus den Aufnahmen von Stroboskopie und Laryngoskopie, wieder. Sie wurden für die folgenden Analysen benötigt.

Es ist jedoch nicht möglich, diese Zahlenwerte aus der Tabelle im Programm „lingWAVES“ zu extrahieren. Allerdings liegt auf der Festplatte des Computersystems, auf dem „lingWAVES“ installiert ist, für jedes erzeugte GHD eine Quellen-Datei im Format .ghd vor. In dieser Quellen-Datei befinden sich die aus allen Vokalen ermittelten Gesamtwerte für Irregularität und Rauschen (dies entspricht der Stimmqualität des Patienten). Darüber hinaus ist ebenfalls für jeden Einzelnen der 28 Vokale ein Wert für Irregularität und Rauschen gespeichert. Dieser stellt den Mittelwert aus allen einzelnen Werten dar, die während der gesamten Phonationsdauer für beide Parameter für diesen Vokal aufgezeichnet wurden (siehe Abschnitt 2.3, S. 19). Sowohl die Zahlenwerte für die einzelnen Vokale, als auch die Gesamtwerte aus allen Vokalen können aus der Quellen-Datei herauskopiert werden. Dies geschah für die Gesamtwerte aus der Analyse des

gesamten GHD-Protokolls. Für die Werte aus der Analyse des reduzierten Protokolls wurde ebenso verfahren; anschließend wurden sie in eine Excel-Tabelle eingefügt. Nachdem die Werte für Irregularität und Rauschen aus beiden Untersuchungsverfahren als reine Zahlenwerte vorlagen, wurde mit der Korrelationsanalyse hinsichtlich verschiedener Fragestellungen begonnen.

### **2.5.1 Vergleich beider Analysemethoden**

Zunächst sollte überprüft werden, ob die aus den beiden unterschiedlichen Untersuchungsmethoden gewonnenen Werte für die Stimmqualität überhaupt zu vergleichen sind. Hierzu wurden von allen Patienten die Werte für die Irregularität, ermittelt aus dem vollständigen GHD-Protokoll, mit den Werten für die Irregularität, ermittelt aus dem reduzierten Protokoll, korreliert. In gleicher Weise wurde für den Rauschanteil des Stimmsignals verfahren.

### **2.5.2 Einfluss der Anzahl der Phonationen**

Als nächstes sollte untersucht werden, ob sich die Anzahl der Stimmgebungen aus Laryngoskopie bzw. Stroboskopie auf die ermittelten Werte für die Stimmqualität auswirkt. Hierzu wurde verglichen, ob sich bessere Korrelationswerte zwischen den Irregularitäts- bzw. Rausch-Werten aus beiden Untersuchungen ergaben, wenn fünf Stimmgebungen aus der Laryngoskopie bzw. Stroboskopie vorlagen, als wenn beispielsweise lediglich nur eine Phonation für die Analyse zur Verfügung stand. Um dies feststellen zu können, wurden die Werte für Irregularität bzw. Rauschen aus reduziertem und vollständigem Protokoll lediglich bei denjenigen Patienten korreliert, bei denen in erstgenannter Untersuchung nur eine einzige Stimmgebung gewonnen werden konnte. Genauso wurde mit den Patienten verfahren, bei denen zwei, drei, vier, fünf und mehr als fünf Stimmgebungen vorlagen. Die sechs sich ergebenden Korrelationskoeffizienten wurden im Anschluss verglichen.

### 2.5.3 Einfluss der Phonationsdauer

Neben der Ermittlung einer Mindestanzahl an Stimmgebungen erschien es ebenfalls interessant, herauszufinden, ob die Dauer der Phonationen bei der Analyse nach dem reduzierten Protokoll auf die ermittelte Stimmqualität Einfluss nimmt. Das Standardprotokoll des GHD erfordert eine Phonationsdauer von drei bis fünf Sekunden (Michaelis 1999), in der Laryngoskopie und Stroboskopie war hingegen nur eine geringe Anzahl von Patienten in der Lage, die Phonationen wenigstens zwei Sekunden zu halten (n=21). Die Phonationen, die mindestens eine, jedoch keine zwei Sekunden lang waren, wurden, wie bereits beschrieben, verdoppelt, sodass sie die nötige Dauer von zwei Sekunden aufwiesen. Um neben dem Einfluss der Phonationsdauer herauszufinden, ob diese Vorgehensweise überhaupt zulässig ist, wurden zunächst nur die Patienten ausgewählt, deren Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie an einem Untersuchungstermin stets zwei Sekunden oder länger waren. Von diesen Patienten wurden dann die Werte für Irregularität bzw. Rauschen aus der Stimmanalyse nach dem reduzierten mit denen aus dem vollständigen Protokoll korreliert. In gleicher Weise wurde bei den Patienten verfahren, bei denen alle Stimmgebungen ursprünglich lediglich eine Sekunde lang waren und deshalb verdoppelt wurden (n=74). Die Korrelationskoeffizienten beider Patientengruppen wurden im Anschluss verglichen.

Bei den verbliebenen 118 Patienten lagen sowohl Stimmgebungen von mindestens zwei Sekunden Länge als auch solche von ursprünglich lediglich einer Sekunde Dauer am Untersuchungstermin vor. Diese Patienten konnten in diese Analyse nicht einbezogen werden.

### 2.5.4 Einfluss der Art der Vokale

Ebenso von Interesse war die Beantwortung der Frage, ob es für die Ergebnisse der Stimmanalyse von Bedeutung ist, dass bei der lupenlaryngoskopischen Untersuchung lediglich der Vokal [ɛ:] von den Patienten produziert wird. Bei der Stimmanalyse des reduzierten Protokolls stehen im Durchschnitt vier Stimmgebungen, meist alle in der gleichen Tonlage, die jedes Mal aus dem Vokal [ɛ:] bestehen, dem gesamten Protokoll von insgesamt 28 Stimmgebungen aus sechs phonetisch unterschiedlichen Vokalen in drei verschiedenen Tonlagen gegenüber. Um die Zulässigkeit der Reduktion des Protokolls in



dieser Hinsicht zu untersuchen, wurden die Werte für Irregularität bzw. Rauschen, ermittelt aus dem gesamten Protokoll, gegen die Werte, die aus allen Vokalen [ɛ:] des gesamten Protokolls berechnet wurden, aufgetragen. Daraus wurde dann ebenfalls der Korrelationskoeffizient bestimmt. Für diese Analyse mussten jedoch zunächst die Werte für Irregularität und Rauschen lediglich aus allen Vokalen [ɛ:] des vollständigen Protokolls errechnet werden. Es lagen jedoch nur einzeln für jeden der acht Vokale [ɛ:] des vollständigen GHD-Protokolls Zahlenwerte in der Quellen-Datei eines Heiserkeits-Diagramms vor. Kopiert man diese Einzelwerte aus der Quellen-Datei heraus, kann man aus ihnen den Mittelwert errechnen und erhält jeweils die Gesamtwerte für Irregularität und Rauschen aus den acht Vokalen [ɛ:]. Somit kann die Stimmqualität nur der Vokale [ɛ:] aus dem vollständigen Protokoll mit der Stimmqualität aus den 28 Vokalen des vollständigen Protokolls verglichen werden. Dadurch sollte festgestellt werden, ob trotz der Reduktion des Protokolls hinsichtlich der verwendeten Vokale eine robuste klinische Aussage über die Stimmqualität möglich ist.

### **2.5.5 Stimmveränderungen im Verlauf**

Mit der letzten Analyse sollte herausgefunden werden, ob sich die Stimmanalyse aus dem reduzierten Protokoll ebenso gut zur Verlaufskontrolle der Stimmqualität eignet wie die nach dem gesamten GHD-Protokoll. Dazu wurden von 43 Patienten nach einem Zeitintervall zwischen drei Wochen und 14 Monaten erneut eine Stimmanalyse mit dem GHD und eine Laryngoskopie bzw. Stroboskopie als Zweituntersuchungen durchgeführt. Im Anschluss wurde zunächst die Differenz zwischen den Werten für die Irregularität aus dem vollständigen GHD-Protokoll von Zeitpunkt T1 und Zeitpunkt T2 errechnet. Ebenso wurde mit den Werten für die Irregularität aus der Laryngoskopie und Stroboskopie verfahren. Die beiden sich ergebenden Werte wurden dann miteinander korreliert. In gleicher Weise wurde für den Rauschparameter verfahren.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Vergleich beider Analysemethoden

Die erste Analyse sollte zeigen, ob die Stimmanalyse von Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie grundsätzlich ähnliche Werte für die Stimmqualität liefert wie die Standardmethode. Hierzu wurden die Werte für Irregularität bzw. Rauschen aus dem reduzierten Protokoll mit den Werten korreliert, die die Stimmanalyse nach dem vollständigen GHD-Protokoll ergeben hatte. Für die Irregularität ergab sich dabei ein Korrelationskoeffizient von  $r=0,65$  und ein P-Wert von  $P<0,001$ .

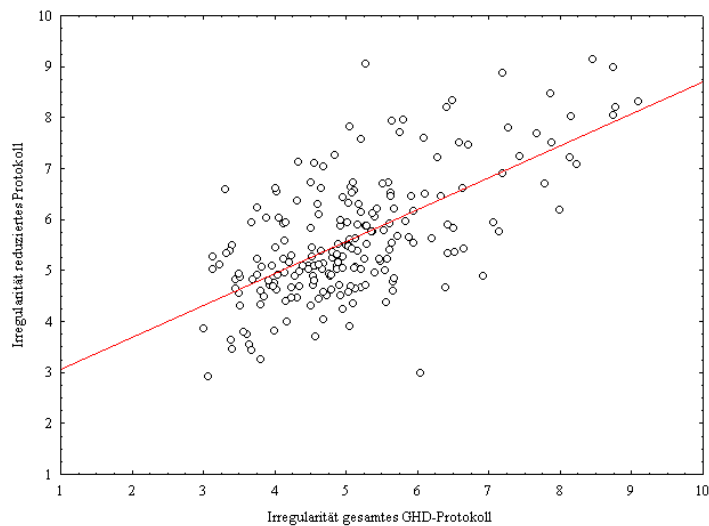


Abbildung 10: Scatterplot für die Korrelation zwischen der Irregularität aus reduziertem und gesamtem GHD-Protokoll ( $r=0,65$ )

Für den Parameter Rauschen ließ sich eine Korrelation von  $r=0,55$  und ein P-Wert von  $P<0,001$  beobachten.

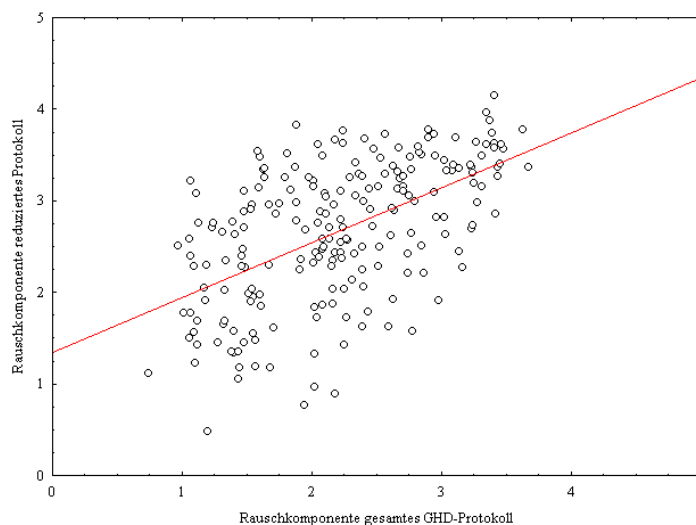


Abbildung 11: Scatterplot für die Korrelation zwischen der Rauschkomponente aus reduziertem und gesamtem GHD-Protokoll ( $r=0,55$ )

### 3.2 Einfluss der Anzahl der Phonationen

In der zweiten Analyse wurde untersucht, ob die Anzahl der Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie die Höhe der Korrelation zwischen den Werten für Irregularität bzw. Rauschen beeinflusst. Dazu wurden die Werte wie in der ersten Analyse korreliert, dies wurde jedoch in Abhängigkeit von der Anzahl der Stimmgebungen vorgenommen.

Es ergaben sich für Irregularität und Rauschen jeweils 6 Korrelationskoeffizienten  $r_1$ - $r_6$  für Patienten mit einer, zwei, drei, vier und fünf Stimmgebungen in laryngoskopischer bzw. stroboskopischer Untersuchung. 52 Patienten produzierten in dieser Untersuchung mehr als 5 Stimmgebungen (sechs bis maximal zwölf), hierfür wurde  $r_6$  berechnet. Für die Irregularität des Stimmsignals waren  $r_1=0,74$  ( $n=28$ ),  $r_2=0,62$  ( $n=34$ ),  $r_3=0,72$  ( $n=38$ ),  $r_4=0,53$  ( $n=45$ ),  $r_5=0,78$  ( $n=16$ ),  $r_6=0,39$  ( $n=52$ ). Die P-Werte lagen jeweils bei  $P<0,001$ . Für den Rauschanteil des Stimmsignals waren  $r_1=0,52$ ,  $r_2=0,55$ ,  $r_3=0,47$ ,  $r_4=0,56$ ,  $r_5=0,73$ ,  $r_6=0,48$ . Der P-Wert war außer bei  $r_1$  ( $P=0,01$ ) jeweils  $P<0,001$ .

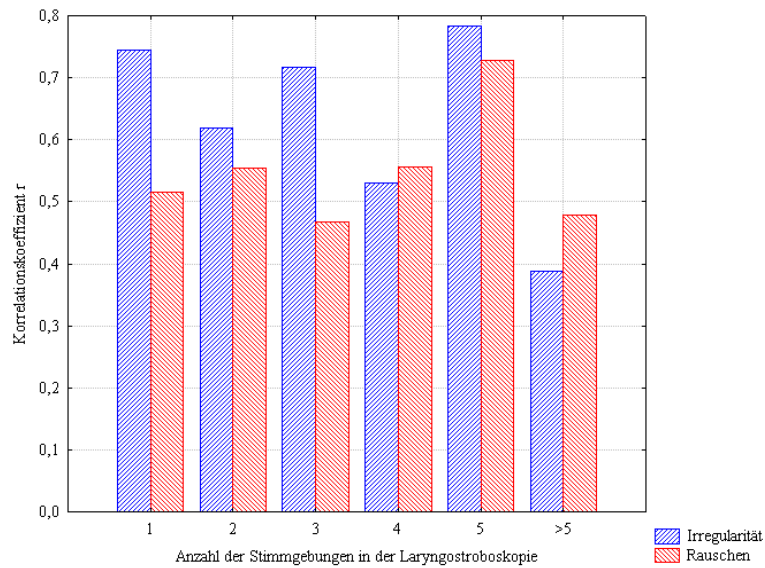
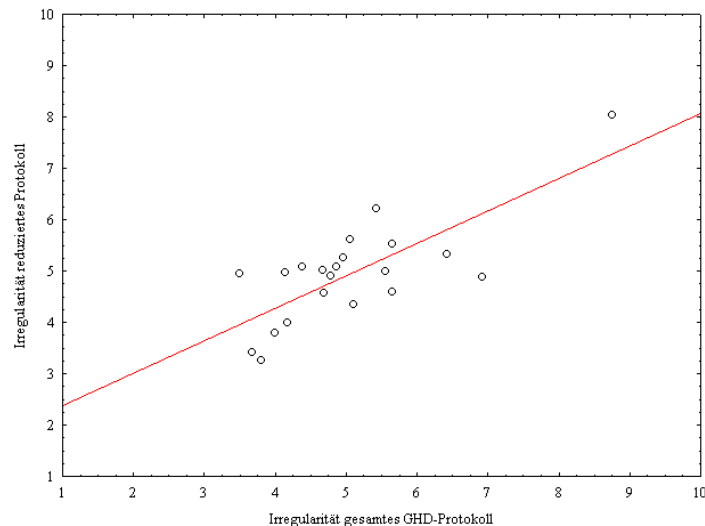


Abbildung 12: Balkenplot für die Korrelation der Werte für Irregularität und Rauschen aus reduziertem und gesamtem GHD-Protokoll in Abhängigkeit von der Anzahl der Stimmgebungen

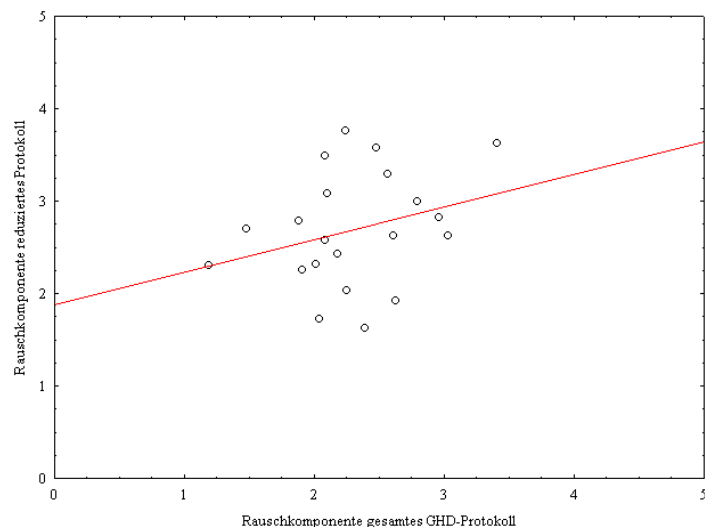
### 3.3 Einfluss der Phonationsdauer

Als nächstes wurde untersucht, ob die Dauer der Phonationen Einfluss auf die ermittelte Stimmqualität hat und ob es zulässig ist, die Tonfragmente aus Laryngoskopie und Stroboskopie, die lediglich eine Sekunde lang waren, zu verdoppeln (siehe 2.4). Dazu wurde zunächst die Korrelation für Irregularität und Rauschen aus reduziertem und vollständigem GHD-Protokoll für die Patienten ermittelt, bei denen die Länge aller Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie von einem Untersuchungstermin von vorne herein zwei Sekunden oder mehr betrug ( $n=21$ ). Für die Irregularität ergaben sich hierfür Werte von  $r=0,76$  und  $P<0,001$ .



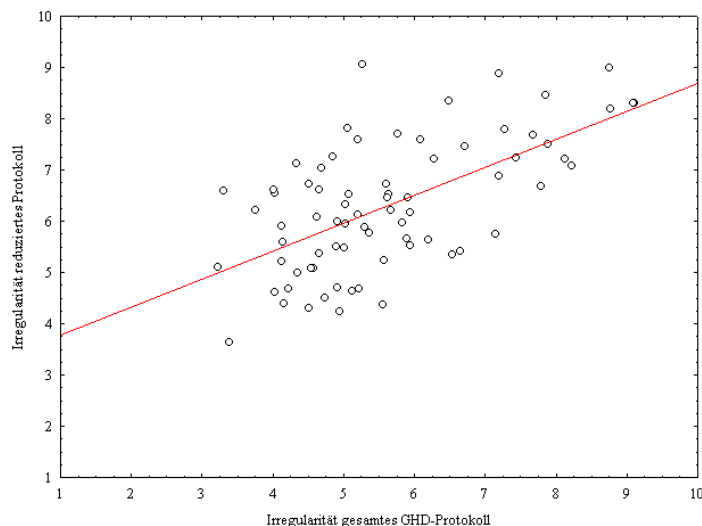
**Abbildung 13:** Scatterplot für die Korrelation zwischen der Irregularität aus reduziertem und gesamtem GHD-Protokoll bei einer Phonationsdauer von zwei Sekunden oder mehr ( $r=0,76$ )

Für den Parameter Rauschen betrug  $r=0,29$  mit  $P=0,20$ . In diesem Fall wurde also eine positive Korrelation festgestellt, der P-Wert war jedoch  $>0,05$  und damit nicht signifikant.

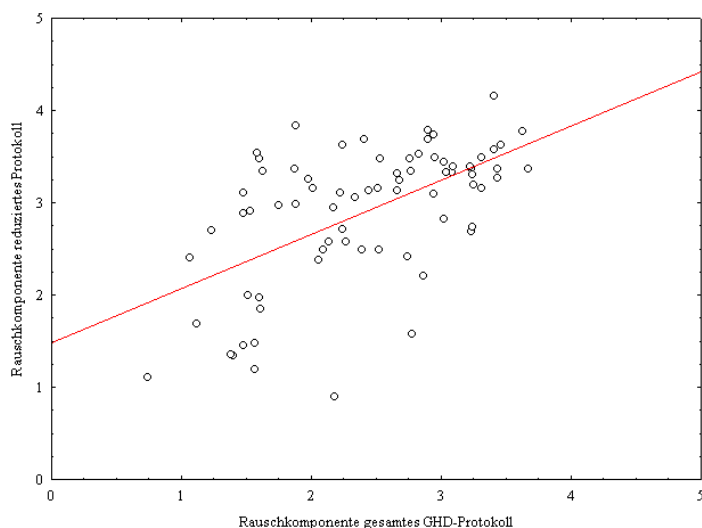


**Abbildung 14:** Scatterplot für die Korrelation zwischen der Rauschkomponente aus reduziertem und gesamtem GHD-Protokoll bei einer Phonationsdauer von zwei Sekunden oder mehr ( $r=0,29$ )

In gleicher Weise wurde für die Patienten verfahren, bei denen alle Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie zu einem Untersuchungstermin lediglich eine Sekunde lang waren und vor der Analyse verdoppelt wurden ( $n=74$ ). R lag für den Parameter Irregularität bei 0,61, der P-Wert bei  $P<0,001$ . Für den Rauschanteil ergab sich  $r=0,58$  mit  $P<0,001$ .



**Abbildung 15:** Scatterplot für die Korrelation zwischen der Irregularität aus reduziertem und gesamtem GHD-Protokoll nach Verdopplung der Tonfragmente ( $r=0,61$ )



**Abbildung 16:** Scatterplot für die Korrelation zwischen der Rauschkomponente aus reduziertem und gesamtem GHD-Protokoll nach Verdopplung der Tonfragmente ( $r=0,58$ )

### 3.4 Einfluss der Art der Vokale

Die vierte Analyse beinhaltete die Auftragung der Werte aus dem gesamten GHD-Protokoll gegen die Werte, die lediglich aus den acht Vokalen [ɛ:] des gesamten Protokolls ermittelt wurden. Dies sollte zeigen, ob auch unter Verwendung lediglich eines Vokals eine realistische Einschätzung der Stimmqualität möglich ist. Die Irregularitätskomponente korrelierte mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r=0,96$ , der P-Wert lag bei  $P<0,001$ .

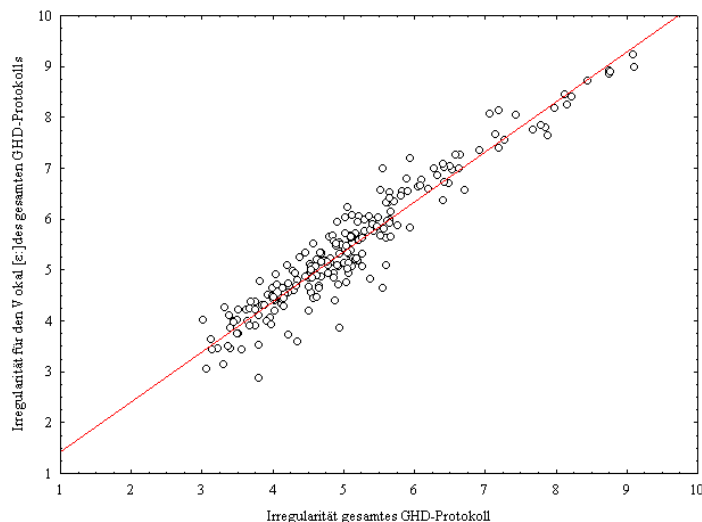


Abbildung 17: Scatterplot für die Korrelation zwischen der Irregularität aus den Vokalen [ε:] des gesamten GHD-Protokolls und gesamtem GHD-Protokoll ( $r=0,96$ )

Für den Rausch-Wert lag die Korrelation bei  $r=0,93$  mit einem P-Wert von  $P<0,001$ .

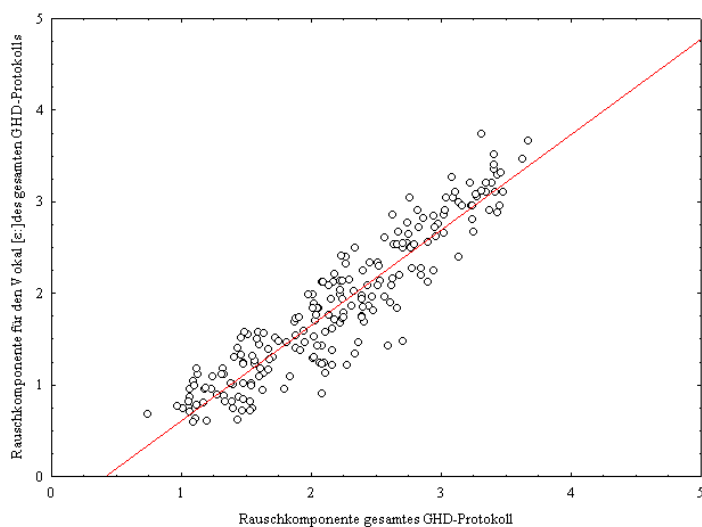
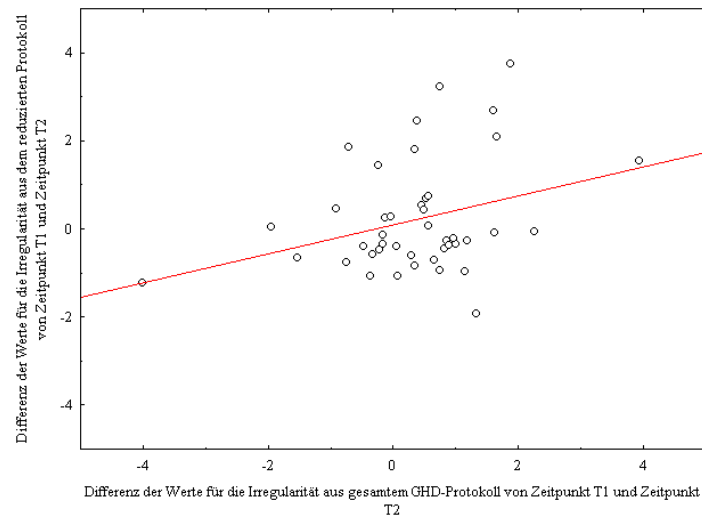


Abbildung 18: Scatterplot für die Korrelation zwischen der Rauschkomponente aus den Vokalen [ε:] des gesamten GHD-Protokolls und gesamtem GHD-Protokoll ( $r=0,93$ )

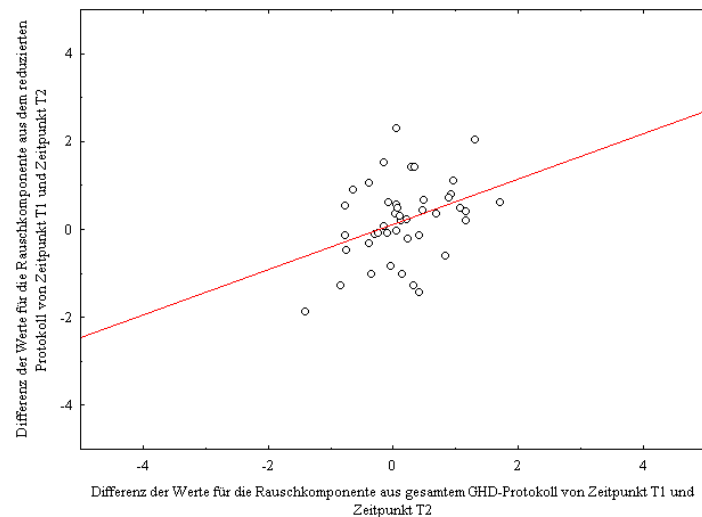
### 3.5 Stimmveränderungen im Verlauf

Als letztes wurde untersucht, ob beide Verfahren Veränderungen in der Stimmqualität gleichermaßen abbilden. Dazu wurde bei den 43 Patienten, von denen eine Zweituntersuchung angefertigt wurde, zunächst die Differenz zwischen den Werten für die Irregularität aus dem vollständigen GHD-Protokoll von Zeitpunkt T1 und Zeitpunkt T2

errechnet. Ebenso wurde mit den Werten aus Laryngoskopie und Stroboskopie verfahren. Die beiden sich ergebenden Werte wurden dann miteinander korreliert. Für den Parameter Rauschen wurde entsprechend verfahren. Für die Irregularität ergab sich  $r=0,32$ , für Rauschen  $r=0,37$ . Der P-Wert lag jeweils bei  $P<0,05$ .



**Abbildung 19:** Scatterplot für die Differenz der Werte für die Irregularität zwischen reduziertem und gesamtem GHD-Protokoll von Zeitpunkt T1 und Zeitpunkt T2 ( $r=0,32$ )



**Abbildung 20:** Scatterplot für die Differenz der Werte für die Rauschkomponente zwischen reduziertem und gesamtem GHD-Protokoll von Zeitpunkt T1 und Zeitpunkt T2 ( $r=0,37$ )

Zur besseren Übersichtlichkeit der Ergebnisse sind die Zahlenwerte aller durchgeführten Analysen in der folgenden Tabelle noch einmal aufgeführt.



Analyse	n	r		P		
		Irregularität	Rauschen	Irregularität	Rauschen	
<b>Methodik insgesamt</b>	213	0,65	0,55	P<0,001	P<0,001	
<b>Anzahl Stimmgebungen</b>	1	27	0,74	0,52	P<0,001	P=0,01
	2	34	0,62	0,55	P<0,001	P<0,001
	3	38	0,72	0,47	P<0,001	P<0,001
	4	45	0,53	0,56	P<0,001	P<0,001
	5	16	0,78	0,73	P<0,001	P<0,001
	>5	52	0,39	0,48	P<0,001	P<0,001
<b>Dauer Stimmgebungen (in Sekunden)</b>	2	21	0,76	0,29	P<0,001	P=0,2
	1	74	0,61	0,58	P<0,001	P<0,001
<b>Art des Vokals</b>	213	0,96	0,93	P<0,001	P<0,001	
<b>Veränderungen der Stimmqualität</b>	43	0,32	0,37	P<0,05	P<0,05	

Tabelle 1: Ergebnisse aller durchgeführten Analysen im Überblick

## 4 DISKUSSION

### 4.1 Relevanz der Fragestellung

Lässt sich durch die Analyse laryngoskopisch und stroboskopisch gewonnener Phonationen mittels des Göttinger Heiserkeits-Diagramms die Stimmqualität von Patienten gleichermaßen objektiv bestimmen wie bei der Stimmanalyse nach dem Standardverfahren? Ließe sich das Standardverfahren, bei dem nach einem festgelegten Protokoll Vokale ungehindert vom Patienten phoniert werden, durch diese einfachere Methode ersetzen? Und welche Eigenschaften (Anzahl, Dauer etc.) müssten die verwendeten Phonationen aufweisen, um ein optimales Ergebnis zu erzielen? Der Beantwortung dieser Fragen sollte die vorliegende Arbeit dienen.

Warum ist die Fragestellung überhaupt relevant? Die Bewertung der Stimmgüte von Patienten ist in der täglichen phoniatischen Praxis von grundlegender Bedeutung. Sie dient nicht nur der Klassifikation der Schwere von Stimmstörungen, was wegweisend für die anschließende Therapie ist, sondern erlaubt auch die Kontrolle des Behandlungserfolges solcher Therapiemaßnahmen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Stimmanalyse, die sich teils auf die subjektive Einschätzung der Stimmqualität durch den Untersucher stützen, teils rein objektiv vorgenommen werden (siehe Kapitel 1.3 und 1.4 dieser Arbeit). In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob die objektive Stimmanalyse mit dem Göttinger Heiserkeits-Diagramm auch dann valide Ergebnisse für die Stimmqualität liefert, wenn die Phonationen, die analysiert werden, nicht durch ungehinderte Phonation, sondern bei der sowieso routinemäßig durchgeführten phonoskopischen Untersuchung produziert werden. Wäre dies der Fall, ließen sich Stimmanalyse und Untersuchung des Larynx in einem Arbeitsschritt durchführen, was sowohl den zeitlichen als auch den personellen Aufwand deutlich reduzieren würde. Zudem wäre es somit möglich, das qualitativ identische Stimmsignal sowohl subjektiv als auch objektiv zu bewerten.

Bisherige Untersuchungen konzentrierten sich entweder nur auf einzelne der erwähnten Punkte oder auf die Methode des Göttinger Heiserkeits-Diagramms an sich: Lessing et al. verglichen zur Bewertung der Stimmqualität die Analyse fortlaufender Sprache mit der Analyse gehaltener Phonationen (Lessing et al. 1998, 1999). Michaelis et al. gingen der Frage nach dem Einfluss der Art der analysierten Vokale auf das Ergebnis der

Stimmanalyse nach (Michaelis et al. 1998b), Fröhlich et al. beschäftigten sich mit der Repräsentierbarkeit bestimmter Diagnosegruppen durch verschiedene Bereiche des Heiserkeits-Diagramms (Fröhlich et al. 1998d).

In der Literatur finden sich kaum Untersuchungen, die sich mit der Frage beschäftigen, ob die akustischen Eigenschaften der Stimme während der Phonoskopie den Eigenschaften während regulärer Phonation entsprechen: Fröhlich et al. verglichen bereits 1999 Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie hinsichtlich der ermittelten Stimmqualität nach Analyse mithilfe des GHD mit gehaltenen Phonationen nach dem vollständigen GHD-Protokoll. Der Fokus der Analyse lag hier jedoch eher auf der Frage nach dem Einfluss unterschiedlicher Laryngoskopie- und Stroboskopie-Mikrofone auf die ermittelten Werte der Stimmqualität. Es sollten hauptsächlich technische Rahmenbedingungen miteinander verglichen werden, gleichzeitig kamen Fröhlich et al. jedoch zu dem Ergebnis, dass die Stimmqualität während phonoskopischer Untersuchungen grundsätzlich der „tatsächlichen“ Stimmqualität, ermittelt durch die Standardmethode, entspricht (Fröhlich et al. 1999).

Dieser Aussage widerspricht eine Studie aus dem Jahre 2011. Meyer et al. (2011) beschäftigten sich mit der Frage, wie sich die starre Laryngoskopie auf akustische Parameter wie Jitter, Shimmer und HNR (Harmonics-to-Noise Ratio) sowie auf die Stimmlippendynamik während der Phonation auswirkt. Hierbei wurde insbesondere die unphysiologische Untersuchungssituation bei der starren Lupenendoskopie betrachtet und die dabei aufgezeichneten Stimmproben mit physiologisch produzierten Phonationen verglichen. Meyer et al. kamen zu dem Ergebnis, dass die starre Laryngoskopie im Vergleich zur physiologischen Phonation eine Erhöhung der Stimmfrequenz zur Folge hat; Jitter und Shimmer sind ebenfalls signifikant erhöht. Die HNR-Werte hingegen sinken im Vergleich zur physiologischen Phonationssituation signifikant ab. Dies bedeutet, dass durch die Untersuchungssituation bei der Lupenendoskopie signifikante Änderungen der objektiven Phonationsparameter entstehen. Da sich korrespondierende Veränderungen sowohl akustisch als auch elektrolottographisch nachweisen ließen, wurde ebenfalls eine Veränderung der Stimmlippendynamik während der Untersuchung nachgewiesen. Dies widerspricht der Aussage von Fröhlich et al. In der Literatur finden sich somit unterschiedliche Angaben über den Einfluss der Phonationssituation auf die ermittelte Stimmqualität.

## 4.2 Diskussion der Ergebnisse

### 4.2.1 Vergleich beider Analysemethoden

Die in dieser Arbeit vorliegenden Ergebnisse lassen ähnliche Schlussfolgerungen zu wie die Studie von Fröhlich et al. (1997). In dem im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten generellen Vergleich zwischen reduziertem und vollständigem GHD-Protokoll, in den alle Patienten ohne Einschränkungen eingeschlossen wurden, zeigte sich sowohl für den Parameter der Irregularität als auch für den Rauschanteil des Stimmsignals eine positive Korrelation und ein signifikantes Ergebnis. Für die Irregularität konnte mit  $r=0,65$  eine höhere Korrelation zwischen beiden Methoden beobachtet werden als für den Rauschparameter ( $r=0,55$ ). Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Fröhlich et al. (1999) und ist wohl darauf zurückzuführen, dass bei der Phonoskopie auf Grund der Untersuchungssituation ein vollständiger Glottisschluss schwerer erreicht werden kann als bei der unbehinderten Phonation während der regulären Tonaufnahme. Gleichzeitig stellt sich die Frage, ob der Ton, der während laryngoskopischer und stroboskopischer Untersuchungen aufgezeichnet wird, bedingt durch die Untersuchungssituation dennoch als repräsentativ für die tatsächliche Stimmqualität angesehen werden kann. Zum einen belegen die vorliegenden Ergebnisse, dass dies möglich ist. Zum anderen wird auch das Bild der funktionellen Gegebenheiten, das sich dem Untersucher darstellt, als repräsentativ angesehen und die Untersuchungssituation hinsichtlich der Bewertung des laryngealen Befundes außer Acht gelassen.

Dennoch erschwert die für den Patienten anspruchsvolle Untersuchungssituation bei der Phonoskopie die objektive Bewertung der Rauschkomponente. Um diesen Effekt aufzufangen, wäre es sicherlich sinnvoll, weitere Studien durchzuführen. So wäre es beispielsweise interessant zu untersuchen, in welchem Maße der absolute Wert für den Rauschparameter aus Laryngoskopie und Stroboskopie von dem aus der Standardmethode des GHD abweicht. Über die Bestimmung einer prozentualen Abweichung ließe sich ein Faktor ermitteln, über den sich der Anteil des reduzierten Glottisschlusses, der allein durch die Untersuchungssituation ausgelöst wird, rechnerisch ausgleichen ließe. Damit wäre eine objektive Beurteilung auch des Rauschparameters durch die Phonoskopie möglich und die Untersuchungssituation zusätzlich berücksichtigt.

## 4.2.2 Einfluss der Anzahl der Phonationen

Die Analyse zur Beantwortung der Frage, welche Anzahl von Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie die höchste Korrelation zum Standardverfahren ergibt, muss unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden: Grundsätzlich ergab sich für beide Parameter das Ergebnis, dass bei fünf Stimmgebungen die höchste Korrelation erzielt wurde. Dies entspricht den Erwartungen, da bei höherer Anzahl von Stimmgebungen die Annäherung an den „tatsächlichen Wert“ der Stimmqualität (ermittelt aus der Standardmethode) wahrscheinlicher ist als bei einer geringen Anzahl von Phonationen. Für den Parameter der Irregularität war der absolute Wert für den Korrelationskoeffizienten bei fünf Phonationen mit  $r_5=0,78$  jedoch nur unwesentlich höher als der Wert bei nur einer Stimmgebung ( $r_1=0,74$ ). Hinzu kommt, dass für die Irregularitätskomponente bei mehr als fünf Stimmgebungen (sechs bis zwölf) lediglich eine Korrelation von  $r_6=0,39$  beobachtet werden konnte. Da hier die höchste Anzahl von Stimmgebungen zur Verfügung stand, ließe dies eigentlich einen stabileren Wert für den Korrelationskoeffizienten erwarten. Ursächlich für diese Unterschiede könnte sein, dass Patienten, bei denen eine solch große Anzahl an Stimmgebungen vorlag, die Untersuchungssituation der Laryngoskopie meist nicht gut tolerierten. Sie benötigten daher viele Phonationsversuche, bis der Untersucher einen ausreichenden Eindruck der anatomischen Gegebenheiten gewinnen konnte. Liegen Probleme mit der Untersuchungssituation vor, so ist eine größere Diskrepanz zwischen den Werten für die Stimmqualität aus beiden Verfahren nicht verwunderlich, da die Bedingungen der Stimmgebung noch weniger als ohnehin schon den Gegebenheiten bei unbehinderter Phonation entsprechen. Dies stellt gleichzeitig einen möglichen Schwachpunkt in der Methodik der Untersuchung dar.

Dennoch bietet dies nur bedingt eine Erklärung dafür, dass für den Irregularitätsparameter kein kontinuierlicher Anstieg der Korrelation bei zunehmender Anzahl der Stimmgebungen beobachtet werden konnte, sondern ein wellenförmiger Verlauf mit niedrigeren Korrelationswerten für zwei als für eine bzw. für vier als für drei Phonationen ( $r_1=0,74$ ,  $r_2=0,62$ ,  $r_3=0,72$ ,  $r_4=0,53$ ).

Beachtet werden muss außerdem, dass die Anzahl von Patienten, die jeweils eine bestimmte Anzahl von Phonationen produzierte, nicht einheitlich war. So konnten beispielsweise in die Analyse für eine Stimmgebung 28 Patienten, für fünf Stimmgebungen 16 Patienten und für mehr als fünf Stimmgebungen 52 Patienten einbezogen werden. Eine Vereinheitlichung der Patientenzahl würde sicherlich dazu beitragen, die ermittelten

Effekte lediglich auf die verwendete Anzahl von Stimmgebungen zurückzuführen und somit Einflüsse durch die Patientenzahl auszuschließen.

Für den Rauschparameter ließ sich die höchste Korrelation eindeutig bei fünf Phonationen festlegen ( $r_5=0,73$ ). Zwar war auch hier kein kontinuierlicher Anstieg bei Zunahme der Anzahl der Stimmgebungen feststellbar, es fielen jedoch lediglich die Werte für  $r_3$  und  $r_6$  aus dem Rahmen, die jeweils niedrigere Korrelationswerte als die Vorstufen zeigten. Insgesamt lagen die einzelnen Stufen, abgesehen von  $r_5$ , mit einem absoluten Abstand von maximal 0,09 dennoch recht nah beieinander ( $r_3=0,47$ ,  $r_4=0,56$ ). Mit  $r_6=0,48$  zeigte sich erneut ein Rückgang der Korrelation bei sechs bis zwölf Stimmgebungen. Die Signifikanz war jedoch immer gegeben.

In der Literatur sind die Angaben über die Anzahl von Stimmproben, die für die objektive Beschreibung der Stimmgüte notwendigerweise erhoben werden müssen, uneinheitlich: Laut Scherer et al. (1995) sind zwischen sieben und 15 Proben notwendig. Dies ist jedoch je nach Parameter, der beurteilt werden soll, und Grad der Stimmstörung unterschiedlich. Titze et al. (1987) verwendeten sogar bis zu 32 Stimmproben zur Analyse der Stimmqualität. An anderer Stelle wurde belegt, dass z.B. das Alter der untersuchten Personen die notwendige Anzahl von Phonationen beeinflusst (Linville 1988). Zu beachten ist jedoch, dass bei keiner dieser Studien das GHD als Analysemethode verwendet wurde. Die einzige Untersuchung, die sich bezüglich dessen auf das GHD als Untersuchungsmethode bezieht, wurde 1998 von Michaelis et al. durchgeführt (Michaelis et al. 1998b). Als Ergebnis konnte die Möglichkeit der Reduktion auf drei Vokale beobachtet werden. In dieser Untersuchung ging es jedoch um den Einfluss phonetischer Unterschiede zwischen den einzelnen Vokalen - je nach Vokalkombination ergaben sich unterschiedlich gute Ergebnisse. Somit stellt sich die Frage, inwieweit die Aussage, dass nur drei Stimmproben zur objektiven Bewertung der Stimmqualität ausreichen, wirklich auf die Anzahl der Stimmgebungen und nicht auf die Art der verwendeten Vokale selbst zurückzuführen ist. Da eine Trennung dieser beiden Einflüsse in der genannten Untersuchung letztlich nicht vorgenommen werden kann, sind weitere Untersuchungen zur Festlegung der Anzahl der notwendigen Phonationen in der Phonoskopie zur objektiven Stimmanalyse zu empfehlen.

### 4.2.3 Einfluss der Phonationsdauer

Neben der Frage nach der notwendigen Anzahl von Phonationen zur Stimmanalyse sollte in der vorliegenden Arbeit auch untersucht werden, welchen Einfluss die Phonationsdauer auf das Ergebnis der Stimmanalyse hat. Ebenfalls stellte sich die Frage, ob es zulässig ist, Phonationen in die Untersuchung mit einzubeziehen, die lediglich eine Sekunde lang waren und daher vor der Analyse mittels des GHD auf die Länge von zwei Sekunden verdoppelt wurden. Diese Frage ist insofern entscheidend, als dass die laryngoskopische bzw. stroboskopische Untersuchung für viele Patienten problematisch ist und sie daher häufig nicht in der Lage sind, Phonationen ausreichend lange zu halten. Dabei ist die Ursache dafür nicht in der vorliegenden Stimmstörung zu sehen, sondern wird lediglich durch die unangenehme Untersuchungssituation verursacht. Könnten Phonationen kürzerer Dauer ebenfalls analysiert werden, wäre die Untersuchungsmethode einer größeren Anzahl von Patienten zugänglich.

Es konnte gezeigt werden, dass für Irregularität und Rauschparameter gemeinsam betrachtet die Korrelationswerte insgesamt besser waren, wenn die Stimmgebungen verdoppelt wurden, als wenn sie von vorne herein eine Länge von zwei Sekunden oder mehr aufwiesen. Methodisch gesehen scheint die im Nachhinein vorgenommene „Verlängerung“ der Stimmproben also zulässig zu sein. Für die Irregularität konnte ein Korrelationskoeffizient von  $r=0,61$ , für den Rauschparameter von  $r=0,58$  beobachtet werden, die Signifikanz war für beide Parameter gegeben. Dies ist besonders vor dem Hintergrund ein gutes Ergebnis, dass sowohl für die Irregularität als auch die Rauschkomponente zu erwarten wäre, dass die absoluten Werte mit zunehmender Dauer der Stimmgebung geringer werden. Dies ist anzunehmen, da die Stimmlippenschwingung und auch der Glottisschluss bei längerer Phonationsdauer regelmäßiger bzw. stabiler werden. Für die Irregularitätskomponente bestätigte sich diese Annahme, da der Korrelationswert für diesen Parameter bei den Stimmgebungen, die ohne Verdopplung bereits eine Länge von mindestens zwei Sekunden aufwiesen, mit  $r=0,76$  deutlich höher war. Für den Rauschanteil des Stimmsignals ließ sich dies jedoch nicht beobachten, hier konnte lediglich ein Korrelationskoeffizient von  $r=0,29$  erreicht werden. Außerdem wurde hier das Signifikanzniveau von  $P<0,05$  überschritten ( $P=0,2$ ). Ursache hierfür könnte ebenfalls die Tatsache sein, dass der Glottisschluss bei zu langer Phonationsdauer, ähnlich wie bei der sehr kurzen, wiederum unvollständig wird, wodurch ein höherer Rauschanteil des Stimmsignals zu erklären wäre. Dieser Effekt lässt sich darauf zurückführen, dass bei

sehr langer Phonationsdauer auf Grund der langen Exspirationsphase gegen Ende die Spannung der Stimmlippen zunimmt.

Über die notwendige Dauer von Phonationen zur Stimmanalyse insgesamt ist in der Literatur bisher wenig berichtet worden. Dirk Michaelis hat in der Entwicklung des Göttinger Heiserkeits-Diagramms lediglich eine optimale Phonationsdauer von drei bis fünf Sekunden festgelegt (Michaelis 1999). Mit dem Programm „lingWAVES“ ist eine Analyse von Stimmgebungen nur dann möglich, wenn diese eine Länge von mindestens 0,5 Sekunden aufweisen. Für die Analyse gehaltener Phonationen ist somit rein technisch gesehen eine Mindesttonhaldedauer von 0,5 Sekunden notwendig, was jedoch im Hinblick auf Stimmlippenschwingung und Glottisschluss sehr kurz erscheint. Wie repräsentativ Stimmgebungen dieser Länge für die Stimmqualität sind, bleibt fraglich.

Auf welche Länge das Stimmsignal maximal gekürzt werden darf, ohne dass es seine valide Aussagekraft über die Stimmqualität verliert, ist bislang nicht Gegenstand eigener Untersuchungen gewesen. Dabei würde eine kürzere Phonationsdauer, zumindest für die Phonoskopie, eine deutliche Vereinfachung für den Patienten bedeuten. Einige Untersuchungen haben sich statt mit gehaltenen Phonationen mit der Stimmanalyse fortlaufender Sprache beschäftigt (Lessing et al. 1998, 1999), wobei die Sprachsequenzen eine Mindestdauer von 0,7 Sekunden aufweisen mussten (Lessing et al. 1998). Dies war jedoch eher den technischen Anforderungen geschuldet, welche bei der Einteilung der vom Patienten gelesenen Texte in stimmhafte, analysierbare Abschnitte erfüllt sein mussten. Sie diente nicht der Exploration einer möglichst minimalen Phonationsdauer bei der Stimmanalyse.

#### **4.2.4 Einfluss der Art der Vokale**

Nachdem der Einfluss der Phonationsanzahl und -dauer auf die Stimmqualität untersucht wurde, sollte ebenfalls die Frage beantwortet werden, ob und wie sehr sich die Art der zur Stimmanalyse verwendeten Vokale auf die Stimmqualität auswirkt. In früheren Studien konnte gezeigt werden, dass die phonetischen Eigenschaften der Vokale durchaus Einfluss auf das Ergebnis der Stimmanalyse haben. Michaelis et al. kamen zu dem Schluss, dass unabhängig von der Anzahl der verwendeten Stimmproben die Verwendung nur eines Vokals nicht empfohlen werden kann (Michaelis et al. 1998b). In der genannten Studie wurde das Protokoll des GHD zunächst auf 18 Vokale reduziert ([ε:], [a:], [e:], [i:], [o:]



und [u:] in den Tonlagen normal, hoch und tief) und daraus die Werte für Irregularität und Rauschen berechnet. Im Anschluss wurden verschiedene Vokale, lediglich in der Tonlage normal, miteinander kombiniert, um zu untersuchen, ob es durch die Verwendung von zwei bis drei Vokalen möglich ist, denselben Wert für die beiden Parameter der Stimmqualität zu erhalten. Dabei ergab sich, dass durch die Benutzung von lediglich drei Vokalen ein zuverlässiges Ergebnis erreicht werden kann, allerdings bestimmte Vokalkombinationen günstiger sind als andere. So zeigte sich, dass die Kombination der Vokale [ɛ:], [i:] und [u:] besser geeignet ist als beispielsweise die Verwendung der Vokale [ɛ:], [a:] und [e:]. Unterschiede für Irregularität und Rauschen gilt es auch hier zu beachten. Die Verwendung von sechs Vokalen ergab im Vergleich nur eine unwesentliche Verbesserung der Werte, wurde allerdings nur ein Vokal in die Analyse einbezogen, verschlechterten sich die Werte deutlich.

Auch in einer früheren Studie kamen Michaelis et al. zu dem Ergebnis, dass die Vokalqualität durchaus Einfluss auf die Werte für Irregularität und Rauschen hat (Michaelis et al. 1997b). In der vorliegenden Untersuchung hingegen lieferte die Verwendung lediglich eines Vokals ([ɛ:]) in der Stimmanalyse ein valides und signifikantes Ergebnis: Die Korrelation der Werte aus dem gesamten GHD-Protokoll mit den Werten aus allen acht Vokalen [ɛ:] desselben zeigte für die Irregularität einen Korrelationskoeffizienten von  $r=0,96$ , für den Parameter Rauschen war  $r=0,93$  - beide Ergebnisse waren also signifikant. Dies belegt, dass die Stimmqualität, wird nur der Vokal [ɛ:] analysiert, nahezu identisch ist mit den aus der Analyse des gesamten Protokolls des GHD ermittelten Werten für beide Stimmgüteparameter. Die Verwendung eines einzelnen Vokals liefert also durchaus realistische Ergebnisse. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Aufzeichnung des Vokals [ɛ:] dabei unter ungehinderten Phonationsbedingungen und nicht im Rahmen der Phonoskopie erfolgte. Dies beeinflusst möglicherweise die Werte für die Stimmqualität allein durch den Untersuchungsprozess.

#### 4.2.5 Stimmveränderungen im Verlauf

Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war es, herauszufinden, ob es durch die Stimmanalyse nach dem reduzierten Protokoll in gleichem Maße wie durch das Standardprotokoll des GHD möglich ist, Veränderungen der Stimmqualität abzubilden. In verschiedenen Studien wurde nachgewiesen, dass nicht nur bestimmte Diagnosegruppen im GHD signifikante Unterschiede in der Stimmgüte aufweisen, sondern dass sich Veränderungen in der Stimmqualität von Patienten im Verlauf, z.B. durch Logopädie, im GHD ebenfalls darstellen (Fröhlich et al. 1998b, 1998c, 1998d, Michaelis et al. 1997b). In der vorliegenden Arbeit wurden Zweituntersuchungen von 43 Patienten angefertigt, um die Stimmqualität im Verlauf beurteilen zu können. Aus den Werten für Irregularität bzw. Rauschen von beiden Zeitpunkten wurde, getrennt für beide Verfahren, jeweils die Differenz aus beiden Zeitpunkten errechnet und die Ergebnisse aus beiden Verfahren miteinander korreliert. Es ergab sich für die Irregularität ein Wert von  $r=0,32$ , der Korrelationskoeffizient für den Rauschparameter lag mit  $r=0,37$  etwas höher. Für beide lag der P-Wert bei  $<0,05$ . Obwohl das Maß der Korrelation nicht so hoch ist wie in den anderen durchgeführten Analysen, lässt sich dennoch der Schluss ziehen, dass sich die Phonationen aus der Phonoskopie ebenfalls zur Abbildung von Stimmqualitätsveränderungen eignen. Da die Patienten nicht nach Diagnose unterteilt wurden, scheint dies auch für alle Stimmstörungen gleichermaßen möglich zu sein. Kritisch anmerken ließe sich hier hinsichtlich der Untersuchungsdurchführung, dass weder die Zeit zwischen beiden Untersuchungen (zwischen drei Wochen und 14 Monaten) noch die in der Zwischenzeit durchgeführte Behandlung (z.B. Logopädie, Operation, keine Behandlung) für alle Patienten gleich waren. Jedoch würde die Betrachtung dieser Faktoren lediglich Hinweise auf die Effektivität der zwischenzeitlich durchgeführten Maßnahmen geben und nicht unbedingt eine Aussage darüber zulassen, ob auch phonoskopisch gewonnene Stimmgebungen zur Verlaufskontrolle geeignet sind.

### 4.3 Diskussion der Methodik

Die Methodik, mit der die Stimmproben nach dem vollständigen Protokoll des GHD aufgezeichnet wurden, ist standardisiert und erprobt. In zahlreichen Studien konnte belegt werden, dass die Stimmanalyse mittels des GHD eine valide, objektive und reproduzierbare Aussage über die Stimmqualität liefert und dies auch für stark gestörte Stimmen der Fall ist (Fröhlich et al. 1997, 1998b, 1998c).

Die Laryngoskopie bzw. Stroboskopie wird ebenfalls mit einer bestimmten, immer gleichen technischen Ausrüstung durchgeführt. Da die letztgenannten Untersuchungen jedoch normalerweise nicht der Beurteilung der Stimmqualität, sondern der anatomischen und funktionellen Gegebenheiten des stimmbildenden Apparates dienen, sind die verwendeten technischen Geräte nicht mit Sicherheit optimal für die Gewinnung von Stimmproben zur Stimmanalyse geeignet. In einer Studie von Fröhlich et al. (1999) wurde untersucht, welche Rahmenbedingungen für die Gewinnung von Stimmgebungen zur Beurteilung der Stimmqualität aus phonoskopischen Untersuchungen berücksichtigt werden sollten. Die Untersuchung hatte zum Ergebnis, dass die Erfassung der Stimmgüte aus solchen Phonationen ein realistisches Bild liefern kann, wenn zur Aufzeichnung des Stimmsignals das Mikrofon der Laryngoskopieapparatur und kein externes Kopfmikrofon verwendet wird. Das GHD stellte sich im Zuge der genannten Untersuchung als recht robust gegenüber Hintergrundgeräuschen dar. Zu beachten war jedoch der Einfluss des Stroboskopgeräuschs auf die ermittelte Stimmqualität. Dieses Problem wurde in der vorliegenden Arbeit umgangen, in dem zwar stroboskopische Aufzeichnungen verwendet wurden, hier aber nur solche in die Analyse einbezogen wurden, auf denen kein Geräusch des Stroboskops vorhanden war. Da die Voraussetzung für die Verwendung der Stimmproben eine ursprüngliche Phonationsdauer von einer Sekunde war, ließ sich dies problemlos realisieren.

Die Stimmgebungen betreffend, die aus phonoskopischen Untersuchungen gewonnen wurden, muss die verwendete Methodik unter einem weiteren Gesichtspunkt kritisch betrachtet werden: Aus den einzelnen Stimmgebungen mussten zunächst Heiserkeits-Diagramme mit dem Programm „lingWAVES“ erstellt werden. Dieses kann Stimmgebungen jedoch nur erkennen, wenn sie vom Programm aufgezeichnet werden. Es ist nicht möglich, sie einfach in das Analysemodul zu kopieren. Aus diesem Grund wurden die laryngoskopisch und stroboskopisch gewonnenen Phonationen von einem Laptop über ein Audio-Kabel in „lingWAVES“ überspielt. Ob diese Vorgehensweise die Tonqualität

beeinflusst und sich in der letztendlich gemessenen Stimmqualität niederschlägt, lässt sich nicht abschätzen. Es ist jedoch theoretisch möglich, dass der Ton durch diese Methode nicht ausreichend originalgetreu wiedergegeben wird und so die Ergebnisse der Stimmanalyse verfälscht. Um einen solchen Effekt auszuschließen wäre es sicherlich sinnvoll, die Phonationen aus beiden Verfahren technisch identisch in das Programm „lingWAVES“ einzuspeisen. Zum Studienzeitpunkt war dies jedoch nicht realisierbar.

Neben dem Einfluss der verwendeten Technik stellt sich darüber hinaus die Frage nach dem Einfluss der Tonlage der Phonationen auf das Ergebnis der Stimmanalyse. Da die Stimmaufnahmen aus der Phonoskopie in keiner standardisierten Tonhöhe aufgezeichnet wurden, lässt sich der Einfluss dessen auf die Ergebnisse nicht einschätzen. Größtenteils lagen die Phonationen in mittlerer Sprechstimmlage vor. Einige Patienten phonierten darüber hinaus auch in anderen Tonlagen, jedoch keinem festgelegten Protokoll folgend. Laut Literatur ist die Tonlage durchaus relevant für das ermittelte Maß der Stimmgüte (Michaelis et al. 1997b). Das festgelegte Protokoll des GHD beinhaltet die Tonlagen normal, tief und hoch, die Stimme wird zusätzlich nach einer standardisierten Belastungssituation aufgezeichnet. Es ist daher fraglich, ob dieselben Werte für die Stimmqualität überhaupt erreicht werden können, wenn die Stimmproben aus Laryngoskopie und Stroboskopie nur in normaler Tonlage aufgezeichnet werden bzw. in nicht festgelegter Anzahl in anderen Tonlagen.

Eine weitere Fragestellung bezüglich der Methodik der Untersuchung, deren Beantwortung Gegenstand weiterer Untersuchungen sein könnte, ist die Frage nach der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der Stimmanalyse von phonoskopisch gewonnenen Stimmproben. Da die Analyse nach dem vollständigen Protokoll des GHD mit der Aufzeichnung ungehinderter Phonationen standardisiert ist, ist eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse hier gegeben. Die Stimmgebung bei Laryngoskopie und Stroboskopie wird jedoch durch die Untersuchungssituation erschwert, sodass sich die Frage stellt, inwiefern hier immer gleiche Ergebnisse in der Stimmqualität bei wiederholter Durchführung der Untersuchung zu erreichen sind. Es ist durchaus möglich, dass bei mehrfach hintereinander durchgeführter Phonoskopie ein Trainingseffekt beim Patienten auftritt, der die Ergebnisse für die Stimmqualität allein durch die gewonnene Routine während der Untersuchung zu verbessern vermag. Ob bzw. in welchem Maße dies der Fall ist, wäre eine interessante Arbeitshypothese für weitere Studien.

Darüber hinaus lässt sich kritisch anmerken, dass einige Patienten nicht in die Studie einbezogen werden konnten, da sie nicht in der Lage waren, mit der

Untersuchungssituation ausreichend umzugehen. Da bei einem objektiven Stimmtest neben der Reproduzierbarkeit auch die Durchführbarkeit bei möglichst allen Patienten als Grundvoraussetzung angesehen werden kann, wäre es beispielsweise sinnvoll zu untersuchen, ob sich auch Phonationen, die während flexibler Endoskopie durch den Nasopharynx aufgezeichnet wurden, zur Stimmanalyse nach dem in dieser Arbeit angewandten Vorgehen eignen. Dies würde die Durchführung der Stimmanalyse auch bei Patienten mit ausgeprägtem Würgereiz oder anderen Schwierigkeiten mit der Untersuchungssituation ermöglichen.

#### **4.4 Diskussion der Patientenauswahl**

Die 213 Patienten, deren Stimmanalysen in dieser Arbeit verwendet wurden, wurden konsekutiv ohne Berücksichtigung der Diagnose aus der Datenbank der Phoniatrie und Pädaudiologie der Abteilung für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde der Universitätsmedizin Göttingen ausgewählt. Da neben stimmgesunden Patienten auch solche mit organischen, funktionellen, neurologischen und psychosomatischen Stimmstörungen in die Untersuchung eingeschlossen waren und darüber hinaus eine Altersspanne von 8 bis 88 Jahren vertreten war, wurde die Vergleichbarkeit beider Analysemethoden an einem breit gefächerten Patientenkollektiv untersucht. In verschiedenen Studien wurde bisher nur hinterfragt, ob Patienten mit gleicher Diagnose gleichermaßen im Göttinger Heiserkeits-Diagramm abgebildet werden bzw. ob sie ähnliche Werte für die Stimmqualität zeigen. Dies wurde ebenfalls für die Ebene des Phonationsmechanismus untersucht (Fröhlich et al. 1998b, 1998c, 1998d, 2000; Michaelis et al. 1997b). In der vorliegenden Untersuchung wurden weder die Diagnose noch der Phonationsmechanismus berücksichtigt. Zwar waren beide Parameter bekannt, ihr Einfluss wurde jedoch nicht gesondert untersucht. Die Beantwortung der Frage, ob auch die Stimmanalyse von phonoskopisch gewonnenen Stimmgebungen eine signifikante Trennung der Stimmqualitäten je nach Diagnose oder Phonationsebene erlaubt, könnte ebenfalls Ziel künftiger Untersuchungen sein.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit sollte dazu dienen, eine weniger zeit- und personalintensive Methode zur objektiven Stimmanalyse zu etablieren. Zur Ermittlung der Stimmqualität wurde das Göttinger Heiserkeits-Diagramm verwendet. Dieses analysiert 28 Stimmproben, die nach einem festgelegten Protokoll vom Patienten aufgezeichnet werden und gibt die Stimmqualität hinsichtlich der beiden Parameter Rauigkeit und Behauchtheit an. Über diese Standardmethode wurde die Stimmqualität von Patienten eingeschätzt. Von denselben Patienten wurden zusätzlich mithilfe des GHD Stimmanalysen angefertigt, bei denen die Stimmproben nicht nach dem Standardprotokoll aufgezeichnet, sondern statt dessen während laryngoskopischer und stroboskopischer Untersuchungen gewonnen wurden.

In der phoniatischen Praxis ist es obligat, zusätzlich zu jeder Stimmanalyse eine Laryngoskopie durchzuführen, um organische Erkrankungen bei den Patienten auszuschließen bzw. diese zu diagnostizieren. Könnten während dieser Untersuchung aufgezeichnete Stimmgebungen gleichzeitig zur objektiven Stimmanalyse verwendet werden, würde dies eine deutliche Reduktion des Arbeitsaufwandes bedeuten. Da die Stroboskopie vom Untersuchungsablauf her identisch ist, wurden auch Stimmgebungen aus solchen Untersuchungen für diese Arbeit verwendet.

Es wurden 213 Patienten in die Analyse einbezogen, davon waren 97 männlich und 116 weiblich. Von diesen Patienten lagen bereits Göttinger Heiserkeits-Diagramme vor, die nach dem Standardprotokoll und unter Standardbedingungen aufgezeichnet und angefertigt wurden. Aus Ihnen wurden die Werte für Irregularität und Rauschen bzw. Rauigkeit und Behauchtheit für unsere Analyse gewonnen.

Vom selben Untersuchungstag lagen ebenfalls Videoaufzeichnungen von laryngoskopischen und stroboskopischen Untersuchungen dieser Patienten vor. Die Stimmgebungen, die auf diesen Aufnahmen enthalten waren, wurden verwendet, um daraus für jeden Patienten ein zweites GHD zu erstellen. Es lagen für jeden Patienten also ebenfalls Werte für Irregularität und Rauschen aus Laryngoskopie und Stroboskopie vor. Die Werte aus der Standardmethode und aus den phonoskopischen Untersuchungen wurden miteinander unter verschiedenen Fragestellungen korreliert. Hierdurch sollte festgestellt werden, welche Anforderungen an die Phonationen aus Laryngoskopie und Stroboskopie zu stellen sind, damit sie eine realistische Einschätzung der tatsächlichen Stimmqualität ermöglichen. Als tatsächliche Stimmqualität wurden die Ergebnisse der

Stimmanalyse nach der Standardmethode angesehen. Es konnte gezeigt werden, dass die Verwendung von Stimmproben aus Laryngoskopie und Stroboskopie verlässliche Werte für die Stimmqualität liefert. Hinsichtlich der Anzahl der Stimmgebungen, die von den Patienten während der Phonoskopie produziert, aufgezeichnet und zur Analyse verwendet wurden, ergab die Verwendung von fünf Stimmgebungen die größte Korrelation zum Standardverfahren. Dass die Verwendung von Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie auf Grund der Untersuchungssituation lediglich den Vokal [ε:] für die Stimmanalyse bereitstellen kann, wirkte sich in der vorliegenden Studie nicht negativ auf die Validität der Ergebnisse aus. Die Abbildung von Stimmveränderungen im Verlauf, wie sie durch das Standardprotokoll des Göttinger Heiserkeits-Diagramms gegeben ist, scheint grundsätzlich ebenfalls nach der hier vorgeschlagenen Methode möglich zu sein, dies bedarf jedoch weiterer Untersuchungen. Dasselbe gilt für die optimale Phonationsdauer der Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verwendung von Stimmgebungen aus Laryngoskopie und Stroboskopie für die objektive Stimmanalyse mittels des Göttinger Heiserkeits-Diagramms grundsätzlich möglich ist. Ein eigenes, objektivierbares Protokoll für diese Art der Stimmanalyse konnte mit dieser Arbeit nicht vorgelegt werden. Es konnten lediglich Hinweise darauf gewonnen werden, welche Charakteristika der Phonationen Einfluss auf die ermittelten Werte der Stimmqualität haben. Um einen klar definierten Untersuchungsablauf für die vorgeschlagene Methode zu entwickeln, bedarf es weitergehender Studien.

## 6 ANHANG

### 6.1 Abkürzungsverzeichnis

.avi	audio video interleave; (Video-Containerformat, Microsoft®)
Bit	binary digit (englisch für Binärzahl); Maßeinheit für die Datenmenge bei digitaler Datenspeicherung
dB	Dezibel; Maßeinheit für den Schalldruckpegel
GHD	Göttinger Heiserkeits-Diagramm
.ghd	Speicherformat der Quellen-Datei jedes einzelnen Göttinger Heiserkeits-Diagramms
GNE	Glottal-to-noise Excitation ratio; Parameter zur Bestimmung des Glottisschlusses bei der Phonation
GRBAS	Grade, Roughness, Breathiness, Asthenic, Strained; Skala zur subjektiven Einschätzung der Stimmgüte (GRBAS-Skala)
HNR	Harmonics-to-noise ratio; Verhältnis der harmonischen Signalenergie zur Energie des Rauschanteils des Stimmsignals
Hz	Hertz; Maßeinheit für die Frequenz
kHz	Kilohertz; Maßeinheit für die Frequenz
NNE	normalized-noise energy; Verhältnis der Rauschenergie zur Gesamtenergie des Stimmsignals
PCM	Lineare Puls-Code-Modulation; Audioformat



RBH Rauigkeit, Behauchtheit, Heiserkeit; Skala zur subjektiven Bewertung der Stimmqualität (RBH-Skala)

.wav Waveform Audio File (Audio-Format, Microsoft®)

## 6.2 Graphen

### Quantil-Quantil-Plots zur graphischen Darstellung der Normalverteilung

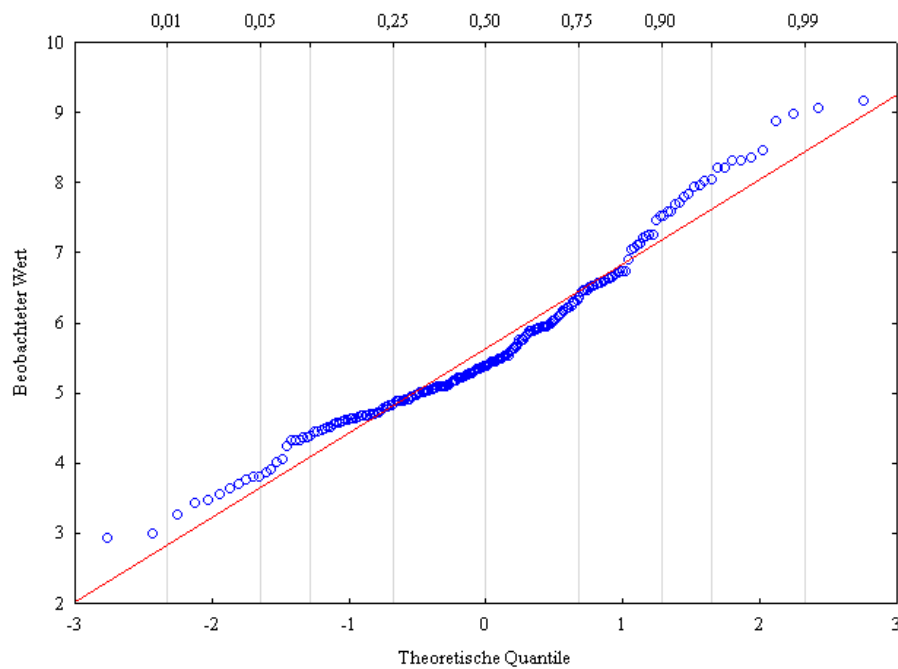


Abbildung 21: Q-Q-Plot für die Irregularität aus Laryngoskopie/Stroboskopie zum Zeitpunkt T1

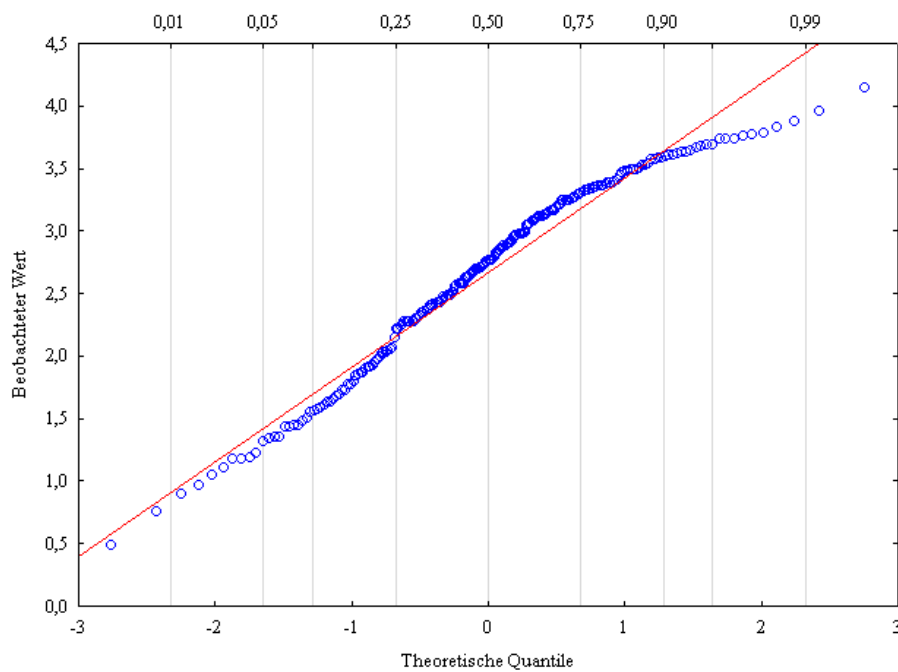


Abbildung 22: Q-Q-Plot für Rauschen aus Laryngoskopie/Stroboskopie zum Zeitpunkt T1

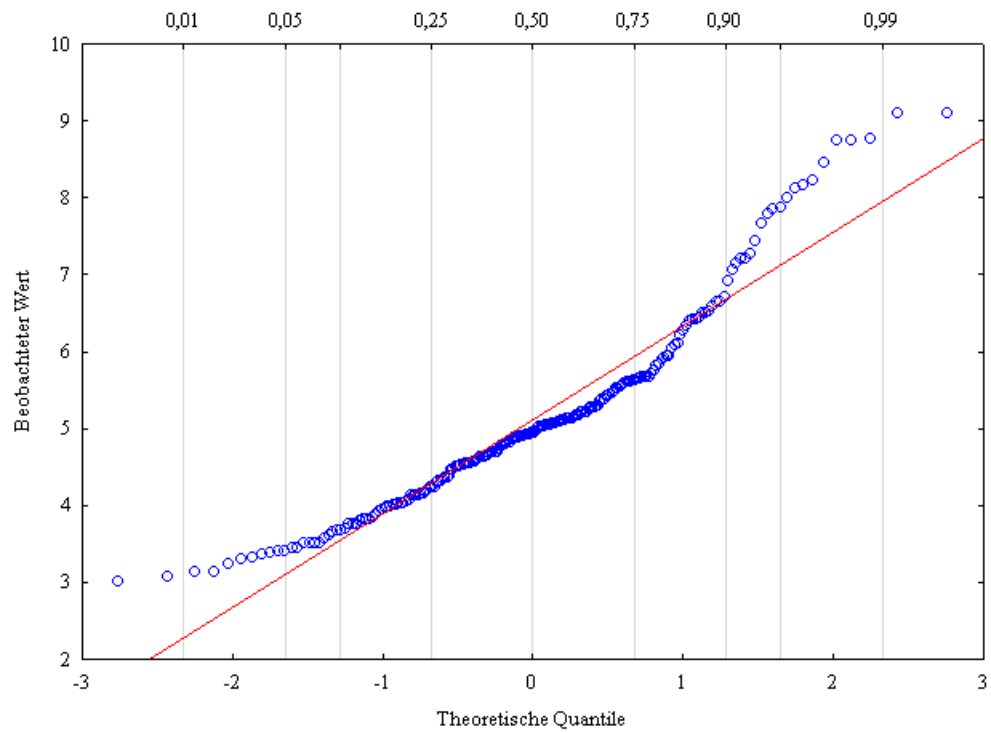


Abbildung 23: Q-Q-Plot für die Irregularität aus dem gesamten GHD-Protokoll zum Zeitpunkt T1

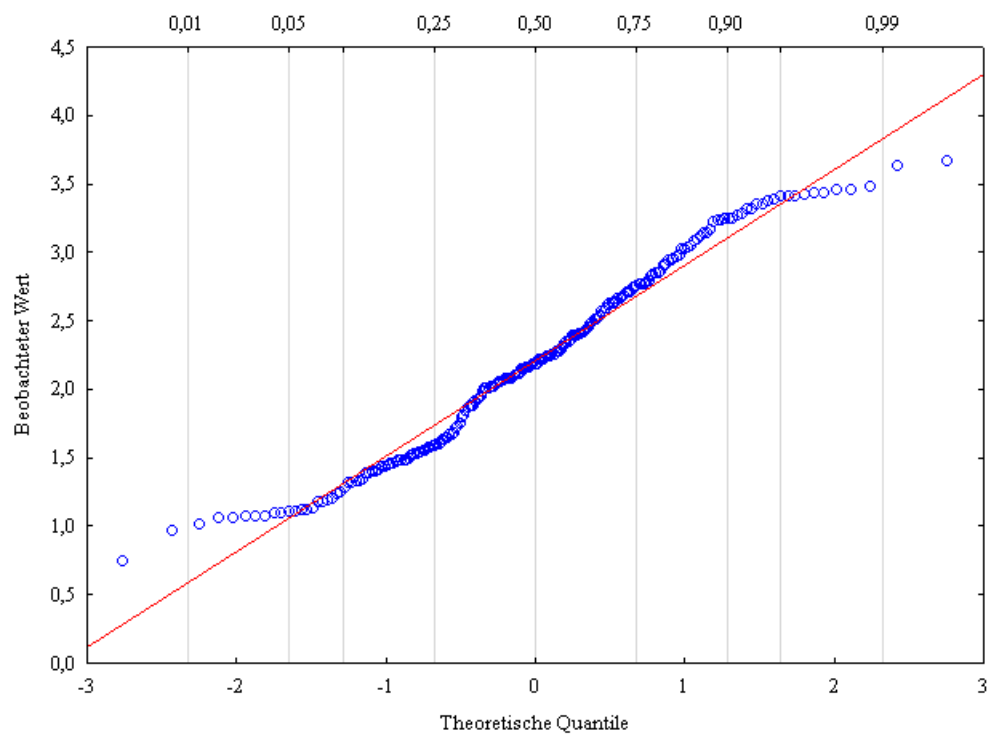


Abbildung 24: Q-Q-Plot für Rauschen aus dem gesamten GHD-Protokoll zum Zeitpunkt T1

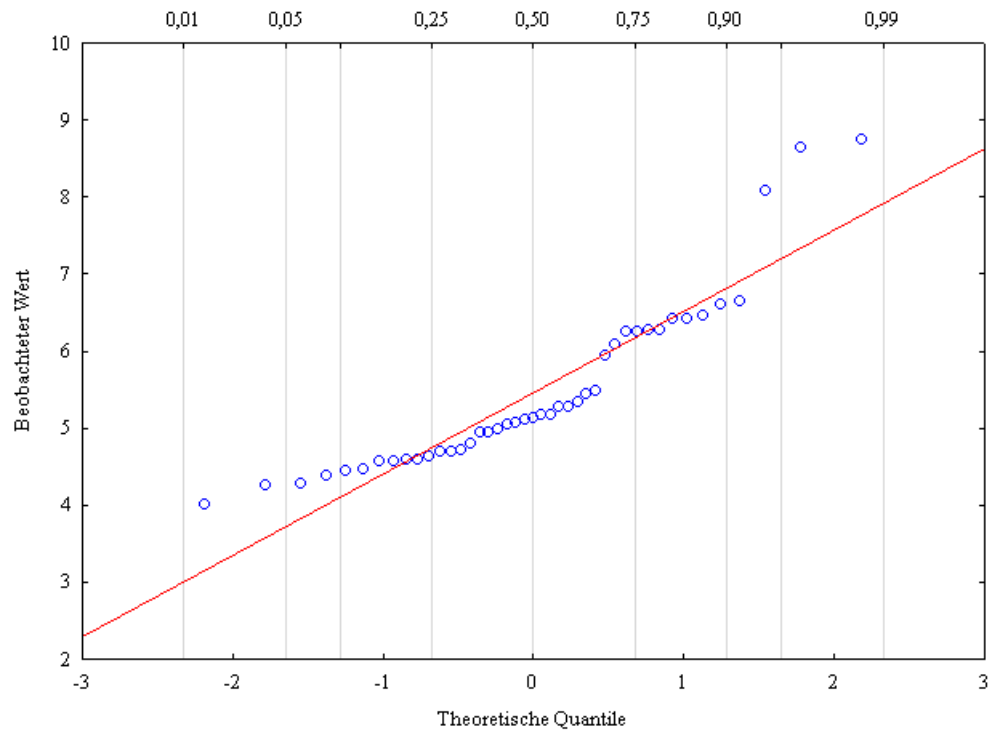


Abbildung 25: Q-Q-Plot für die Irregularität aus Laryngoskopie/Stroboskopie zum Zeitpunkt T2

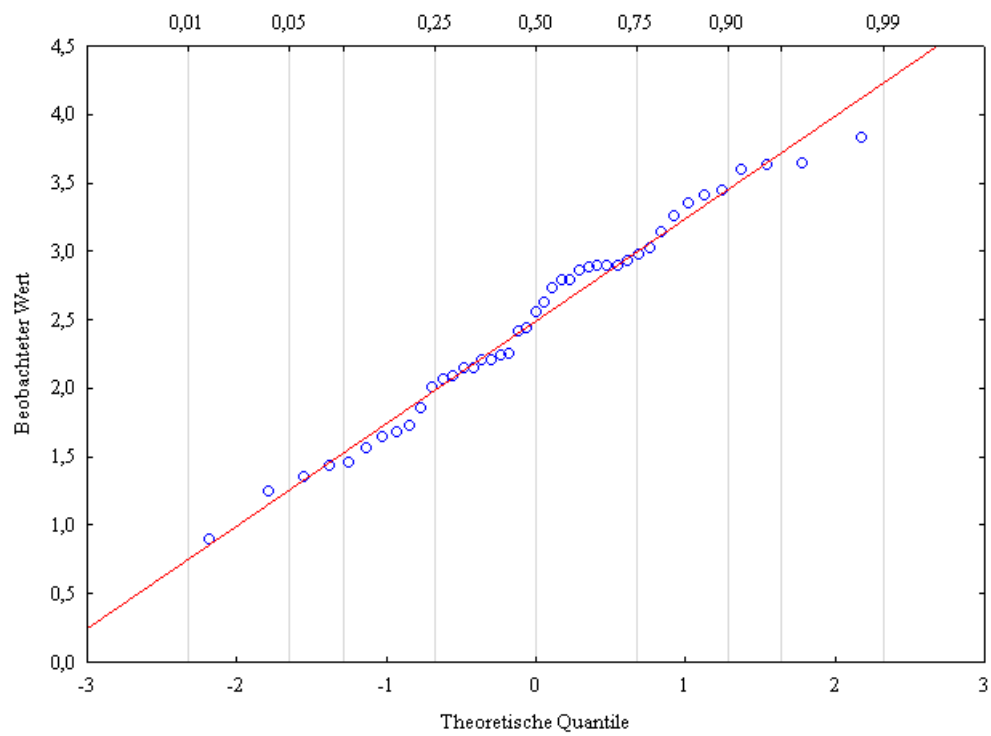


Abbildung 26: Q-Q-Plot für Rauschen aus Laryngoskopie/Stroboskopie zum Zeitpunkt T2

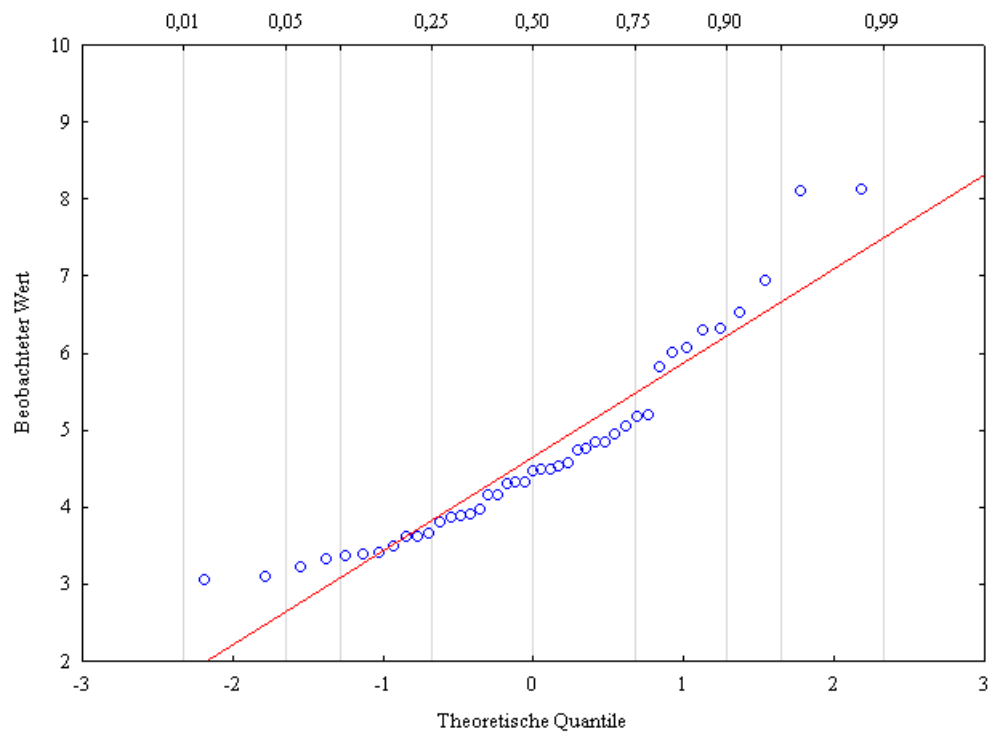


Abbildung 27: Q-Q-Plot für die Irregularität aus dem gesamten GHD-Protokoll zum Zeitpunkt T2

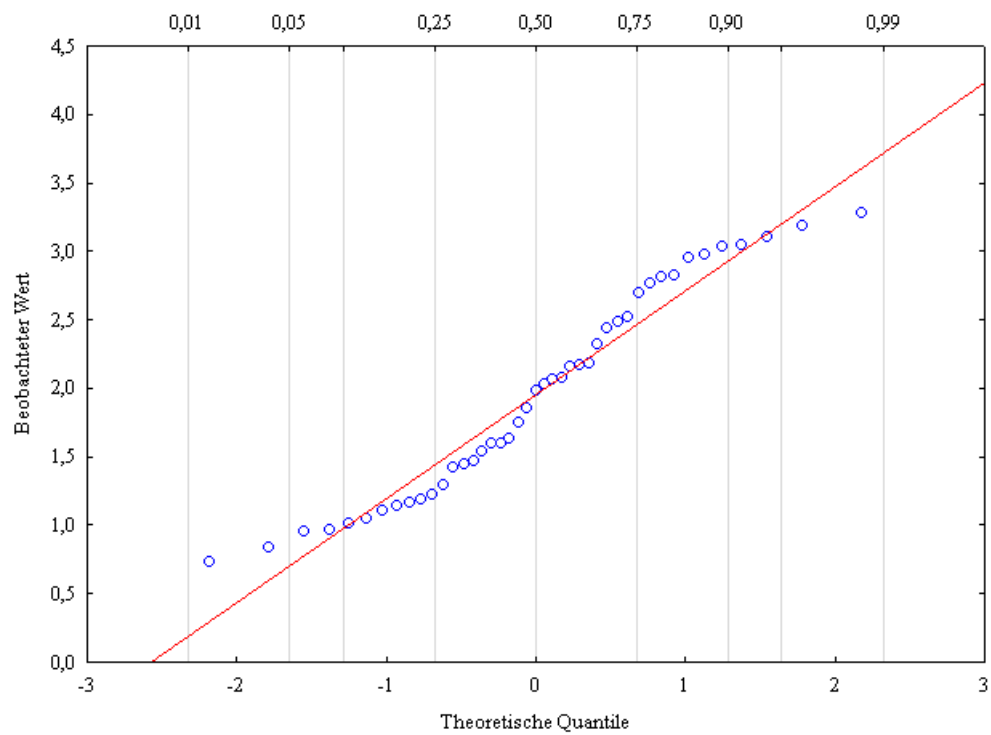


Abbildung 28: Q-Q-Plot für Rauschen aus dem gesamten GHD-Protokoll zum Zeitpunkt T2

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

Anders LC, Hollien H, Hurme P, Sonninen A, Wendler J (1988): Perception of hoarseness by several classes of listeners. *Folia Phoniatr* 40, 91-100

Bhuta T, Patrick L, Garnett JD (2004): Perceptual evaluation of voice quality and its correlation with acoustic measurements. *J Voice* 18, 299-304

Boenninghaus HG, Lenarz T: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. 13. Auflage; Springer Verlag, Heidelberg 2007

Carding P, Carlson E, Epstein R, Mathieson L, Shewell C (2000): Formal perceptual evaluation of voice quality in the United Kingdom. *Logoped Phoniatr Vocol* 23, 133-138

De Bodt MS, Wuyts FL, van de Heyning PH, Croux C (1997): Test-Retest study of the GRBAS Scale: Influence of experience and professional background on perceptual rating of voice Quality. *J Voice* 11, 74-80

Dejonckere PH, Obbens C, de Moor GM, Wieneke GH (1993): Perceptual evaluation of dysphonia: Reliability and relevance. *Folia Phoniatr* 45, 76-83

De Krom G (1993): A cepstrum-based technique for determining a Harmonics-to-noise ratio in speech signals. *J Speech Hear Res* 36, 254-266

Feldmann H (2002): Diagnostik und Therapie der Kehlkopfkrankheiten in der Geschichte der Medizin-Teil II: Die Erfindung der indirekten Laryngoskopie. *Laryngol-Rhinol-Otologie* 81, 46-55

Fex S (1992): Perceptual evaluation. *J Voice* 6, 155-158

Fleischer S, Hess M (2006): Die Bedeutung der Stroboskopie in der laryngologischen Praxis. *HNO* 54, 628-634

Friedrich G, Dejonckere PH (2005): Das Stimm diagnostik-Protokoll der European Laryngological Society (ELS)-erste Erfahrungen im Rahmen einer Multizenterstudie. *Laryngol-Rhinol-Otologie* 84, 744-752

Friedrich G, Bigenzahn W, Zorowka P: Phoniatrie und Pädaudiologie-Einführung in die medizinischen, psychologischen und linguistischen Grundlagen von Stimme, Sprache und Gehör. 3. Auflage; H. Huber Verlag, Bern 2005

Fröhlich M, Michaelis D, Strube HW, Kruse E: Acoustic voice quality description: Case studies for different regions of the hoarseness diagram; in: *Advances in Quantitative Laryngoscopy, 2<sup>nd</sup> 'round table'*; hrsg. v. Wittenberg T, Mergell P, Tigges M, Eysholdt U; o. Verl., Erlangen 1997, S.143-150

Fröhlich M, Michaelis D, Strube HW (1998a): Acoustic „breathiness measures“ in the description of pathologic voices. *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* (2), 937-940

Fröhlich M, Michaelis D, Kruse E (1998b): Objektive Beschreibung der Stimmgüte unter Verwendung des Heiserkeitsdiagramms. *HNO* 46, 684-689

Fröhlich M, Michaelis D, Strube HW, Kruse E: Stimmgütebeschreibung mit Hilfe des Heiserkeits-Diagramms: Untersuchung verschiedener pathologischer Gruppen. In: *Aktuelle Phoniatrich-Pädaudiologische Aspekte 1997/1998*; hrsg. v. Gross M; Band 5; Median Verlag, Heidelberg 1998c, 42-48

Fröhlich M, Michaelis D, Kruse E: Image sequences as necessary supplement to a pathological voice data base. In: *Proceedings of VOICEDATA98*; hrsg. v. de Krom G; Utrecht Institute of Linguistics OTS, University of Utrecht; Utrecht, Niederlande 1998d, 64-69

Fröhlich M, Michaelis D, Strube HW, Kruse E: Akustische Stimmqualität unter verschiedenen Rahmenbedingungen. In: *Aktuelle Phoniatrich-Pädaudiologische Aspekte 1998/1999*; hrsg. v. Gross M; Band 6; Median Verlag, Heidelberg 1999, 34-39

Fröhlich M, Michaelis D, Strube HW, Kruse E (2000): Acoustic voice analysis by means of the hoarseness diagram. *J Speech Lang Hear Res* 43, 706-720

Fröhlich M, Michaelis D, Lessing J, Kruse E: Akustische Stimmanalysesysteme-technische Unterstützung zur Objektivierung und Dokumentation bei der Stimmdiagnostik. In: Aktuelle phoniatisch-pädaudiologische Aspekte 2002/2003; hrsg. v. Gross M, Kruse E; Band 10; Median Verlag, Heidelberg 2003, 80-84

Fujiu M, Hibi SR, Hirano M (1988): An improved technique for measurement of the relative noise level using a sound spectrograph. *Folia Phoniatr* 40, 53-57

Hiki S, Imaizumi S, Hirano M, Matsushita H, Kakita Y (1976): Acoustical analysis for voice disorders. *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE International conference on Icassp '76*, 613-616

Hirano M: *Clinical Examination of voice*. Springer Verlag, Wien 1981

Hirsch NP, Smith GB, Hirsch PO (1986): Alfred Kirstein. Pioneer of direct laryngoscopy. *Anaesthesia* 41, 42-45

Isshiki N, Takeuchi Y (1970): Factor analysis of hoarseness. *Studia Phonologica* 5, 37-44

Kasuya H, Ogawa S, Kikuchi Y (1986): An adaptive comb filtering method as applied to acoustic analyses of pathological voice. *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE International conference on Icassp '86*, 669-672

Klingholz F (1990): Beziehungen zwischen akustischem und stroboskopischem Befund bei Stimmstörungen. *Sprache Stimme Gehör* 14, 69-73

Klingholz F (1991): Jitter. *Sprache Stimme Gehör* 15, 79-85

Koike Y (1969): Vowel amplitude modulations in Patients with laryngeal diseases. *J Acoust Soc Am* 45, 839-844



Kreiman J, Gerratt BR (1996): The perceptual structure of pathologic voice quality. *J Acoust Soc Am* 100, 1787–1795

Kreiman J, Gerratt BR (1998): Validity of rating scale measures of voice quality. *J Acoust Soc Am* 104, 1598–1608

Kreiman J, Gerratt BR (2000): Sources of listener disagreement in voice quality assessment. *J Acoust Soc Am* 108, 1867–1876

Kreiman J, Gerratt BR, Precoda K (1990): Listener experience and perception of voice quality. *J Speech Hear Res* 33, 103–115

Kreiman J, Gerratt BR, Precoda K, Berke GS (1992): Individual differences in voice quality perception. *J Speech Hear Res* 35, 512–520

Kreiman J, Gerratt BR, Berke GS (1994): The multidimensional nature of pathologic vocal quality. *J Acoust Soc Am* 96, 1291–1302

Lessing J: Entwicklung einer Klassifikationsmethode zur akustischen Analyse fortlaufender Sprache unterschiedlicher Stimmgüte mittels Neuronaler Netze und deren Anwendung. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Diss., Göttingen 2007

Lessing J, Strube HW, Kruse E: Akustische Analyse pathologischer Stimmen aus fortlaufender Sprache. In: Aktuelle Phoniatrich-Pädaudiologische Aspekte 1997/1998; hrsg. v. Gross M; Band 5; Median Verlag, Heidelberg 1998, 53-59

Lessing J, Fröhlich M, Michaelis D, Strube HW, Kruse E: Akustische Stimmanalyse aus fortlaufender Sprache – Untersuchung von Tumorgruppen. In: Aktuelle Phoniatrich-Pädaudiologische Aspekte 1998/1999; hrsg. v. Gross M; Band 6; Median Verlag, Heidelberg 1999, 126-130

Liebermann P (1961): Perturbation in vocal pitch. *J Acoust Soc Am* 33, 597-603

Linville SE (1988): Intraspeaker variability in fundamental frequency stability: An age-related phenomenon? *J Acoust Soc Am* 83, 741-745

Meyer T, Unger J, Schwerdtfeger FP, Döllinger M, Lohscheller J: Auswirkungen der starren Laryngoskopie auf elektrolottographische und akustische Parameter. In: Aktuelle Phoniatrich-Pädaudiologische Aspekte 2011; hrsg. v. Gross M, am Zehnhoff-Dinnesen A.; Band 19; Darpe Industriedruck, Warendorf 2011, 124-126

Michaelis D (1999): Das Göttinger Heiserkeits-Diagramm – Entwicklung und Prüfung eines akustischen Verfahrens zur objektiven Stimmgütebeurteilung pathologischer Stimmen. Mathematisch-naturwissenschaftliche Diss., Göttingen 1999

Michaelis D, Strube HW, Kruse E: Multidimensionale Analyse akustischer Stimmgüteparameter. In: Aktuelle Phoniatrich-Pädaudiologische Aspekte 1995; hrsg. v. Gross M; Band 3; Renate Gross Verlag, Berlin 1996, 16-18

Michaelis D, Gramss T, Strube HW (1997a): Glottal-to-Noise Excitation ratio – a new measure for describing pathological voices. *Acustica/Acta acustica* 83, 700-706

Michaelis D, Strube HW, Kruse E: Reliabilität und Validität des Heiserkeits-Diagramms. In: Aktuelle Phoniatrich-Pädaudiologische Aspekte 1996; hrsg. v. Gross M, Eysholdt U; Band 4; Median Verlag, Heidelberg 1997b, 25-26

Michaelis D, Fröhlich M, Strube H (1998a): Selection and combination of acoustic features for the description of pathological voices. *J Acoust Soc Am* 103, 1628-1639

Michaelis D, Fröhlich M, Strube HW, Kruse E: Reliabilität akustischer Stimmgütebeschreibung bei reduziertem Umfang der Stimmaufnahmen. In: Aktuelle Phoniatrich-Pädaudiologische Aspekte 1997/1998; hrsg. v. Gross M; Band 5; Median Verlag, Heidelberg 1998b, 48-53

Nawka T, Anders LC, Wendler J (1994): Die auditive Beurteilung heiserer Stimmen nach dem RBH-System. *Sprache Stimme Gehör* 18, 130-133

Probst R, Grevers G, Iro H: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. 3. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 2008

Ptok M, Schwemmler C, Iven C, Jessen M, Nawka T (2005): Zur auditiven Bewertung der Stimmqualität. HNO 54, 793-802

Ptok M, Iven C, Jessen M, Schwemmler C (2006): Objektiv gemessene Stimmlippenschwingsirregularität vs. subjektiver Eindruck der Rauigkeit. HNO 54, 132-138

Rehder/Partner Medizintechnik

<http://www.rehder.de/cms.php?ID=917&language=DE>, abgerufen 2011

Scherer RC, Vernon VJ, Guo CG (1995): Required number of tokens to determine representative voice perturbation values. J Speech Hear Res 38, 1260-1269

Schneider B, Bigenzahn W: Stimmdiagnostik: Ein Leitfaden für die Praxis. Springer Verlag, Wien 2007

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

Schürenberg B (1990): Die Beurteilung stroboskopischer Kriterien. Folia Phoniatr 42, 41-48

Titze IR, Horii Y, Scherer RC (1987): Some technical considerations in voice perturbation measurements. J Speech Hear Res 30, 252-260

Wendler J (1992): Stroboscopy. J Voice 6, 149-154

Wendler J (1997): Stimmstörungen. Schwerpunkte der Diagnostik und Therapie. Laryngol-Rhinol-Otologie 76, 327-331

---

Wendler J, Rauhut A, Krüger H (1986): Classification of voice qualities. J Phon 14, 483-488

Wendler J, Seidner W, Eysholdt U: Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. 4. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 2005

Yumoto E, Gouldt WJ, Baer T (1982): Harmonics-to-noise ratio as an index of the degree of hoarseness. J Acoust Soc Am 71, 1544-1550

Zwirner P, Michaelis D, Fröhlich M, Kruse E: Korrelationen zwischen perzeptueller Beurteilung von Stimmen nach dem RBH-System und akustischen Parametern. In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte 1997/1998; hrsg. v. Gross M; Bd 5; Median Verlag; Heidelberg 1998, 63-67

---

## **Danksagung**

Diese Arbeit wurde in der Phoniatrie und Pädaudiologie der Abteilung für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde der Medizinischen Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen angefertigt. Ich danke allen, die direkt oder indirekt an der Entstehung dieser Arbeit beteiligt waren.

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. Arno Olthoff für die Anregung des Themas der Dissertation sowie im Besonderen für die stets freundliche und engagierte Betreuung der Dissertationsarbeit. Darüber hinaus danke ich ihm für die zahlreichen hilfreichen Anregungen und die Unterstützung während der Anfertigung der Arbeit.

Den wissenschaftlichen und studentischen Mitarbeitern der Abteilung medizinische Statistik unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. T. Friede möchte ich für die Unterstützung bei statistischen Fragen danken. Besonders danke ich Herrn Dr. rer. nat. K. Jung für die ausgesprochen hilfreiche Beratung in grundsätzlichen statistischen Fragen bezüglich der Dissertation sowie Herrn S. Schneider.

Herrn Dr. rer. nat. D. Michaelis möchte ich für die freundlichen und interessierten Auskünfte bezüglich des von ihm entwickelten Göttinger Heiserkeits-Diagramms danken.

Der Firma Rehder und Partner danke ich für die Erlaubnis, Abbildungen ihrer Internetpräsenz in dieser Arbeit verwenden zu dürfen.