

**Der Einfluss der Hormone auf die weibliche Stimme unter  
besonderer Berücksichtigung der Effekte im Menstruationszyklus**

**Eine Studie zur Erfassung zyklusbedingter  
Stimmveränderungen im Stimmfeld**

**Inaugural-Dissertation**

zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie  
an der Ludwig-Maximilians-Universität  
München

vorgelegt von

Susanne Ursula Baier

aus  
München

Erstgutachter: Prof. Dr. Gerd Kegel

Zweitgutachter: Prof. Dr. Rainer Schandry

Tag der mündlichen Prüfung: 21.07.09

Gewidmet meinen wunderbaren Töchtern  
Sophie und Sylvie

---

## **Vorwort**

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Gerd Kegel für die Betreuung meiner Dissertation, für die fortwährende, fachliche Unterstützung und die kritischen Anregungen während des letzten Jahres.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Rainer Schandry für die Übernahme des Koreferats bedanken.

Herrn Prof. Dr. Helmut Küchenhoff und in besonderer Weise seiner Mitarbeiterin Frau Veronika Fensterer vom statistischen Beratungslabor (StaBLab) der LMU sei an dieser Stelle gedankt für die Unterstützung in statistischen Fragen.

Meinen besonderen Dank richte ich an die Probandinnen, die an meiner Studie teilgenommen haben für die Zeit, die sich genommen haben, und für die Offenheit, sich mit Neuem und oft Ungewohntem auseinanderzusetzen.

Ohne die Unterstützung von Frau Dr. Iris Eicher, die mir die technischen und räumlichen Möglichkeiten zur Durchführung der Studie zur Verfügung gestellt hat, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Meinen tief empfundenen Dank richte ich an meine Eltern, die mich in den vergangenen, turbulenten Zeiten vorbehaltlos unterstützt haben.

Bei Frau Alexandra Bitterlich-Sachs, Frau Beate Siegler und Herrn Matthias Ettmayr bedanke ich mich ganz besonders zum einen für ihre fachliche Unterstützung und die fruchtbaren Diskussionen, zum anderen für ihre Begleitung auf diesem Weg, ihren Glauben an mich und mein Vorhaben und für ihre Freundschaft.

Aus tiefstem Herzen aber danke ich meinen Töchtern Sophie und Sylvie, die mich über die gesamte Zeit hinweg unterstützt und motiviert haben und ohne deren Rücksicht, Verständnis und Stärke ich dieses Projekt nicht hätte durchführen können.

Ihnen ist meine Arbeit gewidmet.

München, im März 2009

Susanne Baier

Inhaltsverzeichnis

**1 Einleitung ..... 1**

*Erster Teil*

**Theoretische Grundlagen und Forschungsstand**

**2 Physiologie der Atmung ..... 7**

2.1 Zentrale Steuerung der Atmung..... 7

2.2 Thoraxanatomie und Atemmuskulatur ..... 8

2.2.1 Anatomie des Thorax ..... 8

2.2.2 Atemmuskulatur..... 9

2.3 Lungenfunktion und Atemvorgang..... 11

2.3.1 Physiologie und Funktion der Lunge ..... 11

2.3.2 Atemvorgang..... 12

2.4 Atemarten – Atemformen – Atemvolumina ..... 14

2.4.1 Atemarten..... 14

2.4.2 Atemformen ..... 15

2.4.3 Atemvolumina ..... 16

**3 Physiologie der Stimme ..... 18**

3.1 Primär- und Sekundärfunktion des Kehlkopfs ..... 18

3.2 Kehlkopfgerüst und innere laryngeale Struktur ..... 19

3.2.1 Kehlkopfgerüst..... 19

3.2.2 Aufbau der inneren laryngealen Struktur ..... 21

3.3 Kehlkopfmuskulatur ..... 22

3.3.1 Äußere Kehlkopfmuskulatur..... 22

3.3.2 Innere Kehlkopfmuskulatur ..... 22

3.4 Physiologie der Phonation ..... 24

3.4.1 Aufbau und Struktur der Stimmlippen..... 24

3.4.2 Stimmlippenbewegungen während Atmung und Phonation..... 26

3.4.3 Stimmleistungen ..... 29

3.5 Singstimme ..... 34

**4 Die Entwicklung der Stimme über die Lebensspanne ..... 36**

4.1 Anatomie und Physiologie des kindlichen Kehlkopfs ..... 36

4.2	Stimmentwicklung im Säuglingsalter.....	39
4.3	Stimmentwicklung im Kleinkind- und Grundschulalter.....	42
4.3.1	Entwicklung der Sprechstimme .....	43
4.3.2	Musikalisch-gesangliche Entwicklung der Stimme.....	44
4.3.3	Physikalischer und musikalischer Stimmumfang .....	45
4.4	Stimmentwicklung im Jugendalter .....	46
4.4.1	Mutation der männlichen Stimme.....	47
4.4.1.1	Organische Veränderungen während der Mutation.....	47
4.4.1.2	Mutationsphasen der männlichen Stimme .....	47
4.4.2	Mutation der weiblichen Stimme.....	49
4.5	Die Stimme im Erwachsenenalter .....	50
4.5.1	Veränderungen der Erwachsenenstimme.....	50
4.5.2	Zyklusbedingte Stimmveränderungen .....	51
4.5.3	Stimmveränderungen in der Schwangerschaft.....	51
4.5.4	Stimmveränderungen im Klimakterium .....	51
4.6	Altersstimme.....	52
<b>5</b>	<b>Der weibliche Funktionszyklus .....</b>	<b>53</b>
5.1	Grundlagen der neuroendokrinen Regulationsmechanismen.....	53
5.1.1	Übergeordnete corticale Strukturen .....	54
5.1.2	Hypothalamisch-hypophysäres Steuerungssystem.....	56
5.1.2.1	Hypothalamus.....	56
5.1.2.2	Hypophyse.....	56
5.1.3	Hormone des weiblichen Funktionszyklus .....	57
5.1.3.1	Hormone des Hypothalamus .....	58
5.1.3.2	Hormone der Hypophyse.....	59
5.1.3.3	Steroidhormone .....	60
5.2	Physiologie des Menstruationszyklus .....	61
5.2.1	Abläufe des neuroendokrinen Systems im weiblichen Zyklus .....	61
5.2.2	Phasen des weiblichen Funktionszyklus .....	62
5.2.2.1	Follikelphase .....	63
5.2.2.2	Ovulationsphase .....	63
5.2.2.3	Lutealphase.....	64
5.2.2.4	Desquamationsphase .....	65
<b>6</b>	<b>Mutationsstörungen und hormonelle Stimmstörungen .....</b>	<b>65</b>
6.1	Mutationsstörungen .....	66

---

6.1.1	Funktionelle Mutationsstörungen .....	66
6.1.1.1	Mutationsfistelstimme.....	66
6.1.1.2	Perverse Mutation aufgrund funktioneller Auffälligkeiten .....	67
6.1.1.3	Unvollständige Mutation.....	67
6.1.1.4	Mutationsbass.....	67
6.1.2	Organische Mutationsstörungen .....	68
6.1.2.1	Endokrine Mutationsstörungen .....	68
6.1.2.1.1	Verfrühte Mutation.....	68
6.1.2.1.2	Verspätete Mutation .....	69
6.1.2.1.3	Perverse Mutation aufgrund endokriner Auffälligkeiten .....	69
6.1.2.2	Larynxasymmetrien.....	69
6.2	Stimmstörungen während der Schwangerschaft.....	69
6.2.1	Laryngopathia gravidarum .....	69
6.2.2	Schwangerschaftsmutation .....	70
6.3	Stimmstörungen während des Klimakteriums.....	70
6.4	Stimmveränderungen durch die Einnahme hormoneller Präparate .....	72
6.4.1	Anabolika.....	72
6.4.2	Einnahme männlicher Hormonpräparate .....	73
6.4.3	Stimmveränderungen durch Kontrazeptiva .....	73
6.5	Stimmstörungen infolge endokriner Erkrankungen.....	75
6.5.1	Stimmstörungen bei Erkrankungen der Hypophyse.....	75
6.5.2	Stimmstörungen bei Schilddrüsen- und Nebenschilddrüsenenerkrankungen .....	75
6.5.3	Stimmstörungen bei Nebennierenerkrankungen.....	76
6.5.4	Stimmstörungen bei Krankheiten der Keimdrüsen.....	76
<b>7</b>	<b>Einfluss des Menstruationszyklus auf das phonatorische System .....</b>	<b>77</b>
7.1	Erklärungsmodelle zyklusbedingter Stimmveränderungen .....	77
7.2	Wirkung der Steroidhormone .....	80
7.3	Themenbezogene Studien.....	85

---

**Zweiter Teil****Empirische Untersuchung**

<b>8</b>	<b>Untersuchungsdesign, Fragestellung und Hypothesen .....</b>	<b>90</b>
8.1	Untersuchungsdesign und Präzisierung der Fragestellung .....	90
8.2	Beschreibung der Stichprobe .....	93
8.3	Hypothesen .....	96
<b>9</b>	<b>Untersuchungsmethoden .....</b>	<b>99</b>
9.1	Stimmfeldmessung .....	99
9.1.1	Grundlagen der Stimmfeldmessung.....	99
9.1.2	Messgrößen .....	100
9.1.2.1	Tonhöhe und Tonhöhenumfang .....	101
9.1.2.2	Intensität und Stimmdynamik .....	101
9.1.2.3	Messgröße Jitter .....	102
9.1.2.4	Messgröße Shimmer.....	103
9.1.2.5	Messgröße Dysphonia Severity Index.....	104
9.1.2.6	Maximale Phonationsdauer .....	105
9.1.2.7	Sängerformant .....	105
9.1.3	Normstimmfeld .....	106
9.1.3.1	Singstimmprofil .....	107
9.1.3.2	Sprechstimmprofil.....	108
9.1.4	lingWaves Stimmfeld Pro .....	109
9.1.5	Durchführung der Stimmfeldmessung.....	110
9.1.5.1	Richtlinien der European Laryngological Society (ELS).....	110
9.1.5.2	Durchführung der Stimmfeldmessung in der vorliegenden Studie .....	111
9.2	Befragung.....	113
<b>10</b>	<b>Untersuchungsergebnisse.....</b>	<b>119</b>
10.1	Statistisches Vorgehen.....	119
10.2	Ergebnisse der Hypothesenprüfung .....	120
10.2.1	Erhebung von Stimmparametern zur Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen .....	120
10.2.2	Subjektive Wahrnehmung des phonatorischen Systems hinsichtlich zyklischbedingter Veränderungen.....	138
<b>11</b>	<b>Interpretation.....</b>	<b>146</b>
11.1	Stimmparameter als Indikatoren für zyklusbedingte Stimmveränderungen.....	146

---

11.2	Subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems .....	162
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>169</b>
<b>13</b>	<b>Verzeichnisse.....</b>	<b>173</b>
13.1	Abbildungsverzeichnis .....	173
13.2	Tabellenverzeichnis .....	176
13.3	Literaturverzeichnis .....	177
<b>Anhang.....</b>	<b>.....</b>	<b>185</b>
A:	Text für die Stimmfeldmessung .....	185
B:	Stimmfelder .....	186

## 1 Einleitung

*„Dem ganz Intimen aber bleibt die Stimme vorbehalten. Sie ist der „Tiefenträger“ der Sprache. Sie hat die Fähigkeit, durch unterschiedliche, unterschwellige Tonfärbungen die Bedeutung eines Wortes, eines Satzes, eines Gesprächs zu verändern, erheblich zu verändern“*

Horst Gundermann<sup>1</sup>

Jede Stimme stellt in ihrer Einzigartigkeit ein komplexes Phänomen dar, das sich auf der Basis anatomisch-physiologischer Gegebenheiten, in Abhängigkeit von körperlichen, sozialen, situativen und emotionalen Faktoren verändert und schließlich in der individuellen und charakteristischen Prägung seinen Ausdruck findet. Als kommunikatives Instrument gibt die Stimme einerseits Informationen über die Körperlichkeit des Sprechers preis, wie dessen ungefähres Alter, seine Geschlechtszugehörigkeit und über seine körperliche Befindlichkeit. Zum anderen spiegelt sich in ihr die Persönlichkeit des Sprechers wider. In differenzierter Weise verleiht sie durch nuancierte Modulationen Emotionen und Stimmungen Ausdruck, legt Einstellungen, Absichten und Meinungen offen und gibt Hinweise auf das Temperament des Sprechers. Sie verrät Details, die visuell nicht wahrgenommen werden. „Sprich, dass ich dich sehe“ sagte bereits Sokrates<sup>1</sup>. Die Stimme hat eine hohe Aussagekraft über die sprechende Person; sie legt Charakterzüge dar und nimmt Einfluss auf den Zuhörer – einen Einfluss, der oft stärker ist als der Inhalt des Gesagten selbst. Der individuelle Stimmklang hängt von der Körperlichkeit und der Persönlichkeit des Sprechers ab und wird entscheidend von der Sprechsituation beeinflusst (s. Abb. 1).

Der verbale Aspekt findet seine spezifische Ausprägung in der nonverbalen und paraverbalen Darstellung. Während der nonverbale Ausdruck Mimik, Gestik und Körperhaltung umfasst, bezieht sich der paraverbale Ausdruck auf Aspekte der Artikulation, des Sprechtempos und

---

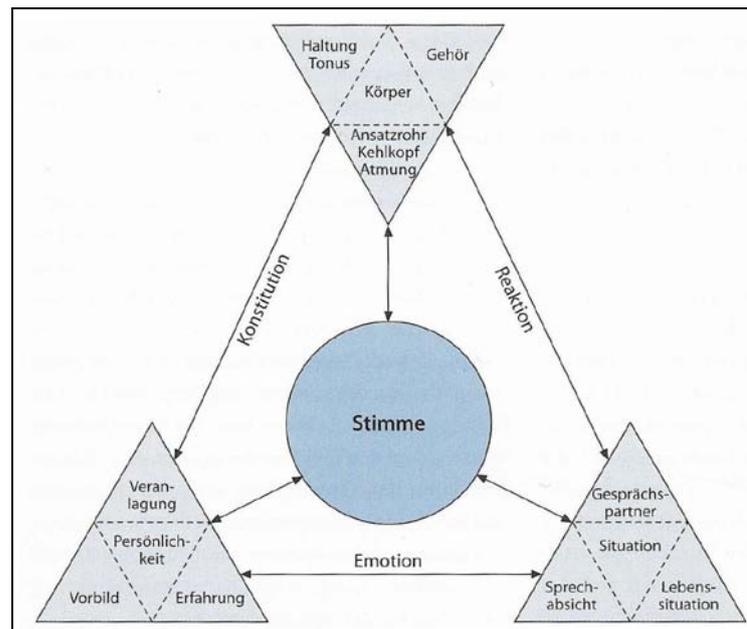
<sup>1</sup> Zitat aus Stengel & Strauch, 1996, S. 19

der Stimmführung. Die Charakteristika der Stimmausprägung variieren in Abhängigkeit von der Sprechsituation und sind durch Erfahrungen und stimmliche Vorbilder geprägt. So wie Kinder den Stimmklang ihrer Bezugspersonen imitieren, die ihnen als Modell fungieren, kann auch bei Gesprächspartnern ein allmähliches Angleichen des Stimmklangs auftreten (Eckert & Laver, 1994). Nach Heidelberg (1994) wirken Sprache, Sprechen und Stimme in ihren kommunikativen Funktionen zusammen, und zwar dergestalt, dass die Sprache als Kommunikationsmittel, das Sprechen als Kommunikationsmethode und die Stimme als Kommunikationsträger fungieren. Die Stimme und ihr spezifischer Klang werden von zahlreichen Komponenten bestimmt, die jeder Stimme ihre Einzigartigkeit und Individualität verleihen. So kann einer der Kommunikationsgrundsätze nach Paul Watzlawick (1969) „Man kann nicht nicht kommunizieren“<sup>2</sup> auch in Bezug auf die Stimme in ihrer kommunikativen und mitteilenden Funktion Anwendung finden. Die Stimme übertrifft nicht selten das Wort in Wirkung und Wertung. Umso befremdlicher ist es in besonderer Weise für Berufssprecherinnen und Sängerinnen, wenn Stimmveränderungen und -schwankungen auftreten und die gewohnte Stimmstabilität fehlt, denn die Wirkung als Sprecherin und/oder Sängerin hängt in besonderer Weise von eben diesen Faktoren ab. Eine Stimme kann in Form akustischer Parameter darstellbar gemacht werden. Doch diese können das Kunstwerk „Stimme“ nur teilweise erfassen und widerspiegeln; ein vollständiges Bild ergibt sich nur dann, wenn der Sprecher und dessen Stimmgebrauch in ihrer Gesamtheit im Kontext stimmbeeinflussender und stimmverändernder Faktoren erfasst werden.

In Hinblick auf die weibliche Stimme spielt in diesem Kontext der Menstruationszyklus eine ausschlaggebende Rolle. Die zu Grunde liegenden hormonellen Einflüsse und Regulationsmechanismen stellen ein ätiologisches Bedingungsgefüge dar, das zu eben jenen regelmäßigen Veränderungen der Stimme und des Stimmklangs führt. Betrachtet man Abb. 1, so steht in Hinblick auf den Grundgedanken dieser Arbeit das obere Dreieck mit dem Schwerpunkt Körperlichkeit im Vordergrund, wobei festzuhalten ist, dass die Veränderung eines Faktors innerhalb dieses Systems Auswirkungen auf die anderen Bereiche hat (Hammer, 2003).

---

<sup>2</sup> zitiert nach Schulz von Thun, 2004, S. 34



**Abb. 1:** Übersicht über die stimmbeeinflussenden Faktoren (aus Hammer, 2003, S. 48)

Im Rahmen meiner Tätigkeit in den Bereichen Stimmtherapie, Stimmbildung und Sprecherziehung wurde deutlich, dass bei vielen Frauen – darunter viele Berufssprecherinnen und professionelle Sängerinnen – kaum Bewusstsein für den Zusammenhang zwischen Zyklus und Stimme und den damit einhergehenden Stimmveränderungen besteht. Dieses fehlende Bewusstsein kann zu einer Verunsicherung im Umgang mit der eigenen Stimme führen, die sich vor allem in stimmbelastenden und stimmfordernden Situationen zeigt. In besonderer Weise fühlen sich Frauen in Sprechberufen wie Lehrerinnen, Schauspielerinnen und Radiosprecherinnen sowie Sängerinnen, um nur einige zu nennen, durch die Schwankungen der Stimme und die wechselnde Stimmstabilität irritiert und in ihrer Wirkung als „Vortragende“ verunsichert. Stimmveränderungen werden zwar wahrgenommen, können aber nicht eingeordnet werden. Die Verlässlichkeit und das Vertrauen in die eigene Stimme nehmen ab. Diese Feststellung bildet den Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit.

Im Zentrum steht die *weibliche* Stimme. Auf Aspekte der männlichen Stimme wird dennoch an einigen Stellen Bezug genommen, insbesondere um die Gegensätze zur weiblichen Stimme zu erläutern und um den erheblichen Einfluss der Hormone auf die Stimme, die Stimmentwicklung und Stimmveränderungen einerseits auf physiologischer, andererseits auf pathologischer Ebene zu verdeutlichen.

Die Stimme entwickelt und verändert sich im Laufe des Lebens und ist in allen Lebensphasen hormonellen Einflüssen unterworfen. Von der Kindheit über die Pubertät, die stimmlich einen markanten Einschnitt darstellt, über das Erwachsenenalter bis ins hohe Alter sind in dominanter Weise die Steroidhormone ursächlich für Stimmveränderungen. Der Zeitraum, in dem die weibliche Stimme in dieser Arbeit vor allem beleuchtet wird, ist die Phase der Geschlechtsreife, die auf biologisch-physiologischer Ebene durch den Menstruationszyklus bestimmt ist.

Zu Beginn der theoretischen Erläuterungen werden die Bereiche Atmung und Stimme beleuchtet. Da diese die Basis der Studie bilden, werden die anatomischen und physiologischen Grundlagen ausführlich erläutert und dabei stets der Bezug zur Kernthematik der Arbeit hergestellt.

Danach folgt ein Überblick über die Entwicklung der Stimme im Verlauf des Lebens. Hormonelle Einflüsse bedingen in unterschiedlicher Ausprägung und Intensität Stimmveränderungen und beeinflussen maßgeblich den individuell charakteristischen Stimmklang. Obgleich die weibliche Stimme im Vordergrund steht, wird in diesem Punkt auch die Entwicklung der männlichen Stimme hinzugezogen, um die differenzierte Wirkung der Steroidhormone auf die geschlechtsspezifische Stimmentwicklung zu verdeutlichen und diese gegeneinander abzugrenzen. Des Weiteren spielen der Bezug zur Sängerstimme und der Vergleich zwischen Sprechstimme und Singstimme eine wichtige Rolle, da im Rahmen der Studie auch Stimmparameter professioneller Sängerinnen erhoben wurden.

Durch die umfassende Darstellung der Grundlagen des weiblichen Funktionszyklus und der zugrunde liegenden hormonellen Vorgänge wird der Zusammenhang zwischen den zyklischen Abläufen einerseits und den Veränderungen der Stimme sowie der laryngealen Strukturen andererseits erläutert.

Darüber hinaus werden die neurologischen Grundlagen und die entscheidenden Gehirnstrukturen und Regulationsmechanismen besprochen. Die Darstellung dieser Zusammenhänge ist für den eigentlichen Schwerpunkt der Arbeit – die Erfassung und subjektive Beurteilung zyklusbedingter Stimmveränderungen – grundlegend, da die hormonellen Schwankungen den stimmlichen Veränderungen gegenübergestellt und in Bezug zueinander gesetzt werden.

Neben den physiologischen, hormonell bedingten Stimmveränderungen wird auch auf den pathologischen Bereich hormoneller Stimmstörungen und Stimmveränderungen eingegangen. Die inhaltliche Verknüpfung aller bisher erläuterten Bereiche findet in Kap. 7 statt, wobei die

Zusammenhänge von Menstruationszyklus und Stimm- bzw. Strukturveränderungen unter dem Einfluss der Steroidhormone eingehend beleuchtet werden. Zudem werden einige Studien zu diesem Thema, die aus dem medizinischen Bereich stammen, vorgestellt und eine thematische Überleitung zur vorliegenden Studie durchgeführt.

Diese wird im zweiten, empirischen Teil der Arbeit vorgestellt und bearbeitet. Die Kernthematik des Projekts befasst sich mit dem Einfluss des Menstruationszyklus auf die weibliche Stimme; dieser wird auf mehreren Ebenen untersucht. Im Zentrum stehen dabei zwei Fragenkomplexe, die anhand der Arbeitshypothesen überprüft werden.

Zum einen werden mithilfe eines akustischen Analyseverfahrens, der Stimmfeldmessung, stimmliche Parameter an drei Probandinnengruppen mit unterschiedlicher stimmlicher Leistungsfähigkeit erfasst. In Form von messbaren Stimmparametern sollen die zyklusbedingten Stimmveränderungen belegt werden. Bei den drei Gruppen handelt es sich um Sängerinnen, die eine professionelle Gesangsausbildung absolviert haben, um Berufssprecherinnen ohne Gesangsausbildung und um Nichtberufssprecherinnen, die keine Erfahrung in den Bereichen Stimmbildung/Gesang haben. Die Stimmfeldmessung als technisches Untersuchungsverfahren wird in diesem Zusammenhang ausführlich vorgestellt und auf seine Eignung im Sinne der thematischen Fragestellung untersucht.

Ein zweiter ergänzender Aspekt betrifft die subjektive Wahrnehmung der eigenen Stimme. Es gilt zu untersuchen, ob sich diese im Zyklusverlauf verändert und ob sich die Probandinnengruppen in ihrer Wahrnehmung unterscheiden. Anhand eines Fragebogens sollten die Probandinnen ihre Stimme in unterschiedlichen Zyklusphasen beurteilen. Darüber hinaus wird der Zusammenhang zwischen subjektiver Wahrnehmungsfähigkeit zyklusbedingter Stimmveränderungen und objektiven Stimmparametern untersucht.

Die Überprüfung der Hypothesen und die Beschreibung der Untersuchungsergebnisse sind in Kap. 10 ausführlich dargestellt. Aus den Ergebnissen lassen sich entsprechende Konsequenzen für die Stimmdiagnostik und auch für die Bereiche Stimmbildung/Sprecherziehung von Berufssprecherinnen und Sängerinnen ableiten, die in Kap. 11 ausführlich besprochen werden. Die Möglichkeiten und Grenzen der Stimmfeldmessung werden ebenso beleuchtet wie der Transfer der Ergebnisse auf die stimmtherapeutische Betreuung dysphonischer Patientinnen.

Die Auseinandersetzung mit dem Schwerpunkt dieses Projekts – der Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen – bedeutet die Auseinandersetzung mit vielen verschiedenen

Fachdisziplinen, die sich ergänzen und nur durch ihre umfassende Darstellung das Thema in seiner Komplexität erfassen können. Neben den geisteswissenschaftlichen Disziplinen wie der Sprechwissenschaft, der Sprachheilpädagogik und der Psychologie sind es die medizinischen Fachrichtungen HNO, Gynäkologie, Neurologie und Endokrinologie, die grundlegend für diese Arbeit sind.

Bei der Beschäftigung mit dieser Thematik fällt auf, dass die in der Literatur beschriebenen Studien vorwiegend aus dem medizinischen Bereich stammen. Studien aus den Bereichen Sprechwissenschaft und Sprachheilpädagogik finden sich hingegen kaum. Der Transfer medizinischer Erkenntnisse und Fakten auf die Bereiche Stimmbildung/Sprecherziehung einerseits und auf die stimmdiagnostische und stimmtherapeutische Arbeit andererseits sowie deren praktische Umsetzung und effektive Anwendbarkeit sind Ziele der Studie.

***Erster Teil*****Theoretische Grundlagen und Forschungsstand**

---

**2 Physiologie der Atmung**

Evolutionsgeschichtlich ist die Primärfunktion der Atmung die Regulierung des physiologischen Gasaustausches in den Lungen. Phylogenetisch später wurde die Atmung für die Stimmbildung entscheidend, da die Atemfunktion die für die Phonation notwendige Atemluft liefert.

Im Folgenden werden im Sinne der Einheitlichkeit vorwiegend die deutschen Fachbegriffe verwendet. Die lateinischen Fachbegriffe werden jedoch ergänzend genannt und im Text verwendet, sofern sie gebräuchlicher sind.

**2.1 Zentrale Steuerung der Atmung**

Die Atmung wird über respiratorische Neuronenpopulationen, die sich im verlängerten Mark (Medulla oblongata) und der Brücke (Pons) befinden, gesteuert. Diese im unteren Hirnstamm lokalisierten Areale werden als Atemzentrum bezeichnet. Die Medulla oblongata ist – neben Pons und Mesencephalon – Teil des Hirnstamms und stellt die Fortsetzung des Rückenmarks ins Gehirn dar. Sie enthält auf- und absteigende Nervenbahnen sowie entscheidende Kerne (Nuclei) des autonomen Nervensystems, die unter anderem auch die Atmung regulieren. Die Brücke ist oberhalb der Medulla oblongata lokalisiert und stellt ihre Fortsetzung dar; sie enthält auf- und absteigende Bahnen und Kerne (Thompson, 1990).

Innerhalb der Neuronenpopulationen des Atemzentrums, auch Respirationsneuronen genannt, unterscheidet man zwischen inspiratorischen Neuronen, postinspiratorischen und expiratorischen Neuronen, die nach ihrer Bezeichnung zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Atemzyklus aktiv sind und diesen regulieren. Erreicht Kohlendioxid überladenes Blut das Atemzentrum, so wird dieses stimuliert, einen Atemimpuls auszusenden. Während die inspiratorischen Neurone die Inspirationsmuskulatur innervieren, werden die expiratorischen Neurone bei körperlicher Ruhe inhibiert. Bei körperlicher und/oder phonatorischer Belastung werden die expiratorischen Neurone nicht gehemmt, was die Innervation der Expirations-

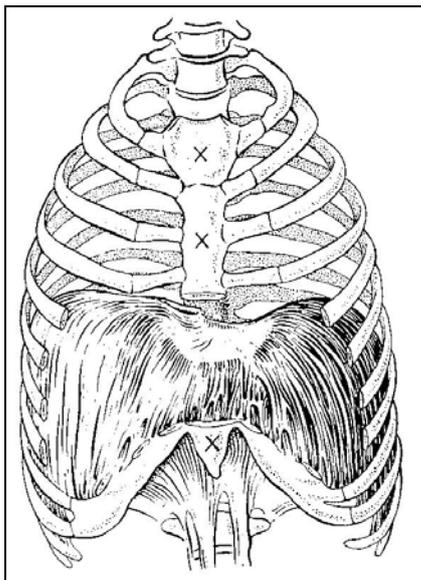
muskulatur bewirkt. Folglich handelt es sich in der Ruhephase um einen passiven, bei körperlichen und stimmlichen Anforderungen um einen aktiven Expirationsvorgang.

Für den Gasaustausch von Kohlendioxid  $\text{CO}_2$  und Sauerstoff  $\text{O}_2$  ist das Atemzeitvolumen entscheidend, dergestalt, dass eine ausreichende  $\text{O}_2$ -Aufnahme einer entsprechenden  $\text{CO}_2$ -Abgabe gegenübersteht. Das Atemzentrum steuert dabei nicht nur den Grundrhythmus der Atmung, sondern reguliert auch veränderte Atemverhältnisse, wie sie Reflexe (Husten, Niesen), stimmliche Anforderungen (Singen) oder körperliche Anstrengung erfordern (Habermann, 1986; Birbaumer & Schmidt, 1991). Das vegetative Nervensystem wirkt durch das Zusammenspiel und die Regulationsmechanismen von Sympathikus und Parasympathikus. Das sympathische System tritt bei körperlichen Anforderungen in Kraft u.a. durch die Erhöhung der Atemfrequenz. Als Antagonist bewirkt das parasympathische System die Verlangsamung der Atemfrequenz (Ehrenberg, 2001).

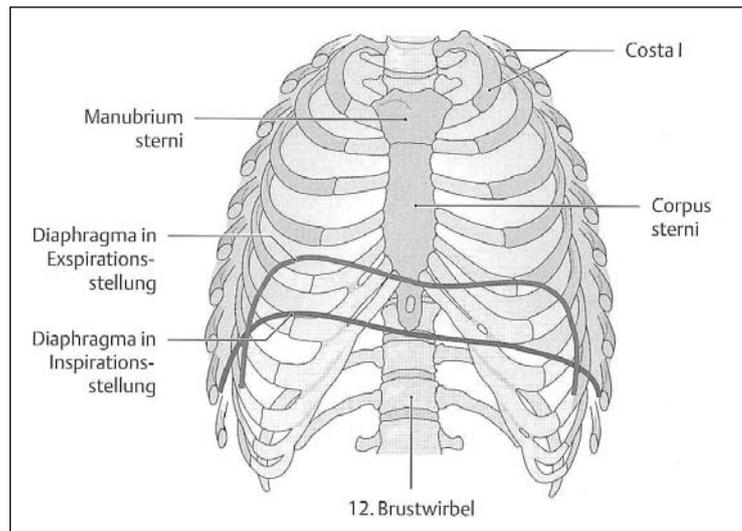
## 2.2 Thoraxanatomie und Atemmuskulatur

### 2.2.1 Anatomie des Thorax

Der menschliche Brustkorb (Thorax), in dem neben der Luftröhre (Trachea), dem Herzen, wichtigen Blutgefäßen, der Speiseröhre (Ösophagus) und Nervenbahnen die Lunge den größten Teil einnimmt, setzt sich aus zwölf Brustwirbeln (Vertebrae thoracicae), zwölf Rippenpaaren (Costae) sowie dem Brustbein (Sternum) zusammen. Die Rippen sind mit den Wirbeln gelenkig verbunden; bei den Atembewegungen werden Rippenknorpel bewegt. Wie in den Abb. 2/Abb. 3 dargestellt, sind die oberen sieben Rippenpaare mit dem Brustbein durch knorpelige Enden verbunden; das 8. bis 10. Rippenpaar sind durch Knorpelgewebe miteinander verbunden und gemeinsam indirekt mit dem unteren Ende des Sternums. Das 11. und 12. Rippenpaar enden frei. Die Bereiche zwischen den Rippen werden als Intercostalräume bezeichnet.



**Abb. 2:** Darstellung des Thorax und der Lage des Zwerchfells von ventral (aus Habermann, 1986, S. 9)



**Abb. 3:** Bewegungen des Zwerchfells (aus Schünke et al., 2007, S. 32)

### 2.2.2 Atemmuskulatur

Die an den Atembewegungen beteiligte Muskulatur wird in die regulären Ein- und Ausatemmuskeln (Hauptatmungsmuskulatur) und die auxiliären Muskeln (Hilfsmuskeln) unterteilt. Die Einteilung, wie sie hier vorgenommen wird, orientiert sich an Wirth (1995) und Hammer (2003)<sup>3</sup>. Tab. 1 gibt einen systematischen Überblick über die Hauptein- und -ausatemmuskulatur sowie über die entsprechende Atemhilfsmuskulatur.

Im Folgenden wird nur die Hauptinspirations- und -expirationsmuskulatur erläutert.

Das **Zwerchfell** (Diaphragma, Phrenum) ist der für die Atmung entscheidende und wichtigste Muskel. Dieser kuppelförmige Muskel trennt Brust- und Bauchraum und setzt an den unteren thorakalen Randbegrenzungen an (Abb. 2/Abb. 3). Bei physiologischer Ausatmung (Expiration) heben sich die Kuppeln, die im Bereich der mittig liegenden Sehnenplatte, dem Centrum tendineum abflachen, auf unterschiedliche Höhe. Die rechte Kuppel ragt bis zum

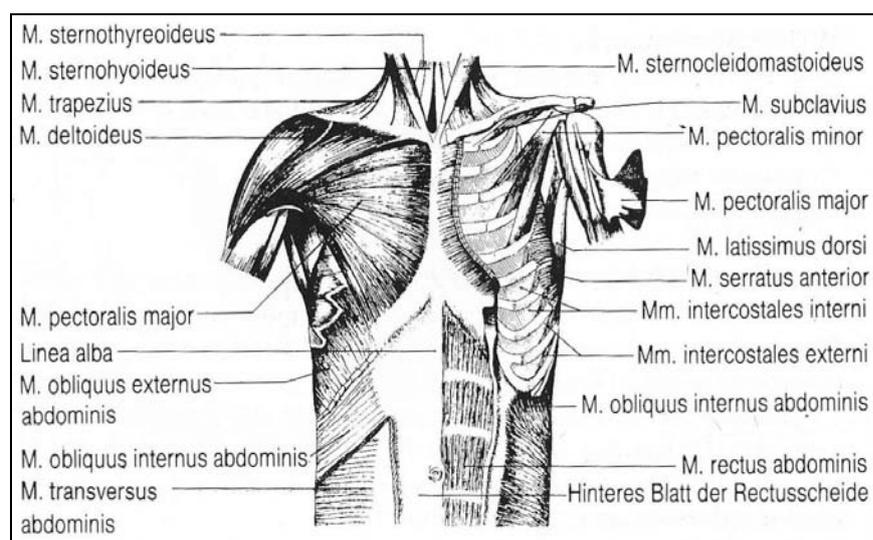
<sup>3</sup> Die Einteilung in Haupt- und Hilfsatemmuskulatur variiert bei den Autoren je nach Lokalisation und Funktion der Muskeln. Die heute gebräuchlichste Einteilung wird im Rahmen dieser Arbeit behandelt.

Knorpel der 4. Rippe, die linke Kuppel bis zum Knorpel der 5. Rippe; bei maximaler Inspiration flacht das Zwerchfell bis auf Höhe des 7. Rippenpaares ab (Wirth, 1995).

Inspirationsmuskulatur	Expirationsmuskulatur
Diaphragma (Zwerchfell)	
Mm. intercostales externi	Mm. intercostales interni
M. serratus posterior superior	M. serratus posterior inferior
Inspiratorische Atemhilfsmuskulatur	Expiratorische Atemhilfsmuskulatur
M. pectoralis major	Mm. subcostales
M. pectoralis minor	M. transversus thoracis
M. subclavius	M. obliquus internus abdominis
Mm. scaleni	M. obliquus externus abdominis
M. serratus anterior	M. rectus abdominis
M. latissimus dorsi	M. transversus abdominis
M. sternothyreoideus	M. quadratus lumborum
M. sternocleidomastoideus	
M. iliocostalis cervicis	
M. sacrospinalis	

**Tab. 1** Überblick über die Haupt- und Hilfsmuskulatur der Atmung (n. Wirth, 1995)

Zur **Haupteinatemungsmuskulatur** zählen die äußeren Zwischenrippenmuskeln (Intercostalmuskeln, Mm. intercostales externi), die von lateral kranial nach medial kaudal zur nächst unteren Rippe verlaufen. Ihre Funktion ist die der Rippenhebung während der Einatmung (Inspiration) (Abb. 4).



**Abb. 4:** Darstellung der an der Atmung beteiligten Muskulatur (aus Wirth, 1995, S. 25)

Die Verlaufsrichtung des M. serratus posterior superior ist schräg abwärts vom 6. und 7. Halswirbel bzw. dem 1. und 2. Brustwirbel zum 2. bis 5. Rippenpaar; er ist ebenfalls für das Heben der Rippen ausschlaggebend.

Für die **Ausatmung** sind in besonderer Weise die inneren Zwischenrippenmuskeln (Mm. intercostales interni) verantwortlich, die sich in den Zwischenrippenräumen befinden und die schräg von medial kranial nach lateral kaudal verlaufen.

Die gleiche Funktion der Senkung der Rippen während der Ausatmung hat der M. serratus posterior inferior inne, der im Bereich des unteren Brust- und oberen Lendenwirbels bis zum 9. bis 12. Rippenpaar verläuft.

Die genannten Muskeln werden von den Nn. intercostales innerviert.

## 2.3 Lungenfunktion und Atemvorgang

### 2.3.1 Physiologie und Funktion der Lunge

Die Lunge (Pulmo) ist das zentrale Atmungsorgan. Die beiden Lungenflügel liegen der thorakalen Innenwand luftdicht an und sind von einer glatten, feuchten Haut (Pleura), die aus zwei Strukturen besteht, ummantelt. Die äußere Struktur ist das Rippenfell (Pleura parietalis) und die die Lunge umgebende Struktur ist das Lungenfell (Pleura pulmonalis). Zwischen diesen beiden Strukturen befindet sich eine dünne Flüssigkeitsschicht (Pleuraspalt); diese dehnt sich nicht aus, so dass die Lunge den Bewegungen des Brustkorbs folgt. Der rechte, größere Lungenflügel besteht aus drei Lappen (Lobi), die durch eine schräge und eine horizontale Spalte in den Ober-, Mittel- und Unterlappen geteilt sind; die linke Lunge ist durch eine schräge Spalte in zwei Lappen aufgegliedert. Diese Interlobärspalten gewährleisten eine Verschiebung der Lappen während der Atembewegungen (Abb. 5).

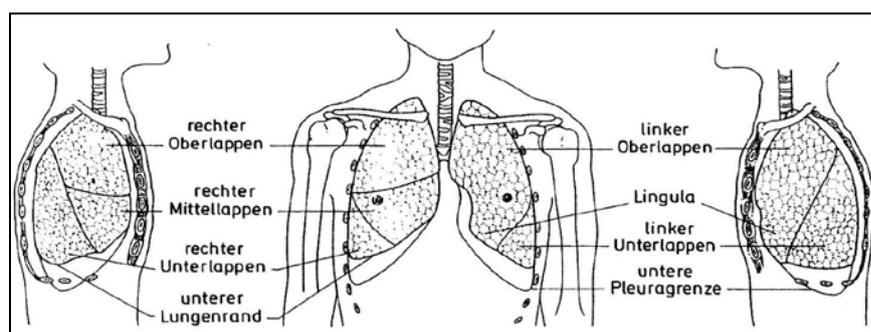
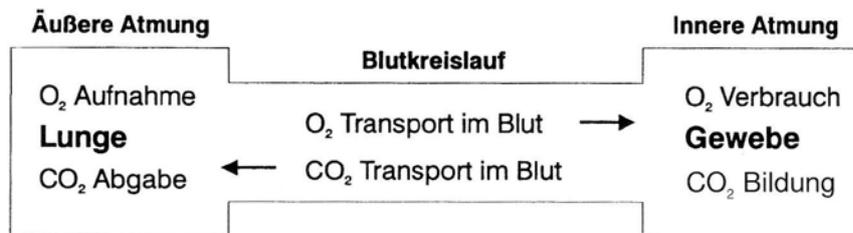


Abb. 5: Oberflächenanatomie der Lunge (aus Ehrenberg, 2001, S. 32)

Zu unterscheiden sind die innere und die äußere Atmung, die in Abb. 6 schematisch dargestellt sind. Intrazelluläre biochemische Prozesse beschreiben die innere Atmung; die äußere Atmung erfolgt über den Gasaustausch in der Lunge. In den Lungenbläschen, den Alveolen, findet der Gasaustausch von  $O_2$  und  $CO_2$  statt. Der Transport von  $O_2$  und  $CO_2$  erfolgt über das Blut und verknüpft auf diese Weise den Kreislauf zwischen äußerer und innerer Atmung (Ehrenberg, 2001).



**Abb. 6:** Schematische Darstellung von äußerer und innerer Atmung verbunden durch den Blutkreislauf (aus Ehrenberg, 2001, S. 58)

### 2.3.2 Atemvorgang

Der physiologische Atemrhythmus ist in drei Phasen unterteilt: die Inspirationsphase, die Expirationsphase und die Atemruhephase, auch respiratorische Pause genannt<sup>4</sup>.

Die **Inspirationsphase** ist hauptsächlich durch die Aktivität des Zwerchfells und der äußeren Intercostalmuskeln charakterisiert. Die inspiratorische Atemhilfsmuskulatur unterstützt den Einatemvorgang zusätzlich. Aufgrund eines Atemimpulses des Atemzentrums flacht das kuppelförmige Zwerchfell ab und die äußeren Intercostalmuskeln kontrahieren und heben den Brustkorb und das Brustbein; der Querdurchmesser des Brustkorbs vergrößert sich insbesondere in der unteren thorakalen Region. Diese Hebung bedingt eine intrathorakale Volumenzunahme, wodurch ein intrapulmonaler Unterdruck erzeugt wird, der bewirkt, dass passiv Luft in die Lunge eingesogen wird. Da die Flüssigkeitsschicht zwischen thorakaler Innenwand und Lungenflügel nicht dehnbar ist, folgen die Lungenlappen den thorakalen Bewegungen. Die Atemluft strömt ein, passiert den pharyngealen und laryngealen Trakt,

<sup>4</sup> Die Bedeutung des in drei Phasen gegliederten Atemrhythmus, v.a. das Einhalten der Atemruhephase spielt in der Atem- und Stimmtherapie eine entscheidende Rolle. Durch das Einhalten der Atemruhephase wird die Erarbeitung der costo-abdominalen Atmung entscheidend unterstützt.

gelangt in die Luftröhre, die sich auf Höhe des 4. Brustwirbels in der Bifurkation in die zwei Hauptbronchien teilt. Die Bifurkation bezeichnet den Bereich der Aufspaltung in die zwei Hauptbronchien<sup>5</sup>.

Die Atemluft strömt von dort aus weiter von den Bronchiolen in die Lungenbläschen (Alveolen), wodurch das Lungenvolumen zunimmt. Der Gasaustausch von CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> findet in den Lungenbläschen statt. Parallel zur Erweiterung des Brustkorbs tritt das Zwerchfell tiefer, wodurch ein Druck auf die Baucheingeweide entsteht; diese entweichen ventral, lateral, dorsal und kaudal. Dieser Vorgang wird durch das Heben der Bauchdecke sichtbar, worauf der Terminus „Abdominalatmung“ (s. Kap. 2.4.2) zurückzuführen ist.

Die **Expirationsphase** wird eingeleitet durch das Senken des Brustkorbs infolge der Kontraktion der inneren Intercostalmuskeln und der Entspannung des Zwerchfells, das sich in seine Ausgangsposition zurückbewegt. Die Rückstellkräfte der inspiratorisch gedehnten pulmonalen und thorakalen Strukturen gewährleisten den passiven Vorgang der Ausatmung. Die Kontraktion der Bauchmuskeln unterstützt die Bewegung des Zwerchfells; die Baucheingeweide werden wieder in ihre ursprüngliche Lage bewegt.

Die **Atemruhephase**, auch endexpiratorische Pause genannt, die physiologisch einer eutonem Expirationsstellung entspricht, bezeichnet den Zeitraum nach einer Expirationsphase bis zur nächsten Inspiration. Der Brustkorb und die Atemmuskulatur sind für kurze Zeit entspannt, bis das Atemzentrum wieder einen Atemimpuls aussendet, sobald die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Blut einen Grenzwert überschreitet. Die Ursache für die Atemruhephase ist folglich darin begründet, dass „zu diesem Zeitpunkt keine Druckdifferenz zwischen den Alveolen und dem Außenraum [besteht]. Deswegen fließt auch keine Luft von außen nach innen oder umgekehrt“ (Birbaumer & Schmidt, 1991, S. 99).

---

<sup>5</sup> Anatomisch zählen zu den oberen Luftwegen Nase, Mund und Rachen (Pharynx) und zu den unteren Luftwegen Larynx, Trachea und Bronchien.

## 2.4 Atemarten – Atemformen – Atemvolumina

### 2.4.1 Atemarten

Atemarten sind definiert durch Veränderungen der Atemintensität, wie sie körperliche Anstrengungen oder stimmliche Anforderungen notwendig machen. Nach neuerer Einteilung werden die Atemarten einerseits in die stumme Atmung (Respiratoria muta) unterteilt – hierzu zählen die Ruheatmung und die Leistungsatmung – und andererseits in die Stimmatmung (Respiratoria phonatoria), die beim Sprechen und Singen zum Tragen kommt.

Die **Ruheatmung** folgt dem dreiphasigen Atemzyklus, bei dem das Atemzeitverhältnis von Einatmung und Ausatmung durchschnittlich 1:1,5 beträgt. Die Atemräume dehnen sich gleichmäßig im thorakalen und abdominalen Bereich aus; die physiologische costo-abdominale Atmung (s. Kap. 2.4.2) stellt sich ein. Die Ausatmung erfolgt bei der Ruheatmung passiv aufgrund der Rückstellkräfte von Lunge, Rippen und Zwerchfell. Der Atemrhythmus ist ruhig und gleichmäßig. Bei der Ruheatmung ist die tiefste Einatmung möglich. Zwischen acht und 16 Atemzüge pro Minute sind die Norm.

Die **Leistungsatmung** tritt bei körperlicher Belastung ein. Der Sauerstoffbedarf gegenüber der Ruheatmung ist höher, was zu einer Steigerung der Atemfrequenz führt. Die Inspirationsmuskulatur ist besonders aktiv und gefordert. Die Atemruhephase ist erheblich verkürzt oder fehlt vollständig. Zudem erfolgt der Wechsel von der Nasen- zur Mundatmung, die bei dieser Atemart dominiert.

Die **Stimmatmung** (Phonationsatmung) tritt beim Sprechen und Singen auf. Bei der Phonation ist die Dosierung des pulmonalen Luftstroms, der als „Betriebsstoff“ für die Stimmbildung dient, grundlegend. Hierdurch werden die Atemfrequenz, der Atemrhythmus und die Atemtiefe entsprechend der stimmlichen Erfordernisse beeinflusst.

Für die Sprechatmung ist entscheidend, dass der für die Phonation notwendige subglottische Anblasedruck aufgebaut wird und ein ausreichendes Luftvolumen durch eine vertiefte Inspiration zur Verfügung steht. Die Expirationsphase ist deutlich verlängert, da das Verhältnis Inspiration zu Expiration durchschnittlich 1:6 bis 1:7 beträgt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Sprechatmung sehr differenziert und auf die jeweilige Sprechsituation abgestimmt ist. Die Feinabstimmung der Atmung ist aufgrund der sehr unterschiedlichen

Anforderungen in Hinblick auf die Sprechstimme notwendig, da vom Reihensprechen, über kurze Rufe, bis hin zu lang andauernden Vorträgen allen Formen stimmlichen Produktionen Rechnung getragen werden muss.

Bei der Singatmung ist die Phase der Expiration deutlich länger und erfolgt kontrollierter als bei der Sprechatmung; es werden diverse Atemvolumina ausgeschöpft (s. Kap. 2.4.3). Die Inspirationsphase ist meist stark verkürzt und beschleunigt und die Mundatmung dominiert. Das Verhältnis von Ein- und Ausatmung variiert beim Singen beträchtlich und wird durchschnittlich mit 1:10 bis 1:50 angegeben (Habermann, 1986). Nach Faulstich (2000) hat die Singatmung „die optimale Umsetzung von Atemluft in Stimmklang zum Ziel. Diese vollzieht sich durch fein dosierte Anpassung des Ausatemstroms an die Muskelspannung im Kehlkopf“ (S. 27). Neben dieser Feinabstimmung ist auch die Atemstütze im Zusammenhang mit der Singstimme von großer Bedeutung. Dabei handelt es sich um einen speziellen Vorgang der Atemregulation. Während der Expiration bleibt die Inspirationsmuskulatur unter Spannung, um dem Zusammensinken des Brustkorbs bei der Ausatmung entgegenzuwirken. Das Zwerchfell bleibt in Abhängigkeit von der Dauer der Sprechphase oder des sängerischen Phrase während der Expiration in Kontraktion.

Vorweg sei erläutert, dass sich zyklusbedingte Stimmveränderungen sekundär auf die Atmung, insbesondere auf die Ausatemdauer auswirken können; dies betrifft sowohl die Sprech-, als auch die Singatmung. Der Einsatz von Stimmtechniken, wie die eben erwähnte Atemstütze, spielt für die Kompensation stimmlicher Einschränkungen eine entscheidende Rolle (s. Kap. 11.2).

## 2.4.2 Atemformen

Wie erläutert sind die physiologischen Atembewegungen in der thorakalen und abdominalen Körperregion festzustellen.

Bei der **Abdominalatmung** (Bauchatmung) sind die Zwerchfellbewegungen durch das Heben der Bauchdecke bei der Einatmung und deren Abflachen bei der Ausatmung zu beobachten. Die Inspiration erfolgt vorwiegend durch die Kontraktion des Zwerchfells, das nicht willkürlich gesteuert werden kann.

Der Begriff **Thorakalatmung** (Brustatmung) wird mit dem der **Kostalatmung** (Rippenatmung) gleichgesetzt. Es handelt sich dabei um eine unphysiologische Atemform, da – wie der Begriff sagt – die thorakale Region geweitet wird, während das Zwerchfell passiv durch den

Zug der Rippen nach oben bewegt wird. Die Bauchdecke bewegt sich während der Inspiration kaum.

Bei der reinen **Flankenatmung** handelt es sich ebenfalls um eine unphysiologische Atemform, da die Weitung vorwiegend im Bereich der Flanken, d.h. der unteren Rippenpaare stattfindet.

Die an Atemleistung wirkungsvollste und effektivste Atemform ist die **costo-abdominale Atmung**, die eine Kombination aus Bauch-, Brust- und Flankenatmung darstellt. Die Ausdehnung des Brustkorbs erfolgt durch Kontraktion und Abflachung des Zwerchfells, ergänzt durch die Erweiterung des Thorax, wodurch ein hohes Atemvolumen aufgenommen wird. Diese Atemform wird in der Stimm- und Atemtherapie angestrebt und erarbeitet.

Durch das Einhalten dieser physiologischen Atemform auch in Phasen stimmlicher Einschränkungen, wie sie sich im Menstruationszyklus einstellen, können diese minimiert und ausgeglichen werden (s. Kap. 7, 11).

Bei der **Klavikularatmung** (Schulter- oder Schlüsselbeinatmung) handelt es sich um eine unphysiologische Atemform, bei der die thorakale Erweiterung äußerst hoch ist, so dass die Atembewegungen mit einer Hebung der Schultern und/oder des Schlüsselbeins einhergehen. Diese Atemform ist häufig bei dysphonischen Störungsbildern festzustellen.

Als **Hochatmung** bezeichnet man Atemformen – wie die eben erläuterte Klavikularatmung – bei denen die Atembewegungen ausschließlich im Brust- oder Klavikularbereich stattfinden (Hammer, 2003). In Zyklusphasen, die sich auf das Phonationssystem einschränkend auswirken, besteht v.a. bei nicht ausgebildeten Stimmen die Tendenz zur Hochatmung.

### 2.4.3 Atemvolumina

Die dargestellten Lungenvolumina in Abb. 7 sind abhängig von Geschlecht, Alter, Größe und körperlicher Gesamtverfassung einer Person. Bei jüngeren Personen und bei regelmäßiger und/oder intensiver sportlicher Betätigung ist das Lungenvolumen entsprechend erhöht.

Beim **Atmzugvolumen**, auch **Respirationsvolumen** oder **Tidal volume** genannt, handelt es sich um eine Luftmenge von ca. 0,5 l bis 0,6 l, die bei ruhiger Atmung ein- und ausgeatmet wird. Die kleinen Wellen stellen das Atemzugvolumen graphisch dar. Dieses wird weiter unterteilt in das *Alveolarvolumen*, d.h. jene Luftmenge, die in den Alveolen zum Gasaustausch benutzt wird und in das *Totraumvolumen*, das die Luftmenge beschreibt, die in den oberen und unteren Atemwegen verbleibt (Ehrenberg, 2001).

Das **inspiratorische Reservevolumen**, das durchschnittlich 1,5 l umfasst, definiert die Luftmenge, die das Atemzugvolumen bei maximaler Inspiration ergänzt.

Das Atemzugvolumen ergibt zusammen mit dem inspiratorischen Reservevolumen die **Inspirationskapazität**.

Im Gegensatz hierzu steht das **expiratorische Reservevolumen**, das bei maximaler Ausatmung mit durchschnittlich 1,5 l zusätzlich zum Atemzugvolumen abgegeben werden kann.

Die eben erläuterten Luftvolumina werden unter dem Begriff **Vitalkapazität** zusammengefasst, wobei Atemzugvolumen, inspiratorisches und expiratorisches Reservevolumen summiert eine durchschnittliche Luftmenge von 2,5 l – 5 l ergeben. Wie Abb. 7 zu entnehmen ist, variiert das Ausmaß der Luftvolumina erheblich. Bergauer (1998) definiert die Vitalkapazität als „die gesamte Luftmenge, die nach tiefster Einatmung durch tiefste Ausatmung abgegeben wird“ (S. 16). Die durchschnittliche Vitalkapazität bei Frauen beträgt 2,5 l bis 4 l und bei Männern zwischen 3 l und 5 l.

Das Luftvolumen, das nach maximal möglicher Ausatmung in der Lunge verbleibt, wird als **Residualvolumen** bezeichnet und beträgt ca. 1,5 l.

Die **Totalkapazität** beschreibt die Luftmenge, die nach maximaler Inspiration einschließlich des Residualvolumens in die Lunge aufgenommen wird; das Residualvolumen plus die Vitalkapazität ergibt folglich die Totalkapazität.

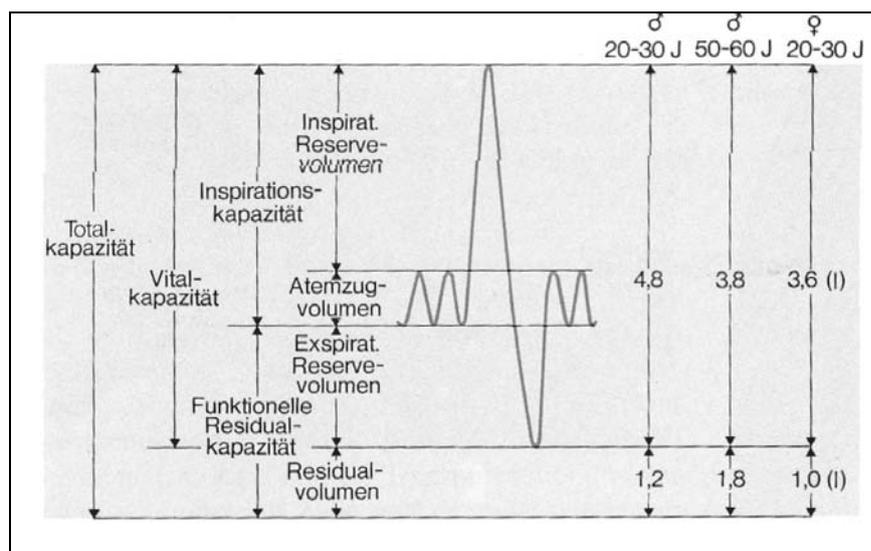


Abb. 7: Überblick über die Atemvolumina (aus Birbaumer & Schmidt, 1991, S. 98)

Bei den eben erläuterten Größen handelt es sich um statische Lungenvolumina. Wird der Faktor Zeit berücksichtigt, spricht man von dynamischen Luftvolumina, wie bspw. beim

Atemminutenvolumen, das definiert ist als das Produkt aus dem Atemzugvolumen und der Atemfrequenz (Ehrenberg, 2001).

Die Atemarten, insbesondere die Phonationsatmung, und die Atemformen in ihren unterschiedlichen Ausprägungen sind in Hinblick auf die im Rahmen dieser Arbeit erfolgte Studie von Bedeutung. Die Gegenüberstellung der Atem- und Phonationstechniken, wie sie von Sängerinnen infolge intensiver Gesangsausbildung einerseits und Sprecherinnen mit und ohne Stimmausbildung andererseits eingesetzt werden, sind für die Durchführung der Stimmfeldmessung an sich entscheidend. In Bezug auf die Auswertung der Stimmparameter und die qualitative Beurteilung der Stimmfelder ist der Einfluss der Atemvolumina zu berücksichtigen; diese beeinflussen in besonderem Maße die maximale Phonationsdauer MPT (s. Kap. 9.1.2.6).

### **3 Physiologie der Stimme**

#### **3.1 Primär- und Sekundärfunktion des Kehlkopfs**

Die Primärfunktion des Larynx bestand entwicklungsgeschichtlich in der Sphinkterfunktion, der Verschlussfunktion des Kehlkopfs. Die Stimmlippen ermöglichten einen reflektorischen Schutzverschluss, der beim Übergang von der Kiemenatmung zur Lungenatmung physiologisch notwendig und unabdingbar wurde. Ursprünglich entwickelte sich der Kehlkopf aus dem Ringmuskelverschluss des Lungenfisches. Die Entwicklung von der reinen Sphinkterfunktion des unteren Respirationstrakts bis zur Funktionsfähigkeit und Komplexität des menschlichen Kehlkopfs erfolgte durch differenzierte Veränderungen und Abstufungen der Verschlussbewegungen sowie der Feineinstellung der Muskulatur. So bildete sich infolge als entwicklungsgeschichtlich wesentlich jüngere Sekundärfunktion die Stimmfunktion heraus, charakterisiert durch jene periodischen Schwingungen der Stimmlippen, die die Grundlage der Phonation darstellen. Die Primärfunktion des Kehlkopfs ist auch heute noch von enormer physiologischer Bedeutung, da diese Verschlussfunktion das Eindringen von Speisebrei in den unteren Respirationstrakt verhindert und durch Stauen des pulmonalen Luftstroms im subglottischen Bereich das Abhusten und Entfernen von Fremdkörpern aus

dem Atemtrakt ermöglicht wird. Die Primärfunktion des Ansatzrohres<sup>6</sup> bestand ursprünglich in der Aufnahme und Zerkleinerung der Nahrung, bis sich die klang- und lautbildende Funktion im Zuge der Sprach- und Sprechentwicklung herausbildete (Habermann, 1986).

Die Primärfunktionen sind an erster Stelle für die Funktionsfähigkeit des Organismus grundlegend und werden vorwiegend durch das vegetative Nervensystem gesteuert. Die Sekundärfunktionen, die über kein eigenes Organsystem verfügen und sich daher des bereits vorhandenen Organsystems bedienen, werden willkürlich gesteuert.

Ergänzend sei hinzugefügt, dass evolutionsgeschichtlich die nicht-verbale, emotionalen Lautäußerungen wie Lachen, Weinen, Stöhnen erheblich älter sind als das verbale Lautsystem (Jürgens, 2003; Hammer, 2003).

## 3.2 Kehlkopfgerüst und innere laryngeale Struktur

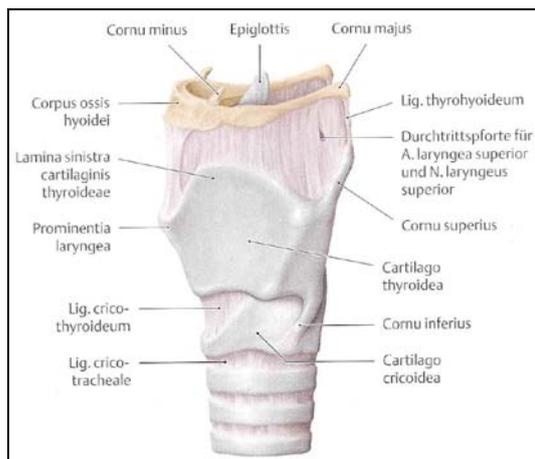
### 3.2.1 Kehlkopfgerüst

Der Kehlkopf ist Teil des Atemtrakts und stellt anatomisch ein Gerüst aus Knorpeln dar, die durch Membranen und Bänder miteinander verbunden sind und durch das synergistische Zusammenwirken von Muskeln bewegt werden. Das Kehlkopfgerüst ist in den Abb. 8 und Abb. 9 aus verschiedenen Perspektiven zu sehen.

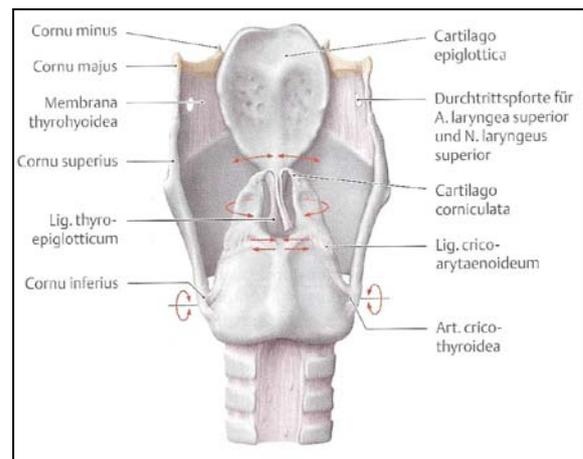
Der Kehldeckel (Epiglottis, *Cartilago epiglottica*) ist ein elastischer Knorpel, dessen nach unten gerichteter Stiel (*Petiolus*) durch das *Ligamentum thyreoepiglotticum* (s. Abb. 9) mit der Innenseite des Schildknorpels verbunden ist. Der freie Epiglottisrand reicht bis in den pharyngealen Bereich.

---

<sup>6</sup> Zur Erläuterung: Das Ansatzrohr umfasst den Bereich zwischen den Stimmlippen und der Mund- bzw. Nasenöffnung; es gliedert sich in den Hypopharynx, Oropharynx und Nasopharynx. Es stellt den Artikulations-trakt dar und umfasst die wichtigsten Resonanzräume.



**Abb. 8:** Schrägansicht des Kehlkopfgerüsts von links-ventral (aus Schünke et al., 2007, S. 14)



**Abb. 9:** Dorsale Ansicht des Kehlkopfgerüsts (aus Schünke et al., 2007, S. 14)

Der **Ringknorpel** (Cartilago cricoidea) bildet als engste Stelle des laryngealen Gerüsts den oberen Abschluss der Trachea, der Luftröhre.

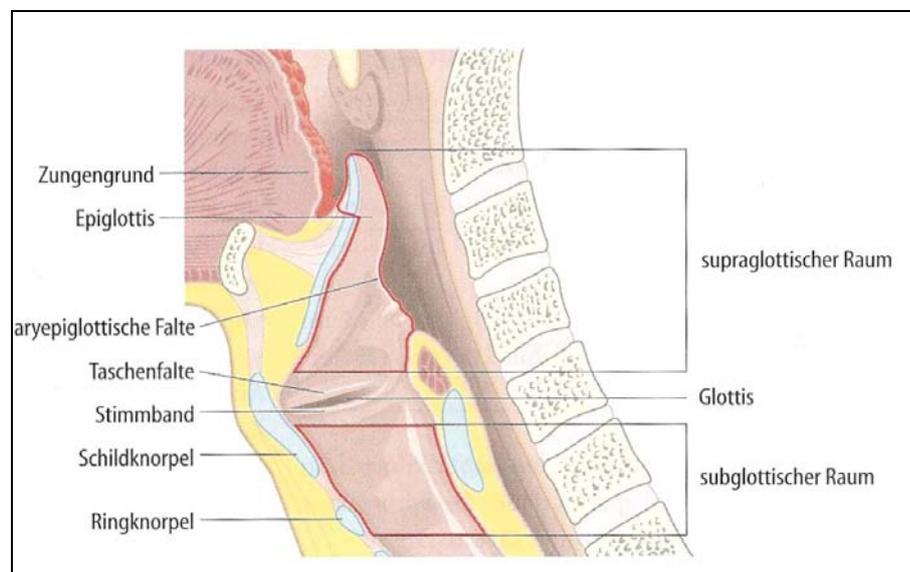
Der **Schildknorpel** (Cartilago thyroidea) besteht aus zwei Platten, die vorne winkelförmig zusammenlaufen und an der Prominentia laryngea besonders deutlich hervorspringen. Die hinteren Ränder der Schildknorpelplatten verlaufen nach oben und unten und enden in den Schildknorpelhörnern (Cornu superius, Cornu inferius). Die unteren Schildknorpelhörner sind verbunden mit den lateralen Flächen des Ringknorpels; dies ermöglicht sagittale Kippbewegungen des Schildknorpels. Das Ligamentum cricothyroideum verbindet Ring- und Schildknorpel. Zwischen dem **Zungenbein** (Cartilago hyoidea), das nach hinten geöffnet ist, und dem Schildknorpel liegt die Membrana thyrohyoidea.

Die **Stellknorpel** (Aryknorpel, Cartilagine arytaenoideae) sind auf dem hinteren oberen Rand des Ringknorpels lokalisiert und haben jeweils drei Fortsätze (Processi), von denen der Processus vocalis nach vorne als Ansatz für den Stimmbandmuskel (M. vocalis) und der Processus muscularis seitlich gerichtet ist. Der Processus muscularis ist der Ansatzpunkt für den M. cricoarytenoideus posterior (Stimmlippenöffner) und den M. cricoarytenoideus lateralis (Stimmlippen-schließer). Die Stellknorpel sind mit dem Ringknorpel durch Dreh-Gleitgelenke verbunden (Becker et al, 1989; Boenninghaus & Lenarz, 2007).

### 3.2.2 Aufbau der inneren laryngealen Struktur

Abb. 10 zeigt die anatomische Gliederung des Kehlkopfinneren, das in drei Bereiche aufgeteilt ist.

Der **supraglottische** Bereich (Vestibulum laryngis) umfasst anatomisch den Raum vom Kehlkopfeingang (Aditus laryngis) bis zum unteren Rand der Taschenfalten (Plicae ventriculares). Zwischen den Taschenfalten und den Stimmlippen (Plicae vocales) sind die Eingänge in den Morgagni-Ventrikel lokalisiert.



**Abb. 10:** Laterale Ansicht des Kehlkopfinneren (aus Boenninghaus & Lenarz, 2007, S. 245)

Unterhalb folgt der **glottale** Trakt, zu dem die stimmbildenden laryngealen Strukturen – die Stimmlippen (Plicae vocales), die Aryknorpel und die Stimmritze (Rima glottidis) – zählen. Anatomisch erstreckt er sich vom unteren Rand der Taschenfalten bis zum oberen Rand der Stimmlippen.

Der **subglottische** Raum umfasst den Bereich unterhalb der Stimmlippen bis zum unteren Rand des Ringknorpels.

Das Kehlkopfinnere ist mit einem mehrreihigen, säulenförmigen Epithel, einem Zellverband, ausgekleidet, der im Respirationstrakt mit einem Flimmerbesatz ausgestattet ist und die Becherzellen enthält, die als Drüsenzellen Sekret produzieren (Boenninghaus, 1990).

### 3.3 Kehlkopfmuskulatur

Die Kehlkopfmuskulatur (Musculi laryngis) wird in die äußere und innere Kehlkopfmuskulatur unterteilt.

#### 3.3.1 Äußere Kehlkopfmuskulatur

Die äußere Kehlkopfmuskulatur ist für die Kehlkopfbeweglichkeit, d.h. die Kehlkopfelevation, die Kehlkopfsenkung und die Fixation verantwortlich. Der Kehlkopf hebt sich beim Schluckakt, bei der Ausatmung sowie beim Singen sehr hoher Töne, während er sich bei der Einatmung und beim Singen tiefer Töne absenkt. Die Funktionen der äußeren Kehlkopfmuskeln sind Tab. 2 zu entnehmen (angelehnt an Hammer, 2003 und Wirth, 1995).

M. constrictor pharyngis inferior (M. laryngo-pharyngeus)	Fixation und Rückwärtsbewegung des Kehlkopfes
M. stylopharyngeus	Bewegung des Kehlkopfs nach oben
M. sternothyreoideus	Bewegung des Kehlkopfs nach unten; Kippen des Schildknorpels nach hinten; passive Entspannung der Stimmlippen
M. thyreohyoideus	Bei fixiertem Zungenbein Zug des Kehlkopfs aufwärts, bei fixiertem Kehlkopf Zug des Zungenbeins abwärts
M. cricothyreoideus	Annäherung des Schild- und Ringknorpels, dadurch passive Spannung der Stimmlippen

**Tab. 2: Übersicht über die Funktionen der äußeren Kehlkopfmuskulatur**

#### 3.3.2 Innere Kehlkopfmuskulatur

Die innere Kehlkopfmuskulatur unterstützt die Funktionen, die die Phonation ermöglichen. Die hormonellen Schwankungen im Menstruationszyklus beeinflussen die Muskelfunktionen in entscheidender Weise. Die genaue Wirkungsweise ist jedoch noch unklar, wie in Kap. 7 erörtert wird. Zum einen variiert aufgrund struktureller Veränderungen der aufgelagerten Schleimhaut das Schwingungsverhalten der Stimmlippen im Zyklus. Zum anderen wird diskutiert, ob Schwankungen in der Neurotransmitterausschüttung mitverursachend sind. Abb. 11 stellt die Zugrichtungen der inneren Kehlkopfmuskulatur dar.

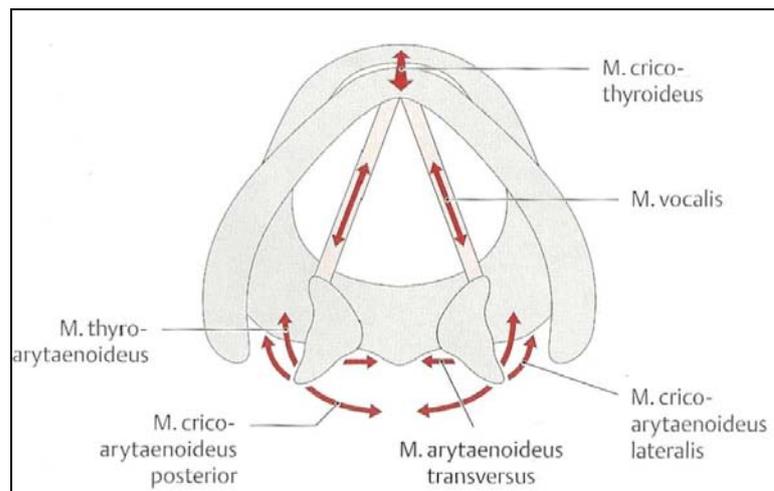


Abb. 11: Zugrichtungen der inneren Kehlkopfmuskeln (aus Schünke et al., 2007, S. 19)

### Stimmlippenspanner

Hierzu zählt der bereits erwähnte **M. cricothyroideus** (s. Tab. 2), der auch als äußerer Stimmlippenspanner bezeichnet wird.

Die folgenden Muskeln haben ihren Ansatz an den Aryknorpeln und werden vom Nervus laryngeus recurrens innerviert.

Der **M. thyroarytaenoideus** verläuft von der Innenfläche des Schildknorpels zum Processus muscularis und zur Seitenfläche des Aryknorpels. Der **M. vocalis**, der Stimmlippenmuskel, bildet den inneren Teil des M. thyroarytaenoideus. Seine Funktion liegt in der Feinspannung der Stimmlippen, der Verengung der Stimmritze (Rima glottidis) und der Feinregulierung des Tonus.

### Stimmritzenöffner

Der **M. cricoarytaenoideus posterior (M. posticus)** verläuft von der rückwärtigen Außenfläche der Lamina des Ringknorpels zum Processus muscularis des Aryknorpels. Er ist der einzige Muskel, der als Glottisöffner fungiert; durch Zug am Processus muscularis der Aryknorpel nach hinten zur Mitte wird die Glottis geöffnet.

### **Stimmritzenschließer**

Hierzu zählt der bereits erläuterte **M. vocalis**.

Der **M. cricoarytaenoideus lateralis (M. lateralis)** hat seinen Ursprung am Arcus des Ringknorpels und verläuft zum Processus muscularis des Aryknorpels. Der **M. lateralis** schließt durch den Zug am Processus muscularis des Aryknorpels die vorderen zwei Drittel der Glottis, die als Pars intermembranacea bezeichnet werden.

Der **M. arytaenoideus transversus (M. transversus)** verläuft rückwärtig zwischen den Aryknorpeln, durch deren Annäherung das hintere Drittel der Glottis (Pars intercartilaginea) schließt.

Des Weiteren zählt zur internen Kehlkopfmuskulatur der **M. arytaenoideus obliquus**, der quer liegende Aryknorpelmuskel, der vom Processus muscularis des einen zur Apex des anderen Aryknorpels verläuft und die Funktion des Verschlusses des Pars intercartilaginea innehat.

Ergänzend sei auch der **M. ventricularis**, der Taschenfaltenmuskel zu nennen, der vom N. laryngeus superior innerviert wird; er bewirkt durch Zug am Aryknorpel die Senkung der Epiglottis, wobei sich die Taschenfalte nach medial verlagert.

## 3.4 Physiologie der Phonation

### 3.4.1 Aufbau und Struktur der Stimmlippen

Die Struktur der Stimmlippen wird durch die zyklischen Hormonschwankungen im Verlauf des Menstruationszyklus beeinflusst, was – wie in Kap. 7 ausführlich behandelt wird – neben weiteren auslösenden Faktoren ursächlich für die Veränderungen der Stimme ist. Daher wird an dieser Stelle auf Aufbau und Struktur der Stimmlippen eingegangen.

In ihrer Struktur sind die Stimmlippen in Schichten aufgebaut (s. Abb. 12), wobei der Muskelanteil besonders hoch ist. Der **M. thyreoarytaenoideus** verläuft wie bereits erläutert vom Winkel des Schildknorpels zum Processus muscularis des Aryknorpels. Der innere Teil dieses Muskels ist der keilförmig nach dorsal verlaufende **M. vocalis**, der eigentliche Stimmlippenmuskel, der aus kleinen Muskelfaserbündeln besteht. Die feinen, aus elastischen, dehnbaren, dünnen Fasersträngen bestehenden inneren Ränder bilden die eigentliche für die

Phonation entscheidende Struktur. Zwischen den Stimmlippen und den oberhalb lokalisierten Taschenfalten befinden sich Morgagni-Ventrikel, jene Einbuchtungen, in denen Sekret zur Anfeuchtung der Stimmlippen produziert wird. Diese kontinuierliche Befeuchtung der Stimmlippen unterstützt deren Beweglichkeit und dient dem Schutz der umgebenden Schleimhautstrukturen.

Die Stimmlippen, die beschrieben werden können als Schleimhautfalten von weißlicher Farbe, sind mit drei Schichten subepithelischen Gewebes, der Lamina propria mucosae, überzogen, der die Epithelzellschicht aufgelagert ist. Diese Strukturen stellen die Mukosa dar. Die Epithelschicht besteht teils aus Flimmer-, teils aus unverhorntem Plattenepithel. Bei einem Plattenepithel handelt es sich um einen Zellverband aus einfachen Zellen, während bei einem Flimmerepithel zusätzlich Flimmerhärchen auf der Oberfläche vorhanden sind. Die oberflächliche Schicht der Lamina propria besteht aus lockerem Bindegewebe; in der mittleren Schicht dominieren elastische Fasern und in der tiefen Schicht kollagene Fasern. Hirano (1981) beschreibt den Aufbau der Stimmlippen als sog. „body-cover-Modell“, bei dem der M. vocalis als „body“ und die obere Schicht der Lamina propria und das Stimmlippenepithel als „cover“ bezeichnet werden. Die mittlere und tiefe Schicht der Lamina propria mucosae verbinden diese Strukturen.

Die oberflächliche Schicht verschiebt sich gegen die unteren Schichten, wobei der Spalt zwischen der oberen Schicht und den unteren Schichten als Reinke-Raum oder Reinke-Spalt bezeichnet wird. „Die Deckschicht ist mit den unterliegenden Bindegewebsstrukturen und der Vokalmuskulatur eng verflochten, so dass bei der Phonation bestimmte Verformungen und Verschiebungen der Deckschicht auftreten“ (Habermann, 1986, S. 34). Diese Verschiebungen der Mukosa, der Schleimhautstruktur, an den Rändern der Stimmlippen während der Phonation, werden als Randkantenverschiebungen bezeichnet. Für die freien Ränder der Stimmlippen ist das schuppenförmige, geschichtete Epithel charakteristisch (Schneider & Bigenzahn, 2007).

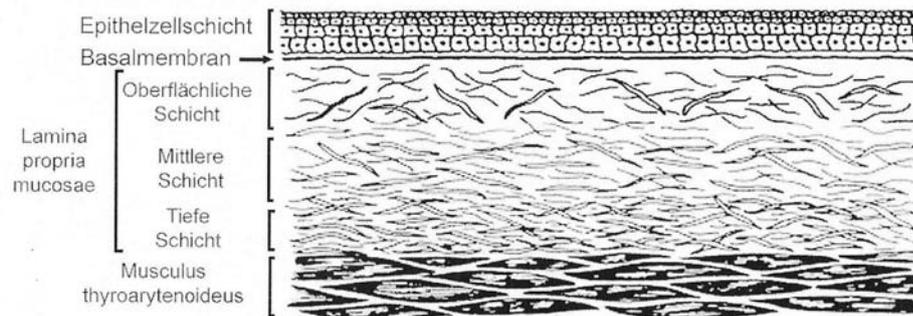


Abb. 12: Darstellung des strukturellen Aufbaus der Stimmlippen (aus Lürßen et al., 2005, S. 36)

### 3.4.2 Stimmlippenbewegungen während Atmung und Phonation

Während der Inspiration nimmt die Glottis die Form eines spitzwinkligen Dreiecks ein. Die Glottisweite ist abhängig von der Intensität der Atmung bzw. der Atemart (vgl. Kap. 2.4.1). Während der Expiration ohne Phonation ist die Glottisweite geringer, um die Luftabgabe zu regulieren. Die Stimmlippenbewegungen, die entsprechenden Bewegungsrichtungen sowie die Randkantenverschiebung sind den Abbildungen 13 und 14 zu entnehmen. Das Öffnen und Schließen der Glottis wird durch Drehbewegungen und das Entfernen bzw. Annähern der Aryknorpel infolge entsprechender Muskelkontraktionen bewirkt.

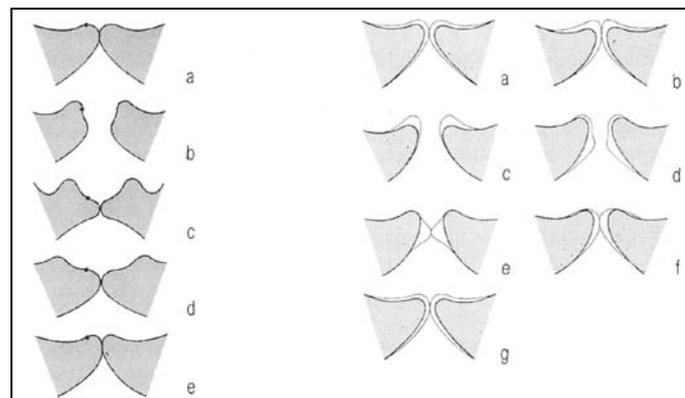


Abb. 13: Darstellung der horizontalen und vertikalen Stimmlippenbewegungen (aus Wirth, 1995, S. 92, nach Schönhärl, 1960)

Abb. 14: Darstellung der Randkantenverschiebung (aus Wirth, 1995, S. 92, nach Schönhärl, 1960)

Die Schwingungsbewegungen der Stimmlippen verlaufen in einem dreidimensionalen Vorgang, der sich aus einer vertikalen, einer horizontalen Komponente (s. Abb. 13) sowie der Randkantenverschiebung (s. Abb. 14) zusammensetzt.

Vor Phonationsbeginn erfolgt die Einstellung der Stimmlippen, was als „pre-phonatory tuning“ bezeichnet wird. Die Stimmlippen adduzieren, sie bewegen sich von der Respirationsposition in die Phonationsposition. Das laryngeale Muskelsystem stellt sich auf die gewünschte Tonhöhe ein und kontrahiert in entsprechender Weise<sup>7</sup>.

Während der *Öffnungsphase* abduzieren die Stimmlippen auf vertikaler Ebene aufgrund des subglottischen Drucks, der den Glottiswiderstand überschreitet. Der untere Bereich der Stimmlippen entweicht zur Seite, der obere Bereich folgt kurz darauf. Auf horizontaler Ebene sind Öffnungen im vorderen und hinteren Stimmlippendrittel zu sehen, die fast zeitgleich auftreten. Das mittlere Drittel öffnet sich zuletzt.

Während der *Schließungsphase* sinkt nach dem Luftdurchtritt durch die Glottis der subglottische Druck. Aufgrund des Bernoulli-Effekts<sup>8</sup> – auch als aerodynamisches Gesetz bezeichnet – wird eine kontinuierliche Stimmlippenschwingung aufrechterhalten (Kröger, 1997).

Der Luftstrom saugt die medialen Flächen der Stimmlippen zum Stimmlippenschluss an, was die Lateralis- und Transversusmuskulatur – die für den Stimmlippenschluss verantwortliche Muskulatur – entlastet. Die Ansaugwirkung entsteht dadurch, dass subglottal ein Überdruck und zwischen den geschlossenen Stimmlippen ein Unterdruck entsteht (Kasper, 2008). Zusammen mit der den Stimmlippen eigenen Elastizität wird der Rückschwung der Stimmlippen bewirkt (myoelastische Schwingungstheorie). Die Stimmlippen schließen sich folglich auf vertikaler Ebene wieder von unten nach oben. Der horizontale Glottisschluss erfolgt von dorsal nach ventral.

Abb. 14 stellt zusätzlich den Vorgang der Randkantenverschiebung dar. Der Bewegungsablauf ist aufgrund der Schichtstruktur der Stimmlippen möglich. Dabei verschiebt sich die den Stimmlippen aufgelagerte Schleimhaut über den freien Rand der Stimmlippen. Diese über dem Muskelkörper ablaufende Schleimhautwelle ist bei physiologischer Stimmgebung bis zur Hälfte der Stimmlippenbreite sichtbar. Bei der Produktion tiefer Töne schwingen die gesamten Stimmlippen mit sichtbarer Randkantenverschiebung; mit Zunahme der Tonhöhe

---

<sup>7</sup> Unmittelbar bei Phonationsbeginn können Fehleinstellungen der Stimmlippen aufgrund von auditivem und/oder kinästhetischem Feedback korrigiert werden.

<sup>8</sup> Der Bernoulli-Effekt wurde benannt nach dem Schweizer Physiker Daniel Bernoulli (1700-1782), der die Beziehung von Fließgeschwindigkeit und deren Druck untersuchte.

nimmt die Randkantenverschiebung ab, wohingegen sie bei einer Steigerung der Lautstärke ausgeprägter ist (Böhme, 1997).

In diesem Zusammenhang spielt die mittlere Sprechstimmlage eine entscheidende Rolle. Der Begriff Sprechmittellage wird synonym verwendet. Sie liegt im unteren Drittel des Stimmumfangs und ist durch die am häufigsten auftretende Grundtonfrequenz in der Sprechmelodie definiert. Aufgrund der Tonhöhenmodulation der Sprechmelodie, die sprachlichen Anforderungen und emotionalen Komponenten Rechnung trägt, schwankt der Wert ca. ein bis zwei Halbtöne um die Grundfrequenz. Die Tonhöhenvariation ist bei Frauen ausgeprägter als bei Männern.

In der vorliegenden Studie wurde die mittlere Sprechstimmlage im Sprechstimmfeld zu drei verschiedenen Zeitpunkten im Zyklus erhoben.

Der Begriff Indifferenzlage wird von einigen Autoren (Wirth, 1995; Böhme, 1997) bedeutungsidentisch mit Sprechmittellage verwendet. Hammer (2003) unterscheidet die Begriffe voneinander; die Autorin definiert wie folgt: „Als Indifferenzlage wird die Tonlage bezeichnet, in der die Phonation mit geringstem Kraftaufwand möglich ist“ (S. 25), da Stimmlippentonus und Anblasedruck optimal aufeinander abgestimmt sind. Die Indifferenzlage gibt den idealen physiologischen Zustand der Phonation wieder.

Entscheidend für die Güte der Stimme ist die identische Frequenzrate beider Stimmlippen. Die Glottisschwingung ist bei physiologischer Phonation sowohl gleichseitig in Hinblick auf die Amplitude, als auch gleichzeitig hinsichtlich des Bewegungsablaufs. Die Symmetrie spielt demnach eine entscheidende Rolle in Bezug auf die Stimmgüte. Als Folge der Stimmschwankungen im Zyklus, die neben weiteren Faktoren auch auf muskuläre und strukturelle Veränderungen im phonatorischen System zurückzuführen sind, zeigen sich Veränderungen in der Stimmgüte. Wie in Kap. 7 und 11.1 erläutert wird, ist dies in Zusammenhang mit der Symmetrie der Stimmlippen im Schwingungsablauf zu betrachten.

Eysholdt et al. (2005) führen organische Dysphonien ätiopathogenetisch vorwiegend auf Asymmetrien der horizontalen Ebene zurück. „Im Prinzip sind bei jeder gestörten Stimme [die] horizontale und die vertikale Asymmetrie gleichzeitig vorhanden und überlagern sich gegenseitig“, [wobei] „eine der beiden Komponenten das Störungsbild so dominiert, dass die andere nicht ins Gewicht fällt“ (S. 21). Glottisschlussinsuffizienzen sind sowohl bei organischen, als auch bei funktionalen Dysphonien festzustellen.

Die Darstellung des Stimmlippenschwingszyklus kann durch den Einsatz der Doppelbelichtungsstroboskopie (DBS) quantitativ messbar und damit objektiv erfassbar gemacht werden. Bei dieser diagnostischen Methode können durch das zeitversetzte Aussenden verschiedenfarbig gefärbter Blitze im Abstand von ca. 1 bis 2 ms die bewegten Konturen der Stimmlippen erfasst werden. Die Stimmlippenbewegungen werden in der Offen- und Schließungsphase darstellbar und die Bewegungsabläufe können in einem Bild oder in Sequenzen beurteilt werden (Schade, 2005).

Eine interessante Studie zur Singstimme, die auch für das vorliegende Projekt von Bedeutung ist, wurde von Richter et al. (2005) durchgeführt. Die Autoren untersuchten das Schwingungsverhalten der Stimmlippen von professionellen Sängern und Personen ohne Gesangsausbildung. Es konnte gezeigt werden, dass im Vergleich der beiden Gruppen ein unterschiedliches Stimmlippenschwingsverhalten in Abhängigkeit von den stimmlichen Anforderungen zu beobachten ist. So treten beim Registerübergang im Glissando bei den Laiensängern Irregularitäten in Frequenz und Amplitude auf, während bei den professionellen Sängern die Frequenzveränderungen regelmäßiger sind. Ein ähnliches Bild ergibt die Produktion des Staccatos. Bei den Laiensängern zeigen sich eine langsame, sich steigernde Einschwingphase und eine verlängerte Ausschwingphase der Stimmlippen, während bei den professionellen Sängern eine kurze Einschwingphase und eine symmetrisch exakte Ausschwingphase im Stimmlippenschwingszyklus sichtbar sind.

### **3.4.3 Stimmleistungen**

Unter Stimmleistungen wird der Modus des Schwingungsverhaltens der Stimmlippen auf verschiedenen Ebenen und bei unterschiedlichen stimmlichen Anforderungen verstanden. Ein Großteil der Stimmleistungen wird in der Stimmfeldmessung erfasst und innerhalb der vorliegenden Studie untersucht. Das unterschiedliche Verhalten der Stimmlippen kann demnach auch im Hinblick auf hormonelle Einflüsse im Menstruationszyklus betrachtet werden. Das Ausmaß der Stimmlippenschwingungen, also der glottalen Öffnungs- und Schließbewegungen, steht in engem Zusammenhang und Interaktion mit der Stimmleistung. Im Folgenden werden die grundlegenden Stimmleistungen, die auch für das durchgeführte Projekt entscheidend sind, erläutert. In besonderer Weise sind Tonhöhe und Lautstärke für den individuellen Stimmklang und die Stimmqualität entscheidend und sie beeinflussen sich bis zu einem gewissen Grad gegenseitig, was anhand der Stimmfeldmessung dargestellt wird (s. Kap. 9). Zur Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen spielen diese beiden

Messgrößen sowohl isoliert als auch in Abhängigkeit voneinander hinsichtlich des Effekts der Tonhöhen-Lautstärke-Kopplung eine ausschlaggebende Rolle.

### Tonhöhe

Die Tonhöhe ist definiert durch die Anzahl der Stimmlippenschwingungen pro Sekunde und wird in der Einheit Hertz (Hz) angegeben. Die Frequenz ist nach v. Wedel und v. Wedel (1994) von folgenden Faktoren abhängig: Elastizitätskoeffizient, schwingende Masse, Stimmlippenspannung, Ausstromgeschwindigkeit, Anblasedruck und Stimmlippenlänge.

Physiologisch nehmen bei steigender Tonhöhe die Stimmlippenspannung und die Frequenz zu; der Glottisschluss ist zeitlich verkürzt. Ab einer bestimmten Tonhöhe sind die Stimmlippen erheblich tonisiert und verlängert und formen einen elliptischen Spalt. Mit weiterer Tonhöhensteigerung nimmt die muskuläre Spannung zu und erfordert einen erhöhten subglottischen Druck. Bei der Produktion tiefer Töne entsteht ein kleiner glottischer Spalt, während in der Mittellage die Stimmlippen parallel stehen und ein vollständiger Glottisschluss zu beobachten ist. In der Stimmtherapie oder der Stimmbildung von Berufssprechern wird die Indifferenzlage angestrebt.

In der vorliegenden Studie wurden die maximalen und minimalen Frequenzen sowie der Stimmumfang erfasst.

### Lautstärke

Die Lautstärke oder Intensität wird durch die Schwingungsamplitude bestimmt, die vom subglottischen Druck und der Geschwindigkeit des Luftstroms abhängt. Es besteht jedoch kein einfacher linearer Zusammenhang zwischen Amplitude und Lautstärke. Nach v. Wedel & v. Wedel (1994) ist entscheidend, dass die Amplitude zwar mit Steigerung des subglottischen Drucks zunimmt, jedoch kein direkter linearer Zusammenhang mit der Intensitätszunahme besteht. Physiologisch zeigt sich, dass „in tiefen und mittelhohen Tonlagen [...] an der Regelung der Stimmlautstärke Veränderungen des Glottiswiderstandes und Änderungen der Öffnungsfunktion der Glottis mitbeteiligt [sind], bei höheren Tönen nur aerodynamische Größen“ (Wirth, 1995, S. 98). Zusätzlich spielt auch die Stimmlippenspannung eine Rolle. Mit Zunahme der Lautstärke nehmen Stimmlippenspannung, Schwingungsamplitude und Dauer des Glottisschlusses zu.

Vor allem bei ungeübten Stimmen zeigt sich mit Zunahme der Lautstärke ein Anheben der Tonhöhe. Noch schwieriger gestaltet sich häufig das decrescendo, das bei Verringerung der Lautstärke mit einem Absinken der Tonhöhe einhergeht.

Die Lautstärke wird in Dezibel (dB) angegeben. Die durchschnittliche Sprechlautstärke der Umgangssprache liegt bei 65-80 dB; der Minimalpegel beträgt ca. 50 dB und die maximale Lautstärke ca. 110-120 dB, wobei hier erhebliche Abweichungen möglich sind. Der Lautstärkeumfang, auch Stimmdynamik oder Intensitätsumfang genannt, umfasst ca. 45-55 dB. Die Lautstärkeschwankungen der Sprechstimme betragen durchschnittlich 5-10 dB um den Intensitätsmittelwert.

Innerhalb der vorliegenden Studie wurden mittels der Stimmfeldmessung die maximale und die minimale Intensität sowie die Stimmdynamik erfasst.

#### Phonationsdauer

Die Phonationsdauer, kurz MPT (maximal phonation time) ist definiert durch die Länge der Phonation pro Atemzug; als objektiv messbarer Wert ist sie ein Maß zur Erfassung der Leistungsfähigkeit der Stimme. Die Tonhaldedauer ist abhängig vom Inspirationsvolumen, der Atemform sowie von Tönhöhe und Lautstärke; auch der glottale Widerstand und die dosierte Abgabe des Luftstromes beeinflussen die MPT (Bergauer, 1989). Entscheidend für eine lange Phonationsdauer sind ein vollständiger Glottisschluss, um den Luftverbrauch gering zu halten und eine physiologische Spannung der laryngealen Muskulatur. Die durchschnittliche Phonationsdauer liegt bei Frauen bei ca. 17-22 Sek. und bei Männern bei 25-30 Sek.

#### Stimmeinsatz

Der Stimmeinsatz bezeichnet das Stimmlippenverhalten bzw. die Stimmlippeneinstellung bei Phonationsbeginn. Die grundlegende Einteilung der Stimmeinsätze erfolgt in harte-gepresste, behauchte und physiologische, weiche Stimmeinsätze. Beim physiologischen Stimmeinsatz besteht ein vollständiger glottaler Verschluss der Stimmlippen mit physiologischem Muskeltonus, bevor die Einschwingungsphase beginnt. Beim behauchten Stimmeinsatz kommt kein vollständiger präphonatorischer Verschluss zustande, so dass die Luft bereits vor Phonationsbeginn entweicht. Bei gepressten Stimmeinsätzen wird die fest geschlossene Glottis gesprengt, was mit massiver Muskelanspannung einhergeht. Untersuchungen mittels der Hochgeschwindigkeitsglottographie, wie sie u.a. von Tigges et al. (1996) zu dieser Thematik durchgeführt wurden, konnten zeigen, dass sich bei harten Stimmeinsätzen auch

supraglottische Strukturen annähern und der Glottisschluss länger besteht als beim physiologischen Stimmeinsatz. Mit der Zeit kann dies eine laryngeale Ermüdung zur Folge haben.

In Bezug auf die zyklusbedingten Stimmveränderungen sind in einigen Zyklusphasen brüchige Stimmeinsätze vermehrt zu beobachten. Vor allem für Sängerinnen spielt dieser Aspekt eine entscheidende Rolle (s. Kap. 11.2).

### Stimmabsatz

Der Stimmabsatz beschreibt das Stimmlippenverhalten, bei dem die Stimmlippen am Phonationsende vom schwingenden in einen schwingungslosen Zustand übergehen. Nach Bergauer (1998) sind Stimmabsätze nur bei Vokalen und stimmhaften Konsonanten akustisch wahrnehmbar. Der physiologische Stimmabsatz erfolgt weich und lautlos. Im Gegensatz hierzu wird beim harten Stimmabsatz die Glottis fest geschlossen, der muskuläre Tonus ist erhöht und akustisch kann ein gepresstes Knarren wahrnehmbar sein. Der verhauchte Stimmabsatz ist durch ein Atemgeräusch am Ende der Phonation gekennzeichnet.

### Stimmregister

Für die Einteilung der Stimme in Stimmregister sind physiologische und akustische Komponenten ausschlaggebend. Als Register wird eine Folge gleichartiger Stimmklänge bezeichnet, die an bestimmten Schnittstellen in eine Serie darauf folgender Stimmklänge übergeht. Die Register sind charakterisiert durch Obertöne, das Stimmlippenverhalten sowie die Resonanzgestaltung. Die Schnittstellen werden auch als Registerübergänge bezeichnet, die durch eine Veränderung von Resonanz und Klangfarbe, sowie des Klangtimbres gekennzeichnet sind<sup>9</sup>.

Die Sprechstimme basiert auf dem Brustregister (bei Männern auch Modalregister genannt), das sich physiologisch in einer dreidimensionalen Vollschrwingung der Stimmlippen darstellt; d.h. die gesamten Stimmlippen schwingen und bilden einen kurzen Glottisschluss. Die Stimme ist aufgrund des Obertonreichtums von hoher Tragfähigkeit und Resonanz geprägt. Die Vibration wird im Brustbereich wahrgenommen.

---

<sup>9</sup> Die Registereinteilung ist in der Fachliteratur nicht einheitlich. Die hier vorliegende Einteilung orientiert sich an den Ausführungen von Schneider und Bigenzahn (2007).

Das Mittelregister oder Zwischenregister stellt eine Verbindung bzw. Mischung zwischen Brust- und Kopfreger dar; physiologisch zeigt sich eine Übergangsbewegung der Stimmlippen von der Vollschiwingung der Stimmlippen zur Randkantenbewegung des Kopfreger.

Das Kopfreger der Frau liegt oberhalb des Brustregisters. Es ist dadurch gekennzeichnet, dass nur der Stimmlippenrand in vertikaler Bewegungsrichtung schwingt und dass die Stimmlippen einen erhöhten Tonus haben. Der subglottische Druck versetzt die Ränder der verlängerten Stimmlippen in Schwingung; die Amplitude ist gering. Aufgrund des fehlenden Glottisschlusses besteht ein hoher Luftverbrauch. Die Stimme klingt leicht und hell, ist jedoch obertonarm. Der akustische Eindruck des Kopfreger ist hell und geprägt von Kopfreferenz. „Während in der Bruststimme die Tätigkeit des M. vocalis überwiegt, wird die Spannung der Stimmlippen im Kopfreger hauptsächlich über die Kontraktion des M. cricothyreoideus erzeugt“ (Hammer, 2003, S. 28)<sup>10</sup>.

Oberhalb des Kopfreger kann bei Frauen das Pfeifregister oder Flageolettregister festgestellt werden, das sehr hohe Töne bei Frauenstimmen bezeichnet. Eine Schwingungsbewegung ist hier nicht zu beobachten, da der Glottisschluss dauerhaft besteht und der Klang durch Luftwirbel entsteht.

Wie in Kap. 11.1 erläutert, wird insbesondere anhand der qualitativen Interpretation der Stimmfelder, die in der vorliegenden Studie durchgeführt wurden, ersichtlich, dass die Registerübergänge innerhalb der verschiedenen Zyklusphasen unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Der Wechsel vom Brust- ins Kopfreger und umgekehrt ist dabei ein entscheidendes Kriterium für die Güte der Stimme und lässt Rückschlüsse auf die zyklusbedingten Veränderungen des phonatorischen Systems zu.

---

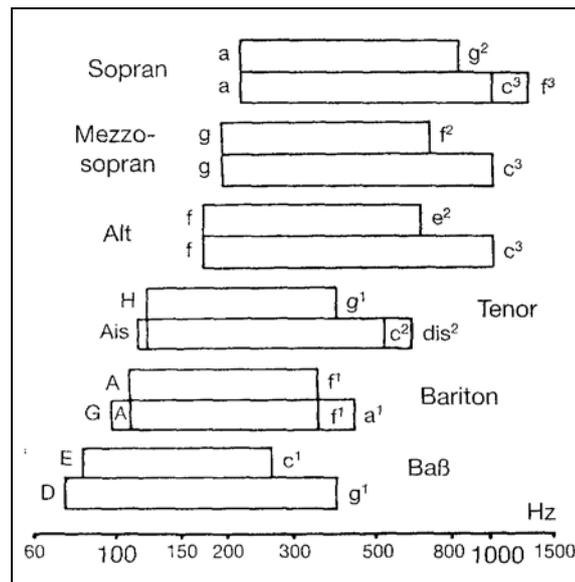
<sup>10</sup> Bei Männern wird die dem weiblichen Kopfreger entsprechende Registerform als Falsettregister bezeichnet, das durch einen weiblichen Klang charakterisiert ist. Die Stimmlippen sind hoch tonisiert, so dass die Randkanten kaum mehr schwingen. Ergänzend sei das Strohbasregister der Männerstimme zu nennen, das auch als „vocal fry“ bezeichnet wird; es liegt unterhalb des Brustregisters und ist geprägt von unregelmäßigen Schwingungen, die akustisch als Knarren wahrgenommen werden.

### 3.5 Singstimme

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Daten von Sängerinnen erfasst, daher wird im Folgenden Bezug auf die Singstimme genommen und diese der Sprechstimme gegenübergestellt.

Die Entstehungsmechanismen (vgl. Kap. 3.4.2) der Sprech- und Singstimme sind identisch: Atmung, Stimmgebung und Artikulation beim Gesang folgen den gleichen physiologischen Prinzipien wie die Sprechstimme. Die akustischen Effekte und der Klangeindruck jedoch unterscheiden sich sehr. Ein wichtiger Unterschied besteht in der Art und Weise der Modulation. Unter Modulation versteht man Variationen der Lautstärke und Tonhöhe. Beide Stimmleistungen sind beim Sprechen weniger ausgeprägt als beim Singen. Der durchschnittliche Stimmumfang beim Sprechen beträgt ca. eine halbe Oktave und beim Singen über zwei Oktaven. Der Rhythmus ist bei der Sprechstimme nicht vorgegeben und sehr individuell, d.h. von Temperament und Stimmung des Sprechers abhängig. Die Singstimme kann hier nicht variieren, da alle Parameter vorgegeben sind. Beim Sprechereignis sind weder eine bestimmte Tonhöhe und Tonlänge noch eine Pausensetzung vorgegeben; lediglich das Einhalten der Indifferenzlage ist anzustreben. Um den Grundton herum finden geringe, gleitende Tonhöhenbewegungen statt. Die Singstimme hingegen orientiert sich an vorgegebenen Parametern wie musikalischen Phrasen, Melodie, Text, Rhythmus und Takt und ist im Gegensatz zur Sprechstimme geprägt von Intervallsprüngen (Frank, 1993). Nach Schneider und Bigenzahn (2007) dominiert beim Sprechen die konsonantenorientierte Artikulation, während sich das Konsonant-Vokal-Verhältnis beim Singen zugunsten der Vokale verschiebt. Das Verhältnis von Einatmung zu Ausatmung unterscheidet sich erheblich. Bei der Sprechatmung beträgt das Verhältnis 1:6 bis 1:7, bei der Singatmung hingegen ist die Expirationsdauer deutlich länger und kann einen Wert von 1:10 bis 1:50 bei ausgebildeten Gesangsstimmen erreichen. Zudem ist für den Gesang die Atemstütze ausschlaggebend. Unter Atemstütze versteht man, dass während der Phonation resp. der Ausatmung, eine Einatmungstendenz der Inspirationsmuskulatur bestehen bleibt, die dem Zusammensinken des Atemapparates entgegenwirkt.

Abhängig von den anatomischen und physiologischen Anlagen variiert die Stimmlage; diesem Umstand liegt die Einteilung weiblicher und männlicher Stimmen in Stimmgattungen zu Grunde. Die Stimmgattungen sowie deren Tonumfänge sind in Abb. 15 dargestellt:



**Abb. 15:** Stimmumfänge von Durchschnittsstimmen (obere Blöcke) und Sängern (untere Blöcke) (aus Böhme, 1997, S. 113, zitiert nach Frank & Sparber, 1970)

Die ausgebildete Gesangsstimme unterscheidet sich von der nicht ausgebildeten im akustischen Ereignis. Ausschlaggebend hierfür sind die Tragfähigkeit und der Obertonreichtum der Stimme. Die Tragfähigkeit bezeichnet die Klangfarbe der Stimme, die sich durch die Resonanz ausbildet und entwickelt. Die bewusste Anbildung des Vibratos ist ebenfalls Merkmal einer ausgebildeten Gesangsstimme; dabei zeigen sich Tonhöenschwankungen bis zu einer Tonstufe um die vorgegebene Tonlage. Dieser akustische Effekt tritt ein, wenn der subglottische Druck und der Tonus der Stimmlippen optimal aufeinander abgestimmt sind. Besonders entscheidend für die Güte der ausgebildeten Gesangsstimme sind unauffällige Registerwechsel. Während die Sprechstimme auf dem Brustregister basiert, werden im Gesang das Brust-, Mittel-, und Kopfreister eingesetzt. Beim Wechsel vom Brust- ins Kopfreister und umgekehrt sind bei der nicht ausgebildeten Stimme „Sprünge“ zu hören. Der Registerwechsel – auch *Passaggio* genannt – findet damit abrupt und stufenförmig statt, während ein ausgebildeter Sänger in der Lage ist, einen weichen Übergang über mehrere Töne als fließendes Kontinuum zu bilden. Jeder Registerwechsel erfordert eine Um- und Neueinstellung der inneren Laryngealmuskulatur. Frank (1993) versteht in diesem Zusammenhang unter dem Begriff *Stimmtechnik* die aufeinander abgestimmte Gesamtkoordination der motorischen, phonatorischen und artikulatorischen Vorgänge beim Singen. Für den fließenden Registerwechsel ist der Einsatz von Stimmtechniken entscheidend.

In Bezug auf die Studie, in der professionelle Sängerinnen untersucht wurden, stellt sich die Frage, ob die Stimm Einschränkungen innerhalb bestimmter Zyklusphasen durch den Einsatz

von Stimmtechniken ausgeglichen werden können. Diesem Aspekt wird in Kap. 11 nachgegangen.

Die Abbildung der Stimmfelder erfolgt als Punktwolke, da diese Form der graphischen Darstellung es u.a. ermöglicht, die Registerwechsel optimal darzustellen.

## **4 Die Entwicklung der Stimme über die Lebensspanne**

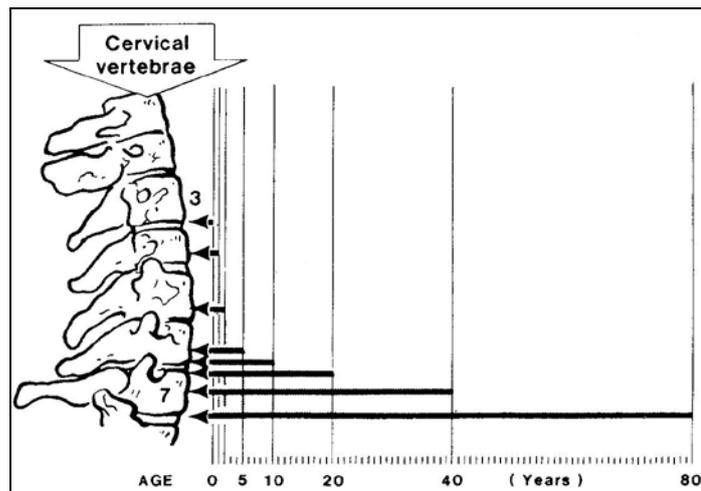
Die Stimme ist im Laufe des Lebens konstant hormonellen Einflüssen unterworfen, die die Stimmentwicklung auslösen und bedingen. Dabei sind auffällige und markante Einschnitte wie die Phase der Mutation zu betrachten, aber auch eher unauffällige Veränderungen, wie sie der weibliche Zyklus hervorruft.

Im Folgenden werden die Entwicklung und die Stadien der Stimme über die Lebensspanne hinweg betrachtet, um die kontinuierliche Einflussnahme der Hormone auf die Stimme darzustellen.

Bis zur Pubertät unterscheidet sich die stimmliche Entwicklung beider Geschlechter nur geringfügig. Mit Einsetzen der Pubertät weichen die Entwicklungsstränge erheblich voneinander ab. In diesem Kapitel wird die männliche Stimmentwicklung zwar ergänzend beleuchtet, jedoch stets im Hinblick auf die Unterschiede zur weiblichen Stimmentwicklung.

### **4.1 Anatomie und Physiologie des kindlichen Kehlkopfs**

Die Lage des Kehlkopfs ist – in Relation zum Schädel gesehen – im Moment der Geburt in der höchsten Position. Unmittelbar nach der Geburt senkt sich der Larynx ab und stabilisiert seine Lage im Hals. Der Schildknorpel berührt das Zungenbein und senkt sich dann in caudaler Richtung ab. Der untere Rand des Ringknorpels ist auf der Höhe zwischen dem dritten und vierten Halswirbel lokalisiert und senkt sich bis zum zwölften Lebensmonat im Durchschnitt so weit ab, dass die untere Grenze des Ringknorpels auf Höhe des vierten Halswirbels liegt. Im Alter von 24 Monaten hat sich der Kehlkopf bereits auf Höhe des fünften Halswirbels abgesenkt und mit fünf Jahren ist der untere Rand des Kehlkopfs bereits auf Höhe des sechsten Halswirbels. Bei Zehn- bis Zwölfjährigen nimmt er schließlich seine Position auf Höhe des siebten Halswirbels ein. An dieser Stelle stabilisiert er sich bis zum Alter von 15 bis 20 Jahren und senkt sich dann mit dem Alter weiter ab. Die Veränderungen der Kehlkopfposition sind Abb. 16 zu entnehmen.

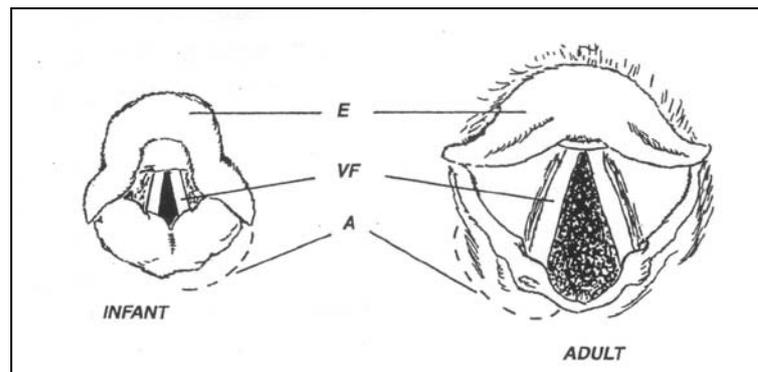


**Abb. 16:** Darstellung der vertikalen Lageveränderung des Larynx über die Lebensspanne (aus Arnold & Aronson, 1990, S. 40)

Das Absinken des Larynx steht in direktem Zusammenhang und ist mit ausschlaggebend für das Absinken der Tonhöhe und der physiologischen Sprechstimmlage.

Die Epiglottis wirkt unmittelbar postnatal massig. Während beim Fötus die Flügel des Schildknorpels noch der Form eines abgerundeten Schilds gleichen, entsteht bis zum Zeitpunkt der Geburt beim weiblichen Neugeborenen ein Winkel von etwa  $110^\circ$  zwischen den beiden Schildknorpelplatten und beim männlichen Neugeborenen von ca.  $120^\circ$ . Mit der Pubertät verändert sich dieser Winkel beim Jungen auf etwa  $90^\circ$ ; die Schildknorpelplatten treten stärker hervor und die Prominentia laryngea, umgangssprachlich als Adamsapfel bezeichnet, tritt hervor. Beim weiblichen Geschlecht kommt es zu keinen bzw. nur sehr geringfügigen Veränderungen.

Das unterschiedliche Größenverhältnis des kindlichen Kehlkopfs im Vergleich zu dem eines Erwachsenen wird in Abb. 17 ersichtlich. Aus der Darstellung geht hervor, dass der kindliche Kehlkopf in seinen Ausmaßen erheblich kleiner ist und die Atemverhältnisse dementsprechend verändert sind. Die geringe Glottisöffnung führt bei Kindern schnell zu Atemnot und das Anschwellen der Schleimhäute zu lebensbedrohlichen Zuständen.



**Abb. 17:** Vergleichende Darstellung der laryngealen Größenverhältnisse des kindlichen und des erwachsenen Kehlkopfs; E: Epiglottis, VF: vocal folds, A: Region der Cc. arytenoidei (aus Keilmann, A., 2004, S. 27)

Die Schwingungsamplitude kindlicher Stimmlippen ist ebenfalls nicht mit der eines anatomisch und physiologisch ausgewachsenen Kehlkopfs vergleichbar. Die Kürze der kindlichen Stimmlippen bedingt zudem eine erhöhte Schwingungsfrequenz. Bei kindlichen Stimmlippen sind darüber hinaus Glottisschlussinsuffizienzen festzustellen, da die zentralnervöse Innervierung bezüglich der Feinabstimmung der Stimmlippen noch im Reifestadium begriffen ist (Beushausen & Haug, 2003).

Das Wachstum der Stimmlippen steht in Relation zum Wachstum des Kehlkopfs. Die Stimmlippenlänge beträgt im Kindesalter ca. 6 bis 8 mm. Es besteht hinsichtlich der Anatomie des kindlichen Kehlkopfs noch kein geschlechtsspezifischer Unterschied. Bis zur Pubertät ist der Kehlkopf bei Mädchen und Jungen bezüglich des Größenverhältnisses identisch; die Stimmlippen nehmen bei beiden Geschlechtern an Länge zu und erreichen ca. 12 bis 15 mm.

Die geschlechtsspezifische Entwicklung beginnt schließlich aufgrund hormoneller Einflüsse zu divergieren. Die Stimmlippenlänge ist hiervon besonders betroffen.

Die Angaben über die Stimmlippenlänge variieren in der Literatur. Diese unterschiedlichen Längenangaben rühren aus unterschiedlichen Messungen bezüglich Ansatz- und Endpunkt der Stimmlippen her. Arnold und Aronson (1990) geben an, dass bei einer erwachsenen Frau eine Stimmlippenlänge von ca. 12,5 bis 17 mm erreicht wird; die durchschnittliche Stimmlippenlänge beim männlichen Geschlecht wird mit ca. 17 bis 23 mm angegeben. Diese Werte beziehen sich auf die gesamte Stimmlippenlänge, d.h. Pars intermembranacea und Pars intercartilaginea zusammen. Das Wachstum der Stimmlippen während der Mutation beträgt beim weiblichen Geschlecht 3 bis 4 mm und beim männlichen 1 cm.

## 4.2 Stimmentwicklung im Säuglingsalter

Im Säuglings- und Kindesalter unterscheidet sich die Stimmentwicklung beider Geschlechter kaum. Dennoch wird an dieser Stelle darauf Bezug genommen, um die allmähliche Veränderung der Stimme, v.a. in Hinblick auf die Absenkung der Sprechstimmlage und die Veränderung des Stimmumfangs darzustellen. Diese Bereiche sind entscheidende Faktoren für die geschlechtsspezifische Entwicklung der Stimme ab der Pubertät. Auch der Zusammenhang von physiologischem und musikalischem Stimmumfang spielt im Rahmen der Studie eine wichtige Rolle und wird daher in seiner Entwicklungsstruktur aufgegriffen.

Die Zeit- und Altersangaben für die folgende Unterteilung der frühen Stimmentwicklung in Phasen sind als Richtwerte zu betrachten.

Die **erste Schreiperiode** erstreckt sich durchschnittlich über die ersten zwei Lebensmonate. Der reflektorische Neugeborenen schrei liegt bei 440 Hz, dem Kammerton  $a^1$  und hat eine durchschnittliche Phonationsdauer von knapp einer Sekunde. In seiner Klangqualität ist er schrill und schneidend. Der Geburtsschrei ist unabhängig von der Sprache und Kultur, mit der ein Kind aufwächst. Es handelt sich um einen Reflex, der physiologisch die Sauerstoffversorgung des Kindes initiiert, die Atemtätigkeit anregt und Sekret von der Glottis entfernt.

Die Schreie von Säuglingen können erheblich von diesem Grundton abweichen und eine Frequenz von bis zu 750 Hz erreichen; diese erhöhte Schwingungsrate gibt aus medizinischer Sicht häufig einen Hinweis auf eine geistige Behinderung. Spiecker-Henke (1997) zitiert eine Studie von Hirschberg und Szende (1985), die anhand von Sonogrammen charakteristische Veränderungen der Schreistimme bei verschiedenen Krankheitsbildern festgestellt haben.

Der Tonumfang beträgt in diesem ersten Stadium ca. zwei bis drei Halbtöne um den Kammerton  $a^1$  als Grundton mit Tendenz nach oben zu  $h^1$  und  $c^1$ . Die Schreidauer beträgt längstens 2 Sek. Auch inspiratorische Lautbildungen sind möglich, die eine Tonhöhe von  $e^2/f^2$  erreichen können. Nach Spital (2004) können diese Schreie bereits zu Heiserkeit führen. Die Tonhöhe bei weiblichen Säuglingen ist insgesamt etwas tiefer als bei männlichen.

Es folgt die **zweite Schreiperiode**, die mit ca. acht Wochen einsetzt. Auffällig sind die Tonusveränderungen der Stimmlippen des Säuglings. Dies führt zu einer Differenzierung in harte und weiche Stimmeinsätze. Psychophysiologische Aspekte wirken sich auf die Qualität und die Intensität der Schreie eines Neugeborenen aus. So bezeichnet Spital (2004) Schreie mit harten Stimmeinsätzen als Unlustschreie, die bei Zunahme des Tonus zu kurzen Glottiskrämpfen oder Heiserkeit führen können. Zu diesen zählen Schreie, die durch Schmerz

oder durch Hunger verursacht werden. Schmerzschreie sind gekennzeichnet durch hohe Frequenzen und fallende Intonation. Die Stimmlippen sind hyperten und es kommt zu einem kurzzeitigen glottalen Verschluss, bei dem neben den Stimmlippen auch die Taschenfalten adduzieren. Schreie, die durch Hunger ausgelöst werden, sind geprägt von einer steigenden und fallenden Tonmelodie (Arnold & Aronson, 1990).

Des Weiteren produzieren die Säuglinge Lustschreie oder Freudenschreie, die durch weiche Stimmeinsätze gekennzeichnet und insgesamt etwas leiser sind. Sie werden gebildet, wenn sich der Säugling in einem entspannten Zustand befindet. Diese Form des Schreiens wird durch einen weichen Verschluss der Stimmlippen ohne Beteiligung der Taschenfalten gebildet.

Studien haben gezeigt, dass in dieser Phase die Tonhöhe von Schreien – ausgelöst durch Schmerz – durchschnittlich einen Wert von 530 Hz mit einer Dauer von durchschnittlich 1,3 Sek. erreicht. Hungerschreie hingegen weisen eine Frequenz von 500 Hz und eine Dauer von 1,2 Sek. auf, während Freudenschreie eine Tonhöhe von 440 Hz, dem Kammerton a<sup>1</sup> entsprechend, mit einer Tonhaldauer von durchschnittlich 1,1 Sek erreichen (Wasz-Höckert et al., 1968). Auch Veränderungen von Tonhöhe und Lautstärke treten in dieser Phase bereits vermehrt auf.

In der **dritten Schreiperiode** mit ca. drei bis vier Monaten versuchen Säuglinge bereits auf die Umwelt durch differenzierte Schreie, die sich durch die Art der Stimmeinsätze, Dauer und Höhe unterscheiden, Einfluss zu nehmen. Der Säugling initiiert in dieser Phase Strategien, um seine Umwelt durch unterschiedliche Schreiquantitäten zu beeinflussen.

Auf diese dritte Schreiperiode folgt die **Lallperiode**, die den Zeitraum bis zum ca. zehnten Lebensmonat umfasst, in der die Säuglinge die unterschiedlichen Klangqualitäten variieren und einsetzen. Hinzu kommt das „Spielen mit der Stimme“, den Artikulatoren, dem Atemapparat. Die taktilen Reize, die der Säugling beim Spielen mit den Artikulationsorganen hervorruft, regen ihn an, neue Artikulationsmodi und Artikulationszonen zu erfahren. Unterschiedliche Klangqualitäten werden produziert; eine weitere Ausdifferenzierung der Lautbildung und der Stimmeinsätze charakterisiert diese Phase. Die Säuglinge sind in der Lage unterschiedliche Tonuseinstellungen der Stimmlippen vorzunehmen. So werden positive psychophysiologische Zustände und Empfindungen mit einem lachenden Gesichtsausdruck und entsprechender Vokalisation ausgedrückt, wie entspanntem Lallen und „Spielen“ mit den Lauten an variierenden Artikulationszonen. Lautketten aus gleichen oder wechselnden Lauten

werden verknüpft und Silbenverdopplungen sind zu beobachten. Auch inspiratorische Laute, die in dieser Phase bewusst gebildet werden, sind vermehrt festzustellen.

Ein Einfluss stimmlicher Modelle auf die Stimme und die Stimmbildung des Kindes lässt sich bereits am Ende des ersten Lebensjahres feststellen. Diese Phase ist geprägt von Lallmonologen und den ersten Wörtern. Die **Nachahmungsphase** zeichnet sich dadurch aus, dass die Kinder die Stimmqualitäten von engen Bezugspersonen übernehmen. So belegen Studien, dass Kinder, deren Mütter einen heiseren Stimmklang haben, ebenfalls Laute mit erhöhter Tonusspannung übernehmen. Hingegen zeigt sich bei behauchter Stimmgebung des stimmlichen Vorbilds eine Hypotonie der Stimmlippen. Ausschlaggebend hierfür ist ein enger Kontakt zur Bezugsperson. Inwieweit hier auch eine Wechselwirkung eine Rolle spielt bzw. der Vorgang der internen Simulation ausschlaggebend ist, ist noch nicht geklärt. Der Vorgang der internen Simulation beschreibt die Übernahme der Tonusspannung der Stimmlippen des Gesprächspartners, d.h. des stimmlichen Modells. Auf diese Weise ist die Übernahme des Stimmlippentonus beim Säugling möglicherweise zu erklären (Eckert & Laver, 1994).

Wie erläutert beginnt in besonderem Maße ab der achten Lebenswoche die Bedeutung der Stimme als Kommunikationsmittel. Mit der Ausatmung entstehen zufällige Laute und Töne, die der Säugling zunehmend wahrnimmt und wiederholt bildet. Im Verlauf der Stimmentwicklung erweitert er das Repertoire stimmlicher Äußerungen, indem er Vokalisationen wie gurren, lallen, quietschen und brummen einsetzt. Er erlangt damit Kontrolle über die Artikulatoren und erarbeitet sich verschiedene Artikulationszonen. Auch Tonhöhenvariationen und Veränderungen der Stimmdynamik können im Verlauf flexibler eingesetzt und die Tonhaldedauer variiert werden. Der Säugling versucht sich in gehaltenen Tönen, wodurch wiederum der Respirationstrakt aktiviert wird. Bedürfnisse, Intentionen und Empfindungen werden in dieser Phase vom Säugling auch durch stimmliche Variationen ausgedrückt. Der kommunikative Aspekt der Stimme tritt zunehmend in den Vordergrund und ist unabdingbar mit der Sprachentwicklung und der Kommunikationsentwicklung verknüpft. Wendlandt (1992) erläutert den Prozess der Intentionalität der Schreie wie folgt: Der Säugling lernt, „dass sein Schreien bestimmte Reaktionen in der Umwelt auslöst [...]. So entwickeln Mutter und Säugling ihre erste „stimmliche Kommunikation“, mit der sich ihre zwischenmenschliche Beziehung weiterentwickelt – auch als sozialeemotionale Entwicklung [...] bezeichnet“ (S. 11). Die dialogisch-wechselseitige Mutter-Kind-Interaktion spielt hier eine zentrale Rolle. In den ersten beiden Lebensjahren sind sog. Face-to-Face-Interaktionen die entscheidende

Interaktionsform, innerhalb derer das Kind stimmliche Parameter von seinen Bezugspersonen übernimmt. Das Kind nimmt den Stimmklang und dessen emotionale Prägung wahr, bevor die Bedeutung der Worte erschlossen wird. Die Nachahmung der stimmlichen und v.a. der modulatorischen Charakteristika der Bezugspersonen stehen im Vordergrund. So schreibt Spiecker-Henke (1997) „durch die elementaren Ausdrucks-laute und Gebärden für bestimmte Gefühlszustände begründet [das Kind] nicht nur ein Kommunikationssystem mit seiner Bezugsperson, sondern entwickelt und stabilisiert über das emotionale Ausdrucksverhalten eine soziale Beziehung“ (S. 15). Bezugspersonen reagieren mit einem veränderten Stimmverhalten auf die Lautäußerungen von Säuglingen. So kommunizieren Erwachsene in einem entsprechenden Register mit Säuglingen und Kleinkindern; Newport (1977) nannte dieses Register „motherese“, wobei der etwas weiter gefasste Begriff „baby talk“ gebräuchlicher ist (Ferguson, 1977). Snow (1977) hat die Merkmale dieses Registers zusammengefasst. So sind neben Merkmalen vereinfachter Komplexität und erhöhter Redundanz auch prosodische Parameter feststellbar. Hierzu zählen neben der langsameren Sprechgeschwindigkeit auch die höhere Sprechstimmlage und Veränderungen der Intonation (Kegel, 1987; Szagun, 1991).

### 4.3 Stimmentwicklung im Kleinkind- und Grundschulalter

Veränderungen innerhalb der stimmlichen Entwicklung zeigen sich in dieser Phase – vor Beginn der Pubertät – insbesondere im Bereich der mittleren Sprechstimmlage und der Stimmumfang. Die stimmliche Entwicklung verläuft bei beiden Geschlechtern annähernd identisch, was aus Abb. 18 hervorgeht, die einen Überblick über die Tonumfänge und deren Entwicklung bis zur Pubertät widerspiegelt.

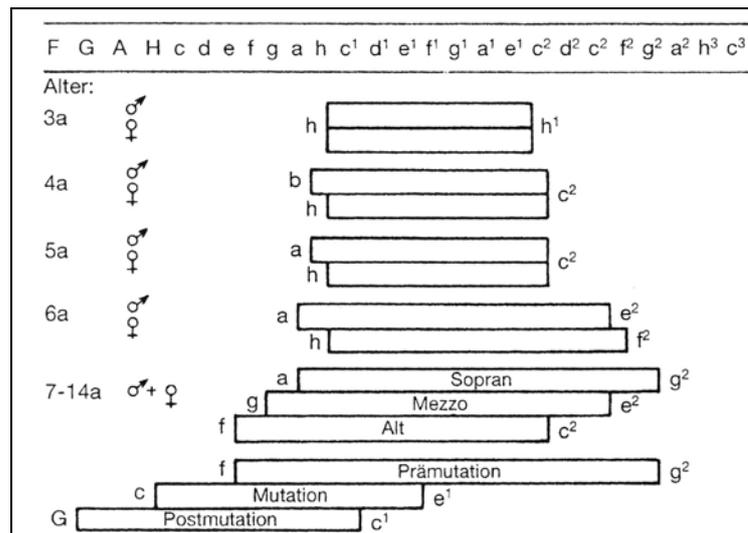


Abb. 18: Überblick über die Entwicklung der Stimmumfangs ab dem Alter von 3 Jahren bis zur Pubertät (aus Böhme, 1997, S. 112; zitiert nach Frank & Tesarek, 1980)

### 4.3.1 Entwicklung der Sprechstimme

Auffällig ist bereits im Kleinkindalter die Zunahme der Tragfähigkeit und Resonanz der Stimme. Im Alter von **ein bis zwei Jahren** beträgt der Tonumfang ca. fünf Halbtöne. Die Tonhöhe senkt sich ab diesem Alter ab. Im Alter von ca. 2; 6 J. liegt die mittlere Sprechstimmlage bei c<sup>1</sup>/d<sup>1</sup> und bleibt bis zum ca. 8. Lebensjahr annähernd konstant auf dieser Höhe. Bei Mädchen besteht insgesamt in den ersten sechs Lebensjahren eine etwas niedrigere Grundtonfrequenz als bei Jungen.

Im **Kindergartenalter** erfolgt die Erweiterung des Stimmumfangs in Halbtonschritten, die sich allmählich in die Höhe und in die Tiefe ausdehnen. Die Position des Kehlkopfs entspricht der Höhe des sechsten Halswirbels. Der Tonhöhenumfang ist bei Dreijährigen zwischen h-h<sup>1</sup>. Im Alter von vier bis fünf Jahren beträgt der Stimmumfang bei Jungen b-c<sup>2</sup> und bei Mädchen h-c<sup>2</sup> (Brohammer & Kämpfer, 2004).

Im **Grundschulalter** zeigen sich noch deutlichere Veränderungen im Bereich des Stimmumfangs. Die Tonhaltedauer variiert sehr; Spital (2004) gibt bei Sechsjährigen eine Spanne zwischen 5 und 14 Sek. an, wobei 10 Sek. meist die untere Grenze sind. Der Dynamikunterschied liegt bei etwa 5 bis 12 dB. Mit sechs Jahren haben Jungen einen durchschnittlichen Stimmumfang von a-e<sup>2</sup> und Mädchen von h-f<sup>2</sup>. Die durchschnittliche Höhe der Sprechstimmlage sowie der Stimmumfang bei Kindern ohne stimmliche oder gesangliche Ausbildung variiert noch kaum zwischen den Geschlechtern.

Im Alter von sieben Jahren kann eine durchschnittliche Indifferenzlage von 286,5 Hz und im Alter von 8 Jahren bereits ein Absinken auf 275,5 Hz beobachtet werden (Arnold & Aronson, 1990). Zudem erweitert sich der Stimmumfang auf ca. 1,5-2 Oktaven.

Ab dem 7. Lebensjahr bis zum Eintritt in die Pubertät werden beide Geschlechter in die Stimmklassen Sopran, Mezzosopran und Alt unterteilt. Sopranstimmen haben einen Stimmumfang von a-g<sup>2</sup>, Mezzosopranstimmen von g-e<sup>2</sup> und Altstimmen von f-c<sup>2</sup> (s. Abb. 18). Ab dem 9. Lebensjahr beginnt die mittlere Sprechstimmlage allmählich abzusinken auf eine Tonhöhe von a/h.

### 4.3.2 Musikalisch-gesangliche Entwicklung der Stimme

Ein ergänzender Aspekt ist die musikalische und gesangliche Entwicklung der Kinderstimme, die nach Schulze (2002) in folgende Abschnitte gegliedert ist:

Im dritten Lebensjahr werden Melodien bewusst wahrgenommen und können teilweise reproduziert werden. Im vierten Lebensjahr können längere Melodien gehalten werden; die Tonvorstellung ist noch eingeschränkt.

Die Sicherheit beim Nachsingen nimmt im fünften Lebensjahr zu; aufgrund des größeren Stimmumfangs können Lieder im Intervall von einer Oktave gesungen werden.

Im sechsten Lebensjahr gelingt das Nachsingen von Melodien noch exakter, jedoch bestehen beim Eintritt in die Schule bei vielen Kindern noch Unsicherheiten beim Singen von Intervallen. Kinder, die trotz unauffälligen laryngealen Befunds keine Singstimme nach musikalischen Kriterien produzieren können, wurden lange Zeit als „Brummer“ bezeichnet; dieser Begriff war in der Literatur zu kindlichen Dysphonien gängig. Habermann (1986) differenziert in „Schüler, die zur Zeit des Schulbeginns keine Singfähigkeit besitzen, in Falschsinger, Sprechsinger und Tiefsinger“ (S. 145). Sog. Falschsinger können eine vorgegebene Melodie nicht nachsingen, während Sprechsinger („Brummer“) eine Melodie meist auf gleichbleibender Tonhöhe ohne Tonhöhenveränderungen reproduzieren; Tonlagenwechsel finden nicht statt. Betroffen sind meist Kinder, die bislang wenig musikalische Erfahrungen haben und daher Töne, Intervalle und Melodieverläufe aufgrund der auditiven Unsicherheit nicht korrekt wahrnehmen können. Tiefsinger intonieren einen Melodieverlauf korrekt, jedoch zu tief. Dieser Effekt verstärkt sich meist beim Chorsingen, da die auditive Eigenwahrnehmung und -kontrolle fehlen. Spital (2004) ergänzt die Unterteilung in Tief- und Sprechsänger im Sinne der schulischen Bewertung der Singfähigkeit durch die Alleinsänger, die Melodien ohne Unterstützung korrekt wiedergeben können und die

Mitsänger, die in der Lage sind, Melodien mit Unterstützung korrekt zu imitieren. In der dritten Klasse ist die Hörbildung so weit fortgeschritten, dass auch mehrstimmiger Gesang möglich ist. Mit dem Ende der Grundschulzeit wird die Fähigkeit zu ausdrucksvollem Singen verstärkt.

Vor dem Eintritt in die Mutationsphase ist der Stimmklang häufig besonders klar, tragfähig und rein<sup>11</sup>. Der Tonhöhenumfang ist in dieser Phase besonders groß. Spital (2004) bestätigt eine Beschleunigung der stimmlichen Entwicklung, die sie in besonderer Weise in einer schnelleren Ausweitung des Stimmumfangs sieht. Nach Brohammer und Kämpfer (2004) ist jedoch aus stimmhygienischer Sicht zur Vermeidung von kindlichen Stimmstörungen von entscheidender Bedeutung, dass ca. zwei bis vier Halbtöne unterhalb der oberen Stimmgrenze gesanglich nicht überschritten werden. Auch zu lautes Singen mit der Tendenz zum Pressen ist aus gesangspädagogischer Sicht zu vermeiden. Dementsprechend wurden für die Grundschulen Empfehlungen für das Repertoire an Kinderliedern abgeleitet.

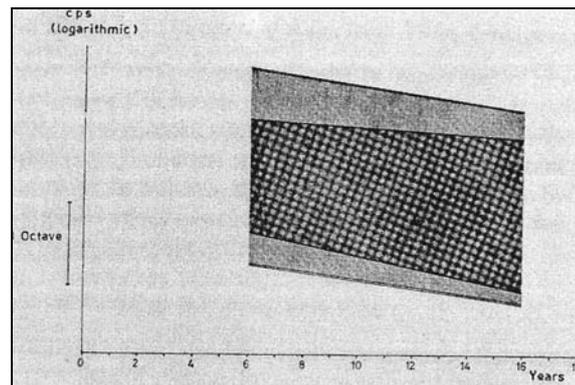
### **4.3.3 Physikalischer und musikalischer Stimmumfang**

Ein entscheidender Prozess der Stimmentwicklung für beide Geschlechter betrifft das Verhältnis der physiologischen Tonhöhendifferenz zur musikalischen Tonhöhendifferenz. Da in der Studie auf einige Aspekte des musikalischen und physiologischen Tonumfangs Bezug genommen wird, erfolgt an dieser Stelle eine kurze Erläuterung.

Unter der physiologischen Tonhöhendifferenz wird jene Differenz verstanden, die zwischen dem Ton mit der niedrigsten Frequenz des Brustregisters bis zum höchsten Ton des Kopfreisters oder Falsettregisters produziert werden kann. Die musikalische Tonhöhendifferenz bezeichnet das Frequenzspektrum zwischen dem höchsten und dem niedrigsten wohlklingenden und musikalisch akzeptablen Ton. Oordt und Drost (1963) untersuchten die Entwicklung der physiologischen und musikalischen Tonhöhendifferenz bei Mädchen und Jungen zwischen sechs und 16 Jahren. Das Ergebnis dieser Studie ist Abb. 19 zu entnehmen. Daraus geht hervor, dass der physiologische Stimmumfang konstant bleibt, während der musikalische Stimmumfang zunimmt.

---

<sup>11</sup> Knabenchöre nutzen das Grundschulalter, um die Stimme in besonderer Weise bereits auszubilden, da die Stimm- und Gehörbildung in dieser Phase besonders effektiv sind. Meist ist ein Eintritt in einen Knabenchor nach dieser entscheidenden Phase der Stimm- und Gehörbildung nicht mehr möglich.



**Abb. 19:** Darstellung der Entwicklung des physiologischen und musikalischen Stimmumfangs (aus Arnold & Aronson, 1990, S. 43; zitiert nach van Oordt, H.W.A. & Drost, H.A., 1963)

#### 4.4 Stimmentwicklung im Jugendalter

Die eigentliche geschlechtsspezifische Stimmentwicklung findet in der Phase der Pubertät statt, jenem Übergang von der Kindheit zum Erwachsensein, der mit physiologischen und emotionalen Veränderungen einhergeht. Auch die Stimmentwicklung erfährt in dieser Phase in Form der Mutation einen markanten Einschnitt. Untersuchungen stellen in den letzten Jahren eine zeitliche Vorverlagerung der Mutation fest, was v.a. auf die allgemein frühere körperliche Entwicklung und sexuelle Reifung der Jugendlichen zurückzuführen ist.

Ätiologisch bedingen hormonelle Einflüsse die geschlechtliche Reifung und die körperliche Entwicklung. Die Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse (s. Kap. 5.1.2) setzt die körperlichen Veränderungen in Gang und reguliert sie. Der Larynx als sekundäres Geschlechtsmerkmal unterliegt ebenfalls diesen endokrinologischen Veränderungen. Die phonatorischen und respiratorischen Gegebenheiten verändern sich darüber hinaus erheblich. Beim weiblichen Geschlecht nimmt die Produktion und Ausschüttung einer geringen Menge androgener Hormone in der Nebennierenrinde zu; ausschlaggebend für den Reifeprozess ist in besonderer Weise die beginnende Östrogensynthese in den Ovarien. Beim männlichen Geschlecht ist die Produktion männlicher Hormone insbesondere des Testosterons in den Keimdrüsen unter dem Einfluss des gonadotropen Hypophysenhormons ausschlaggebend. „In a female, estrogens and progesterone will produce a woman’s voice, and in a male, testosterone will produce a man’s voice” (Abitbol et al., 1999, S. 434).

Die Mutation der männlichen Stimme vollzieht sich in drei Phasen. Im Folgenden wird die Mutation der männlichen Stimme erläutert und im Anschluss der weiblichen Mutation gegenübergestellt. Die Altersangaben der Stadien sind als Richtwerte zu verstehen und dienen lediglich als Anhaltspunkt. Individuell können die Altersangaben erheblich abweichen.

#### **4.4.1 Mutation der männlichen Stimme**

##### 4.4.1.1 Organische Veränderungen während der Mutation

Bei der männlichen Stimme sind die Stimmveränderungen sehr viel deutlicher und offensichtlicher als bei der weiblichen. Die Stimmveränderungen werden durch die Produktion der Androgene in den Keimdrüsen ausgelöst.

Anatomisch zeigen sich folgende Veränderungen des Kehlkopfs: der männliche Kehlkopf nimmt erheblich an Größe zu. Die beiden Flügel des Schildknorpels stehen beim kindlichen Kehlkopf in einem Winkel von 120°; nach der Mutation beträgt dieser 90° Winkel. Das zusätzliche Höhenwachstum führt zur Ausbildung der Prominentia laryngea, ugs. Adamsapfel. Die auffälligste und stärkste Veränderung erfolgt nach anterior-posterior. Hinzu kommt ein ausgeprägtes Längenwachstum der Stimmlippen; die Muskelmasse der internen und externen Larynxmuskulatur nimmt zu. Auch das Verhältnis von Knochenanteil zu Schleimhautanteil verändert sich. Die mukösen und muskulären Schichten der Stimmlippen nehmen an Dichte zu; die Epiglottis wächst und flacht ab. Hinzu kommt, dass auch das Thoraxwachstum bei Männern stärker zunimmt, was eine erhöhte Vitalkapazität bedingt.

##### 4.4.1.2 Mutationsphasen der männlichen Stimme

###### Prämutation

In das Stadium der sog. Prämutation treten die Jungen im Durchschnitt im Alter von neun bis elf Jahren ein. Im Zeitraum von sechs bis zwölf Monaten kommt es zu einem Absinken der oberen Grenze des Tonumfangs, die untere Grenze bleibt gleich. Charakteristisch für diese Phase ist der heisere, raue Stimmklang. Im Alter von ca. zwölf Jahren erweitert sich der Tonumfang auf ca. 14 - 19 Halbtöne.

###### Mutation

Die eigentliche Mutation findet zwischen dem 12. und 15. Lebensjahr statt. Bei den Jungen erfolgt aufgrund der erhöhten Androgenproduktion (v.a. des Testosterons) ein stärkeres

Wachstum des Kehlkopfs in einem relativ kurzen Zeitraum von ca. zwei bis drei Monaten. Die Schildknorpelplatten treten sichtbar hervor. Die Verlängerung der Stimmlippen beträgt durchschnittlich 10 mm. Die Zunahme der Stimmlippenlänge ist ein ausschlaggebender Faktor für das Absinken der Stimme um ca. 1 Oktave. Diese organischen Veränderungen erfordern eine veränderte zentrale Steuerung. Diese Umstellung der zentralen Steuerung führt häufig zum Kippen der Stimme zwischen Brust- und Falsettregister, was als Diplophonie bezeichnet wird und zum umgangssprachlichen Ausdruck „Stimmbruch“ geführt hat. Die Diplophonie ist auf die noch nicht differenzierte, neuromuskuläre Koordination in Bezug auf die veränderten Größenverhältnisse im laryngealen Bereich zurückzuführen. Es kommt häufig zu einer Rötung der Stimmlippen. Die Intonation ist ungenau und unsicher.

Häufig tritt als ein weiteres Charakteristikum der Mutation das sog. Mutationsdreieck auf, das durch eine Transversusschwäche, d.h. eine Hypotonie der Mm. transversi entsteht. Es handelt sich dabei um einen unvollständigen Glottisschluss im hinteren Drittel der Stimmlippen. Typisch in dieser Phase ist ein rauher, heiserer, oft belegter oder auch behauchter Stimmklang (Wirth, 1995).

#### Postmutationsphase

Es folgt die Postmutationsphase, in der die Stimme ihre endgültige Ausprägung erhält. Diese Phase erstreckt sich über einen Zeitraum ca. ein bis drei Jahren und ist mit ca. 16 bis 18 Jahren abgeschlossen. Charakteristisch für diese Phase ist die Erweiterung des Stimmumfangs nach unten. Die Indifferenzlage liegt bei ca. 100-130 Hz (G-c) bei einer unauffälligen körperlichen Entwicklung.

Für den Bereich der Gesangsausbildung spielt diese Phase der Stimmentwicklung eine grundlegende Rolle. Einhergehend mit der Postmutation etabliert sich die Stimmlage, die in Bass, Bariton und Tenor unterteilt wird. In seltenen Fällen kann die Stimme innerhalb des ersten Jahres nach Beginn der Gesangsausbildung nach einer anfänglichen tieferen Indifferenzlage wieder etwas ansteigen. Die Tonussteigerung und die zunehmend differenzierte Stimmlippenbeweglichkeit, wie sie innerhalb des Gesangsunterrichts gefördert und trainiert werden, sind ein möglicher Grund für den Wechsel der Stimmlage. Diese Stimmveränderungen werden vorwiegend von professionellen Sängern wahrgenommen.

#### 4.4.2 Mutation der weiblichen Stimme

Die Mutation der Mädchenstimme wird im Gegensatz zur männlichen Mutation nicht in Phasen gegliedert, da die stimmlichen Veränderungen wesentlich unauffälliger verlaufen und somit eine charakteristische Phaseneinteilung nicht möglich ist.

Die physiologischen Veränderungen werden durch die Hypothalamus-Hypophysen-Ovar-Achse gelenkt. Mit Einsetzen der Pubertät beginnt die zunächst sporadische Ausschüttung des Gonadotropin-Releasinghormons GnRH aus dem Hypothalamus. GnRH spielt eine entscheidende Rolle im Menstruationszyklus (s. Kap. 5). Die Sensibilität der Hypophyse für GnRH wächst, was zu einer steten Produktion und Sekretion der Gonadotropine führt. Unter Gonadotropinen werden Hormone zusammengefasst, deren Wirkung auf die Gonaden, die Keimdrüsen, gerichtet ist. Die anfangs noch eingeschränkte Ausschüttung der Gonadotropine führt zur Reifung der Ovarien und damit zur Östrogenproduktion. Die Mutation erfolgt daher zeitnah mit der Menarche, der ersten Menstruation.

Bei Mädchen beginnt die Mutation ca. ein bis zwei Jahre früher, d.h. im Alter von elf bis zwölf Jahren und dauert nur ca. ein bis drei Monate. Im Alter von zwölf Jahren umfasst der Tonumfang durchschnittlich 16 bis 22 Halbtöne. Bei den Mädchen zeichnet sich aufgrund der früheren sexuellen Reife und körperlichen Entwicklung in den letzten Jahren auch eine Vorverlagerung der Mutation ab. Die anatomische Veränderung des weiblichen Larynx ist wesentlich geringer als beim männlichen Geschlecht. Der Winkel der Schildknorpelplatten verändert sich kaum; das Kehlkopfwachstum erstreckt sich vorwiegend nach cranial. Die Stimmlippenmuskulatur nimmt etwas an Dichte zu. Die schuppige Stimmlippenmukosa verändert ihre Struktur, indem sie sich in drei Schichten unterteilt. Das im subglottischen und supraglottischen Bereich lokalisierte drüsenhaltige Gewebe der Schleimhaut reagiert zunehmend auf den Einfluss der Steroidhormone. Dieser Faktor spielt in Hinblick auf die zyklusbedingten Stimmveränderungen eine entscheidende Rolle und wird in Kap. 7 eingehend beleuchtet.

Bei den Mädchen sinken mittlere Sprechstimmlage und untere Stimmgrenze um ca. eine Terz ab; das Längenwachstum der Stimmlippen nimmt um drei bis vier mm zu. Bei einer unauffälligen körperlichen Entwicklung ist die Mutation spätestens im Alter von 15 Jahren abgeschlossen. Auf pathologische Veränderungen während der Mutation wird in Kap. 6.1 eingegangen.

Festzuhalten ist, dass sich die Mutation der Gesangsstimme über einen längeren Zeitraum als die der Sprechstimme erstreckt und sich damit erst später die Stabilität der Singstimme einstellt. Die Einordnung der Stimme in eine Stimmgattung sollte demzufolge erst nach abgeschlossener Mutation der Singstimme erfolgen, um funktionale Fehleinstellungen und Dysphonien zu vermeiden.

## 4.5 Die Stimme im Erwachsenenalter

### 4.5.1 Veränderungen der Erwachsenenstimme

Im frühen Erwachsenenstadium bis etwa zum Alter von 25 Jahren kann die Stimme noch geringen Veränderungen unterworfen sein. In dieser Phase ist die Stimme besonders leistungs- und tragfähig.

Die musikalische Einteilung der Stimmen in Stimmgattungen findet auch für Sprechstimmen Anwendung (s. Abb. 15). Die Singstimme wurde bereits in Kap. 3.5 behandelt.

Frauenstimmen werden in die Stimmlagen Sopran, Mezzosopran und Alt eingeteilt. Die mittlere Sprechstimmlage rangiert zwischen  $f-c^1$  (175 Hz - 262 Hz); bei Sopranstimmen liegt sie im Bereich von ca.  $h-c^1$ , bei Mezzosopranistinnen zwischen  $g-a$  und Altistinnen rangieren bei  $f-gis$ .

Die Indifferenzlagen der Männerstimmen festigen sich im Bereich von G bis c (98 Hz - 131 Hz); sie werden in die Stimmfächer Bass, Bariton und Tenor eingeteilt. Bassstimmen haben ihre mittlere Sprechstimmlage bei G-A, Baritone bei B-c und Tenorstimmen haben eine mittlere Sprechstimmlage um c. Einen Überblick über die mittlere Sprechstimmlage gibt Tab. 3. Da innerhalb der vorliegenden Studie die mittlere Sprechstimmlage erfasst wurde, wird in den Kap. 9, 10 und 11 auf diese Größen Bezug genommen

Stimmgattung Weiblich	Mittlere Sprechstimmlage	Stimmgattung Männlich	Mittlere Sprechstimmlage
Sopran	$h-c^1$	Tenor	A-c
Mezzosopran	$g-a$	Bariton	B-c
Alt	$f-gis$	Bass	G-A

Tab. 3: Darstellung der Stimmgattung und der durchschnittlichen Sprechstimmlage

### **4.5.2 Zyklusbedingte Stimmveränderungen**

Die weibliche Stimme ist über die gesamte Lebensspanne hinweg konstant hormonellen Einflüssen ausgesetzt, die zu temporären oder dauerhaften Veränderungen führen. Diese Aspekte werden ausführlich in den Kap. 7, 10 und 11 behandelt.

### **4.5.3 Stimmveränderungen in der Schwangerschaft**

Zu Stimmveränderungen während der Schwangerschaft gibt es bislang nur wenige Studien. Hormonelle Einflüsse bedingen Veränderungen des Wasserhaushalts und der Durchblutung. Die Larynxmukosa reagiert sensibel auf den veränderten Hormonstatus; häufig ist ein Absinken der Indifferenzlage festzustellen und das Stimmtimbre ändert sich. Die Stimme ist meist voller und tragfähiger, im Klang weicher und wärmer. Auch der Tonumfang kann erheblich zunehmen. Diese Veränderungen, insbesondere das Absinken der mittleren Sprechstimmlage, werden von Berufssprecherinnen und vor allem von Sängerinnen wahrgenommen. Nach der Schwangerschaft stellt sich die ursprüngliche Stimmlage wieder ein. Hiervon abzugrenzen sind die pathologischen Stimmstörungen, die während der Schwangerschaft auftreten können und in Kap. 6.2 besprochen werden.

### **4.5.4 Stimmveränderungen im Klimakterium**

Endokrinologische Veränderungen im Sinne einer allmählichen Einstellung der Ovarialfunktion und der fortlaufenden Produktion geringer Mengen androgener Hormone durch die Nebennierenrinde bedingen die Stimmveränderungen während des Klimakteriums.

Das Verhältnis von Schleimhautanteil zu Knochenanteil verändert sich und führt zur „Virilisierung“ der Stimme. Die Stimmlippen sind häufig etwas verdickt und auch die Larynxmukosa wird zäher. Die Sprechstimmlage sinkt in Folge bei einem Großteil der Frauen ab. Die Abnahme des Stimmumfangs, insbesondere der hohen Frequenzen ist eine weitere Folge. Der Stimmklang ist oft rauer, weniger tragfähig und resonanzärmer (vgl. Kap. 6.3, Stimmstörungen während des Klimakteriums).

## 4.6 Altersstimme

Im Laufe des Lebens verändert sich die Stimme zunehmend aufgrund physiologischer, morphologischer, muskulärer sowie zentralnervöser und nicht zuletzt hormoneller Umstellungen. Im Alter von ca. 65 Jahren sinkt der Gonadotropinspiegel langsam ab. Bei den Frauen setzt der Östrogenmangel Prozesse in Gang, die unter anderem zum Altern der Stimme führen. Der Alterungsprozess der Stimme hängt entscheidend vom körperlichen Allgemeinzustand und der Gesundheit der Person ab. Bei der Beurteilung einer Stimme ist daher das biologische Alter, d.h. die Vitalität einer Person ausschlaggebender als das kalendarische Alter.

Die zunehmende Verknöcherung und Verkalkung der laryngealen Knorpel sowie der Verlust der Elastizität der Bindegewebe führen zu einer eingeschränkten Beweglichkeit des Kehlkopfs; die Geschwindigkeit der Abläufe der internen und externen Larynxmuskulatur reduziert sich zunehmend. Die Muskelmasse der Stimmlippen und auch der Tonus der inneren und äußeren Larynxmuskulatur nehmen ab; vor allem der reduzierte Tonus der externen laryngealen Muskulatur führt zum Absinken des Larynx bezogen auf seine Position im Hals (s. Abb. 16). Das laryngeale System ermüdet allmählich, was auch zu Veränderungen des Stimmklangs führt. Hinzu kommt, dass die laryngealen Strukturen durch die Verminderung der Sekretbildung aufgrund der Rückbildung der Taschenfaltendrüsen einen Teil der Schutzfunktion verlieren. Weibliche Stimmen werden im Alter häufig tiefer. Als Grund hierfür gibt Wirth (1995) eine vermehrte Blutfüllung der Stimmlippen und eine zunehmende Dichte der Stimmlippenmukosa an<sup>12</sup>. Zudem kann es zur Bildung von Ödemen in den oberen Schichten der Larynxschleimhaut kommen. Die Tonusreduktion führt in vielen Fällen zu einem Glottisspalt während der Stimmgebung; pathologisch ist dies als hypofunktionelle Dysphonie zu bezeichnen. Die Altersstimme betreffend findet der Begriff senile Myasthenie, eine altersbedingte Muskelschwäche, Anwendung. Als weitere Folge der Tonusreduktion ist die Glottisschlussinsuffizienz aufgrund einer Hypotonie der Mm. transversi zu beobachten. Daraus resultierend tritt häufig die gemischte Dysphonie auf, bei der durch einen hyperfunktionalen Stimmgebrauch die Hypofunktion kompensiert wird.

---

<sup>12</sup> Im Gegensatz zur weiblichen Stimme zeigt sich bei Männern im hohen Alter häufig eine konstant erhöhte Indifferenzlage. Die Gründe für die erhöhte Sprechstimme sind bislang nicht geklärt.

Zentralnervöse Veränderungen, die zu unregelmäßigen Schwingungsamplituden der Stimmlippen führen, und periphere Degenerationsprozesse, die die Lunge, die Bronchien, sowie den laryngo-pharyngealen Trakt betreffen, bedingen das Altern der Stimme zusätzlich. Die Vitalkapazität nimmt ab. Typisch für Stimmen im hohen Lebensalter sind der Verlust des Brustregisters, die Abnahme der Stimmintensität, die Minderung der Resonanz und der Tragfähigkeit sowie die Veränderung der Stimmqualität und Störungen der Intonation. Oft ist ein Zittern der Stimme festzustellen, das als sog. Alterstremolo bezeichnet wird. Die Tonhaldedauer wird kürzer; vor allem beim Halten von Vokalen wird ein zitternder, behauchter und heiserer Stimmklang zunehmend hörbar.

## **5 Der weibliche Funktionszyklus**

Im Zentrum der vorliegenden Studie steht der Zusammenhang von Veränderungen des phonatorischen Systems und den hormonellen Einflüssen im Menstruationszyklus. Da im folgenden Kapitel und den Ausführungen zur Studie stets Bezug auf die hormonellen Grundlagen des weiblichen Menstruationszyklus genommen wird, sollen an dieser Stelle die zu Grunde liegenden Regelkreise, die übergeordneten steuernden Strukturen und die Phasen des weiblichen Funktionszyklus erläutert werden.

### **5.1 Grundlagen der neuroendokrinen Regulationsmechanismen**

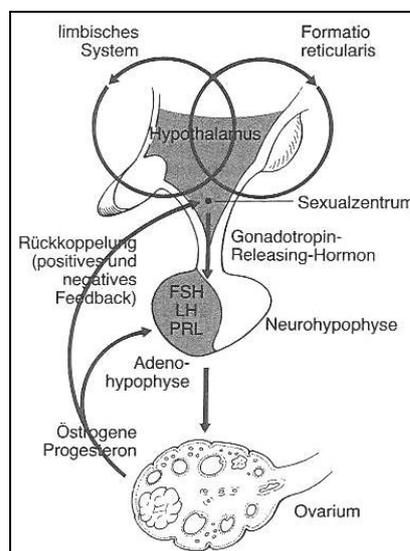
Neben dem vegetativen Nervensystem ist das endokrine System das entscheidende Kommunikationssystem zur Weitergabe von Informationen im menschlichen Organismus.

Der Menstruationszyklus ist charakterisiert durch die periodische Abfolge hormoneller Einflüsse auf die physiologischen Funktionen des weiblichen Körpers, beginnend mit der Menarche bis zur Menopause.

Als übergeordnete Strukturen, die in Form komplexer Regelkreise die Hormonausschüttung und damit die Veränderungen und Abläufe im weiblichen Funktionszyklus und der Ovarialfunktion regulieren, ist die Hypothalamus-Hypophysen-Ovar-Achse zu nennen. Die Regulationsmechanismen werden zudem von Strukturen der Großhirnrinde gesteuert, wie dem limbischen System und der Formatio reticularis (Kaiser & Pfeleiderer, 1989).

### 5.1.1 Übergeordnete corticale Strukturen

Im Folgenden werden die Strukturen, die den menstruellen Zyklus steuern und regulieren, vorgestellt. Abb. 20 zeigt eine Darstellung des Funktionskreises der Hypothalamus-Hypophysen-Ovar-Achse.

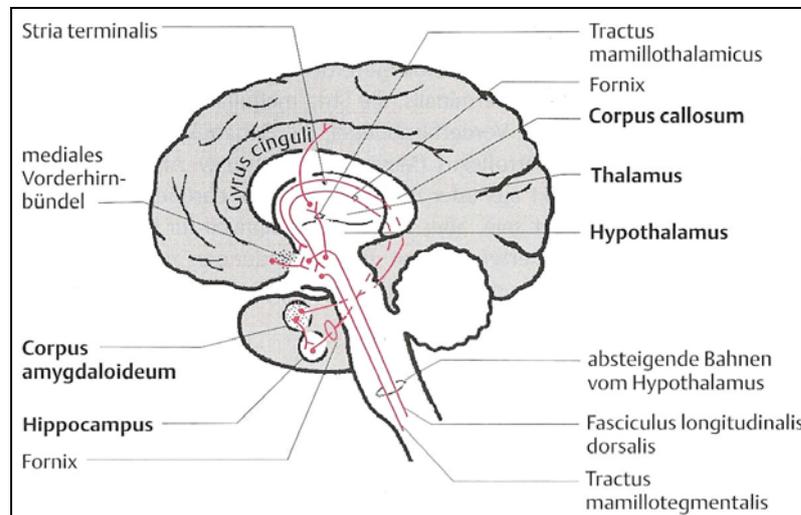


**Abb. 20:** Darstellung des Regulationsmechanismus der Hypothalamus-Hypophysen-Ovar-Achse (aus Kaiser & Pfeleiderer, 1989, S. 69)

#### Limbisches System

Zu den Strukturen des limbischen Systems zählen die Amygdala (Corpus amygdaloideum), eine Ansammlung mehrere Kerne, sowie der Hippocampus, der in Hinblick auf die Speicherung im Kurzzeitgedächtnis und das Orientierungsverhalten entscheidend ist. Wichtige Strukturen sind zudem die Area septalis, sowie an den limbischen Cortex angrenzende Gebiete. Teile des limbischen Systems sind verbunden mit dem Hypothalamus, dem Thalamus und corticalen Strukturen. Zu den wichtigsten Fasersystemen zählt der Fornix, der Teile des limbischen Systems wie Hippocampus und Area septalis miteinander verbindet. Die Stria terminalis verbindet die Amygdala mit dem medialen Hypothalamus. Auch

verlaufen Fasern der Area septalis zum Hypothalamus (s. Abb. 21). Die Strukturen des limbischen Systems sind an der Steuerung aller Verhaltens- und Denkprozesse beteiligt (Schandry, 1988; Thompson, 1990).



**Abb. 21:** Das limbische System mit den Verbindungen zwischen Hypothalamus, Thalamus, Amygdala und Hippocampus (aus Gertz, 2003, S. 107)

### Formatio reticularis

Auch die *Formatio reticularis*, die den Hirnstamm durchzieht, wirkt als übergeordnetes Steuerungssystem auf den weiblichen Zyklus ein. Diese Kerngebiete, die *Nuclei reticularis*, die im Hirnstamm verteilt sind, erhalten Informationen aus dem Hypothalamus. Das retikuläre System ist in eine absteigende und eine aufsteigende Formation aufgeteilt. Die aufsteigenden Bahnen, das „aszendierende retikuläre aktivierende System“, bestimmt die Bewusstseinslage und steuert den Schlaf-Wachzustand mit (Birbaumer & Schmidt, 1991). Die absteigende Formation dient der Stimulusweitergabe vom Hypothalamus zum autonomen Nervensystem. Dieses ist in drei Teilsysteme untergliedert, das sympathische und parasympathische System sowie das Darmnervensystem. Auch die vegetative Regulierung von Reflexen ist hier zu nennen. Durch die zahlreichen Faserverbindungen der Strukturen des limbischen und des retikulären Systems zum Hypothalamus unterliegt die Steuerung des weiblichen Zyklus diesem übergeordneten System, denn „über diese Verbindungen beeinflussen Umwelt, somatische Faktoren und psychische Interaktionen die Ovarialfunktion“ (Kaiser & Pfeleiderer, 1989, S. 68).

## 5.1.2 Hypothalamisch-hypophysäres Steuerungssystem

### 5.1.2.1 Hypothalamus

Der Hypothalamus ist Teil des Diencephalons und ist unterhalb des Thalamus lokalisiert, von dem er durch den Sulcus hypothalamicus abgegrenzt wird. Er erstreckt sich von der Lamina terminalis bis zum Mesencephalon.

Die wichtigsten Kerngebiete sind die Nuclei ventriculares, supraoptici und tuberales. Der Hypothalamus ist als übergeordnetes System für die Regulation vegetativer Körperfunktionen verantwortlich, wie die Wärme- und die Blutdruckregulation des Organismus, den Wach- und Schlafrhythmus, die Wasserregulation, den Fettstoffwechsel und die Sexualfunktion (Gertz, 2003).

Zudem ist er der Regulator für die endokrinen Funktionen über die Steuerung der Hypophyse, der Hirnanhangsdrüse. Der Hypothalamus steuert die Hormonausschüttung und das hormonelle Gleichgewicht durch Releasing- und Inhibitinghormone. Die Hypophyse unterliegt der Steuerung des Hypothalamus und bildet mit ihm ein Funktions- und Kontrollsystem. Das hypothalamisch-hypophysäre System, das als Schaltstelle zwischen hormonellen und neuronalen Regelprozessen gilt, reguliert die Hormonfreisetzung und Hormonproduktion einiger lebenswichtiger Hormone. Dies wiederum bewirkt eine Reaktion an den endokrinen Zieldrüsen, u.a. den Gonaden, welche am Erfolgsorgan die entsprechende Hormonfreisetzung und -produktion auslösen (Birbaumer & Schmidt, 1991).

### 5.1.2.2 Hypophyse

Die Hypophyse besteht aus dem Hypophysenvorderlappen (Adenohypophyse) und der Hypophysenhinterlappen (Neurohypophyse). Im Gegensatz zur Adenohypophyse als eigenständige Drüse ist die Neurohypophyse Teil des Hypothalamus. Nervenendigungen, deren Zellkörper im Hypothalamus liegen, erstrecken sich in die Neurohypophyse. Diese verbindet den Hypothalamus, den Hypophysenstiel und den Hypophysenhinterlappen. Der Hypophysenvorderlappen produziert sechs lebenswichtige Hormone, davon drei Geschlechtshormone (s. Kap. 5.1.3, Tab. 4).

Der Hypothalamus steuert und kontrolliert die Ausschüttung der Hormone durch die Hypophyse. Die von der Hypophyse gesteuerten Hormone LH, das luteinisierende Hormon,

und FSH, das follikelstimulierende Hormon, werden als Gonadotropine bezeichnet, deren Erfolgsorgan die Keimdrüsen, die Gonaden, sind.

### **5.1.3 Hormone des weiblichen Funktionszyklus**

Diedrich et al. (2007) definieren Hormone als „biologisch aktive Verbindungen, die als Botenstoffe von den Zellen hormonaktiver Organe synthetisiert werden. Diese Organe nennt man endokrine (nach innen absondernde) Drüsen“ (S. 60).

Endokrine Drüsen geben im Gegensatz zu exogenen Drüsen, die über die Oberfläche ausscheiden, Hormone ins Blut ab; auf diesem Weg gelangen diese zu den Erfolgsorganen. Sie dienen der Informationsweitergabe und der Initiierung von Funktionen des ausführenden Organs. Dabei binden sich die Hormone an die entsprechenden Rezeptoren; nach der Bildung des Hormon-Rezeptor-Komplexes werden Second-messenger-Systeme aktiviert, die das hormonelle Signal weiterleiten und die Reaktion der endokrinen Drüsen initiieren. Die Wirkung am Erfolgsorgan hängt von der Hormonkonzentration, der Affinität zwischen Hormon und Rezeptor und der Rezeptorenanzahl ab.

Für die Regulation des weiblichen Funktionszyklus sind als übergeordnete Hormonstrukturen die Peptidhormone, die Glykoprotein-hormone und die Steroidhormone verantwortlich. Im Rahmen dieser Arbeit werden in den folgenden Kapiteln nur jene Hormone vorgestellt, die den weiblichen Funktionszyklus betreffen und auch an anderer Stelle erwähnt werden. Erläuterungen und Beispiele beziehen sich ausschließlich auf den weiblichen Organismus.

Die für den menstruellen Funktionszyklus entscheidenden Hormone sind im Überblick Tab. 4 zu entnehmen.

Drüse	Hormon	Abkürzung
<b>Hypothalamus</b>	Gonadotropin-Releasinghormon	GnRH
	Prolactin-Releasinghormon	PRH
	Prolactin-Inhibitinghormon	PIH
	Oxytozin	
<b>Adenohypophyse</b>	Follikelstimulierendes Hormon	FSH
	Luteinisierendes Hormon	LH
	Prolactin	PRL
<b>Neurohypophyse</b>	Oxytocin	
<b>Ovar</b>	Östrogen	
	Progesteron	

**Tab. 4:** Überblick über die Hormone des weiblichen Funktionszyklus

### 5.1.3.1 Hormone des Hypothalamus

#### Gonadotropin-Releasinghormon (GnRH)

Als entscheidender Motor für die Steuerung der Ovarialfunktionen spielt das im Nucleus arcuatus des Hypothalamus produzierte Gonadotropin-Releasinghormon GnRH eine wichtige Rolle, das an das hypophysäre Pfortadersystem abgegeben wird. GnRH bewirkt die Ausschüttung des für die Zyklusphasen entscheidenden luteinisierenden Hormons LH und des follikelstimulierenden Hormons FSH durch die Hypophyse. Die Sekretion von GnRH setzt mit der Pubertät ein und ist zur Stabilisierung der Funktionen der Hypophyse und der Ovarien ausschlaggebend. Es handelt sich um ein Hormon mit membranständigen Hormonrezeptoren, da sich das Rezeptormolekül an der Zellmembran befindet.

#### Prolactin-Releasing-Hormon (PRH) / Prolactin-Inhibiting- Hormon (PIH)

Die Sekretion von Prolaktin beruht auf einem komplexen System der Freisetzung des Prolactin-Releasing-Hormons (PRH) und des Prolactin-Inhibiting- Hormons (PIH).

### Oxytozin

Das Oxytozin wird im Nucleus supraopticus und Nucleus paraventricularis des Hypothalamus produziert und im Hypophysenhinterlappen gespeichert.

#### 5.1.3.2 Hormone der Hypophyse

### ***Hormone der Adenohypophyse***

#### Follikelstimulierendes Hormon FSH

Das follikelstimulierende Hormon FSH wird in den Zellen der Adenohypophyse gebildet; es stimuliert seine Zielzellen (Granulosazellen) in den Eierstöcken (Ovarien) zur Bildung des Hormons Östrogen und lenkt die Follikelreifung.

#### Luteinisierendes Hormon LH

Das luteinisierende Hormon LH wirkt ebenfalls auf die Gonaden ein; es fördert die Östrogen- und Progesteronsynthese in der Lutealphase und ist verantwortlich für die ovulationsauslösenden Mechanismen. Wie das Hormon FSH auch wird die Ausschüttung von LH durch das Gonadotropin-Releasinghormon GnRH gesteuert.

Beide Hormone tragen membranständige Hormonrezeptoren, da diese an Zellmembranen des Ovars lokalisiert sind.

#### Prolaktin

Prolaktin PRL stimuliert zusammen mit Östrogen und Progesteron die Entwicklung der Brustdrüse und ist für das Wachstum der Milchgänge und die Milchbildung während der Stillzeit verantwortlich. Die Prolaktinausschüttung wird durch den Neurotransmitter Dopamin gehemmt.

### ***Hormone der Neurohypophyse***

#### Oxytocin

Das Hormon Oxytocin wird im Hypothalamus produziert und in der Neurohypophyse gespeichert; die neuronalen Axone ziehen vom Hypothalamus zur Neurohypophyse. Die Nervenendigungen des Hypothalamus setzen in der Neurohypophyse bei entsprechender Reizung Oxytozin frei.

Die Hormonrezeptoren für das Hormon Oxytocin befinden sich auf den Zellen des Uterus und der Mammae. Es handelt sich dabei um ein Hormon mit enorm hoher Spezifität; es bewirkt

unmittelbar pränatal Kontraktionen der Uterusmuskulatur und löst postnatal die Milchsekretion (Milchejektionsreflex) aus.

#### 5.1.3.3 Steroidhormone

Zu den Steroidhormonen zählen die Hormone Östrogen und Progesteron. Im weiblichen Funktionszyklus steuern sie vorrangig die ovariellen Veränderungen und wirken regulierend auf Hypophyse und Hypothalamus im Sinne eines Feedback-Mechanismus. Die Steroidhormone regeln mit Hilfe von Neurotransmittern die Sekretion oder Inhibition von GnRH-sezernierenden Neuronen. Die Hormone LH und FSH werden in der Adenohypophyse gebildet, in den Blutstrom freigesetzt und bewirken wiederum die Ausschüttung von Östrogen und Progesteron durch die Ovarien (Kaiser & Pfeleiderer, 1989).

#### Östrogen

Die Östrogene werden in den Ovarien gebildet, v.a. in den Follikeln. Die Wirkung des Östrogens ist neben der Hemmung des Knochenabbaus und der Wiederherstellung von Haut und Schleimhäuten insbesondere für die periodischen Abläufe im weiblichen Funktionszyklus entscheidend. Es ist verantwortlich für die Follikelreifung, den Eitransport, den Aufbau des Endometriums (Gebärmutter Schleimhaut) in der ersten Zyklushälfte und zur Auslösung der ovulatorischen Sekretion von LH. Das Östrogen ist das entscheidende Hormon für die Bildung der primären und sekundären Geschlechtsmerkmale.

Der Hormon-Rezeptor-Komplex bildet sich intrazellulär; es liegen zytosolische und nukleäre Hormonrezeptoren vor.

#### Progesteron

Das Progesteron wird auch als Gelbkörperhormon bezeichnet, da es die entscheidende Rolle in der Luteal- oder Gelbkörperphase spielt (s. Kap. 5.2.2.3). Nach Diedrich et al. (2007) „transformiert [es] die vom Östrogen proliferierte Gebärmutter Schleimhaut in die sekretorische Form und bereitet so die Einnistung eines frühen Embryos vor“ (S. 65). Es ist das entscheidende Hormon für die Konzeption und Nidation (Einnistung) und ist für die Vorbereitung auf eine Schwangerschaft und für den Erhalt der Frühschwangerschaft ausschlaggebend. Gebildet wird es vorwiegend vom Gelbkörper (Corpus luteum) und der Plazenta.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Steroidhormone Östrogen und Progesteron zusammen mit den Hormonen des Hypophysenvorderlappens FSH und LH die dominierenden Einflussfaktoren in Hinblick auf die Veränderungen des phonatorischen Systems im Zyklusverlauf ausüben.

## 5.2 Physiologie des Menstruationszyklus

Der weibliche Funktionszyklus ist eine Abfolge periodischer Vorgänge im weiblichen Organismus, der hormonell gesteuert wird und bei gesunden Frauen während der Phase der Geschlechtsreife zyklisch auftritt. Diese Phase erstreckt sich über einen Zeitraum von ca. 35 bis 40 Jahren, wobei individuelle Schwankungen auftreten. Medizinische Studien konnten belegen, dass der Zeitpunkt der Menarche immer früher einsetzt und die Phase der Geschlechtsreife länger andauert.

Mit dem ersten Tag der Menstruation beginnt der Zyklus und er endet am Tag vor der nächsten Regelblutung. Die durchschnittliche Zyklusdauer beträgt 28 Tage; Abweichungen zwischen 21 und 35 Tagen sind individuell möglich. Die zeitlichen Schwankungen des Zyklus finden in der ersten Zyklushälfte – der Follikelphase – statt (s. Kap. 5.2.2.1). Die Gelbkörperphase hingegen erstreckt sich konstant über 14 Tage (s. Kap. 5.2.2.3). Die Regelblutung definiert den Beginn des ovariellen Zyklus.

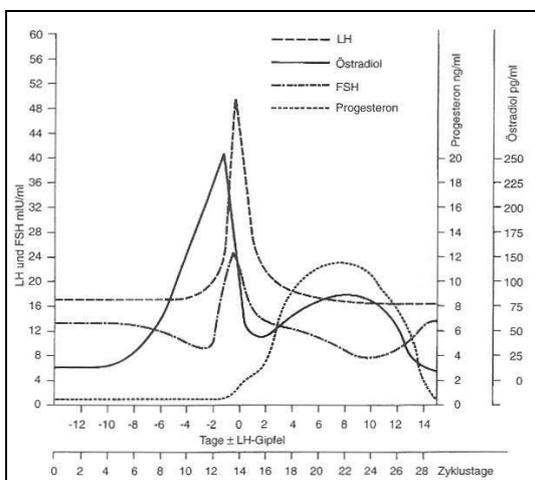
### 5.2.1 Abläufe des neuroendokrinen Systems im weiblichen Zyklus

Die Hypothalamus-Hypophysen-Ovar-Achse ist der entscheidende Systemkomplex, der den menstruellen Funktionszyklus reguliert und kontrolliert.

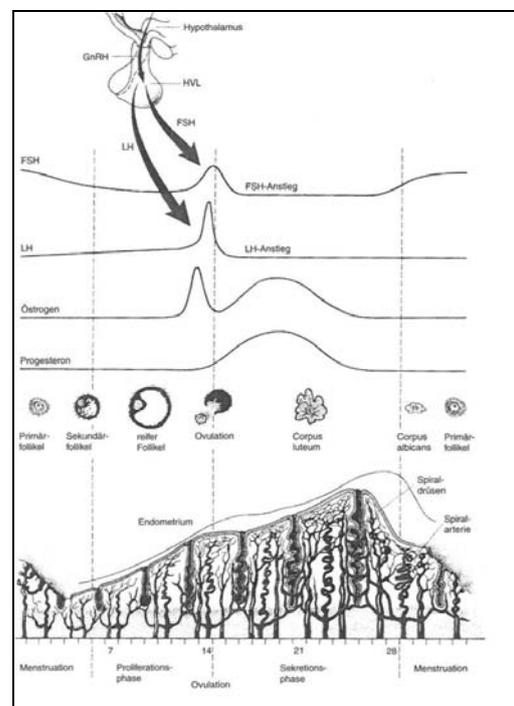
Der Hypothalamus setzt das Gonadotropin-Releasing-Hormon GnRH frei, das als zentraler Faktor den weiblichen Funktionszyklus reguliert. Nach Breckwoldt und Keck (2003) erfolgt die GnRH-Ausschüttung während der Follikelphase in Abständen von ca. 90 min; während der Lutealphase erfolgt die Hormonsekretion langsamer.

GnRH bildet mit den Rezeptoren der gonadotropen Zielzellen einen Hormon-Rezeptor-Komplex; dabei fungieren die bereits erwähnten second-messenger-Systeme als Signalverstärker. Dies führt zur Produktion und Ausschüttung der Hormone der Adenohypophyse, des luteinisierenden Hormons LH und des follikelstimulierenden Hormons FSH. Die Gonadotropine diffundieren in den Blutkreislauf, binden sich an die Rezeptoren der Gonaden, der Ovarien, und lösen entsprechende Reaktionen aus. Die Produktion der Steroidhormone,

Progesteron und Östrogen sind hier zu nennen, die die zyklischen Veränderungen der Ovarialfunktionen regulieren. Die Ovarien sind durch die Synthese und Sekretion der Steroidhormone Östrogen und Progesteron weitgehend ein selbstregulierendes System. Ausschlaggebend ist jedoch ein funktionierendes hypothalamisch-hypophysäres Steuerungssystem, das auf hormonelle Konzentrationen im Sinne eines Feedbacks adäquat reagiert. Die endokrine Regulation der Strukturen der Hypothalamus-Hypophysen-Ovar-Achse wird durch Rückkopplungsprozesse kontrolliert. Die Hormonkonzentration im Blut gibt ein Feedback an Hypophyse und Hypothalamus zurück und wirkt kontrollierend und regulierend (Thompson, 1990).



**Abb. 22:** Hormonkonzentration der adenohypophysären Hormone und der Steroidhormone während einer Zyklusphase (aus Breckwoldt & Keck, 2003, S. 14)



**Abb. 23:** Schematische Darstellung der Zyklusphasen, incl. der Hormonveränderungen, der Zyklusphasen und der Veränderungen des Endometriums (aus Breckwoldt & Keck, 2003, S. 26)

### 5.2.2 Phasen des weiblichen Funktionszyklus

Der menstruelle Zyklus wird in drei Hauptphasen eingeteilt: die Follikelphase, die Ovulation und die Luteal- oder Sekretionsphase, die im Folgenden erläutert werden. Abb. 22 und Abb. 23 geben einen Überblick über die Phasen des weiblichen Funktionszyklus.

Orientiert an den Zyklusphasen wurden die Messzeitpunkte für die vorliegende Studie festgelegt.

#### 5.2.2.1 Follikelphase

Die Follikelphase, die Phase der Eizellreifung, steht am Beginn des weiblichen Funktionszyklus. Das follikelstimulierende Hormon FSH bildet einen Hormon-Rezeptor-Komplex an den Zellen des Ovars, wodurch die Östrogenbildung initiiert wird. Ausgelöst durch das im Ovar gebildete Hormon Östrogen wird in der Gebärmutter ein neues Endometrium (Schleimhautschicht) aufgebaut; dieser Vorgang wird als Proliferation bezeichnet. Das Endometrium wird dann bei der nächsten Menstruation wieder abgestoßen. Die Proliferationsphase findet ca. vom 5. bis zum 14. Zyklustag statt.

Das im Hypophysenvorderlappen produzierte follikelstimulierende Hormon FSH bewirkt bei Überschreiten eines individuell variierenden Schwellenwertes die Bildung einer Follikelkohorte in beiden Ovarien; dieser Prozess dauert durchschnittlich bis zum dritten Zyklustag. Bis zum siebten Zyklustag entwickelt sich ein dominanter Follikel, dessen Reifung sich in mehreren Stadien, nämlich vom Primär- zum Sekundär- und schließlich zum Tertiärfollikel vollzieht. Das Hormon FSH fördert das Wachstum des dominanten Ovarialfollikels; dieser dominante Follikel reift zum sprungreifen Graaf-Follikel heran. In dieser Phase steigt die Östrogenkonzentration im Blut enorm an (s. Abb. 232 und Abb. 23). Grund hierfür ist, dass in den den Ovarialfollikel umgebenden sog. Thekazellen Androgene produziert werden; durch die steigende Konzentration von LH wird der dominante Follikel zur Produktion von Androgenen angeregt, das in Östrogen umgewandelt und sezerniert wird. Der Ovarialfollikel wächst und das Flüssigkeitsvolumen nimmt zu, was zu einer Steigerung des Innendrucks führt.

Während der Follikelphase ist die Hormonkonzentration der Steroidhormone sowie der Hormone des Hypophysenvorderlappens FSH und LH relativ konstant. Dieser konstante Hormonstatus wirkt sich positiv auf das phonatorische System aus und ist damit ausschlaggebend für die Stimmgüte innerhalb der Follikelphase, wie in Kap. 7 erläutert wird.

#### 5.2.2.2 Ovulationsphase

Durch die maximale Konzentration des Östrogens im Blut wird die Freigabe des luteinisierenden Hormons LH aus der Adenohypophyse bewirkt. Der Sprung des Graaf-Follikels findet ca. 10-12 Stunden nach Erreichen der maximalen Serumkonzentration des

luteinisierenden Hormons LH statt. Dieses LH-Maximum ist das auslösende Moment der Ovulation.

Der Follikel platzt auf und gibt die Eizelle (Oozyte) frei, die dann vom Ovar in den Eileiter und schließlich zum Uterus transportiert wird. Noch nicht eindeutig belegt ist, ob auch das Hormon Oxytozin an der Freigabe der Eizelle beteiligt ist. Die Durchblutung des Endometriums ist in dieser Phase am höchsten.

Zeitgleich erfolgt eine Zunahme des follikelstimulierenden Hormons FSH, während der Östrogenspiegel wieder sinkt. Dieser Vorgang findet ca. 12-16 Tage vor der nächsten Regelblutung statt.

Die im Rahmen der Studie durchgeführte Messung t2 fand in der späten Follikel- bzw. Ovulationsphase statt.

#### 5.2.2.3 Lutealphase

Aus dem Follikel, der im Ovar verblieben ist, entsteht unter dem Einfluss des luteinisierenden Hormons LH der Gelbkörper. Dieser ist eine zeitweise aktive Drüse, die unter dem Einfluss von LH das Steroidhormon Progesteron synthetisiert. Am 7./8.Tag nach der Ovulation, also am 21./22. Zyklustag, erreicht die Progesteronkonzentration ihr Maximum aufgrund einer hohen Aktivität des Corpus luteum. Die Kombination aus Progesteron- und Östrogenwirkung löst in der Gebärmutterschleimhaut eine verstärkte Sekretion der Drüsen und einen Ausbau der Gefäßversorgung aus, was einen weiteren Aufbau der Gebärmutterschleimhaut bewirkt. Diese ist nun optimal für die Einnistung einer Eizelle (Nidation) vorbereitet.

Sofern keine Schwangerschaft eingetreten ist, bildet sich der Gelbkörper innerhalb von ca. 10 bis 12 Tagen zurück. Die Produktion des Progesterons wird eingestellt. Der Hormoneffekt des Erfolgsorgans endet, wenn die endokrine Drüse die Hormonsekretion einstellt. Übrig bleibt das Corpus albicans im Ovar, ein kleines, narbiges Residuum.

Die Gelbkörperphase dauert ca. 14 Tage und ist gekennzeichnet durch einen Temperaturanstieg von ca. 0,3 °C. Am Ende der Lutealphase steigt die Konzentration von FSH wieder an, was zur Rekrutierung einer Follikelkohorte für den nächsten Zyklus führt.

Die Phase kurz vor Eintritt der Menstruation wird als Prämenstrum bezeichnet und unterscheidet sich hormonell erheblich von der späten Follikel- bzw. Ovulationsphase. Neben körperlichen Symptomen wird in dieser Phase auch stimmliche Veränderungen, resp. Einschränkungen festzustellen (s. Kap. 7).

Am Ende der Lutealphase ab dem 24. Zyklustag fand im Rahmen der Studie die Messung t3 statt.

#### 5.2.2.4 Desquamationsphase

Durch den Hormonentzug des Östrogens, insbesondere aber auch des Progesterons, wird am Ende der Lutealphase die Menstruation eingeleitet. Die Desquamationsphase bezeichnet den Zeitraum vom 1. bis zum 4. Zyklustag.

Der Hypothalamus reagiert auf das geringe Niveau des Östrogen- und Progesteronspiegels und fördert zeitgleich zur Menstruationsblutung die Produktion von FSH und LH.

Während dieser Phase, zwischen dem ersten und vierten Zyklustag, wurde die Messung t1 durchgeführt.

## **6 Mutationsstörungen und hormonelle Stimmstörungen**

Der Kehlkopf als sekundäres Geschlechtsmerkmal reagiert sensibel auf hormonelle Einflüsse und ist folglich auch von umfassenderen hormonell bedingten Störungsbildern betroffen<sup>13</sup>.

Im folgenden Kapitel wird auf die weibliche Stimme Bezug genommen, wobei im Bereich der Mutationsstörungen vergleichbare Auffälligkeiten auch bei der männlichen Stimme auftreten können. Neben den Mutationsstörungen werden zudem hormonelle Stimmstörungen und stimmverändernde Faktoren durch Hormonpräparate bei Frauen erläutert. Der letztgenannte Aspekt wird vor allem in Bezug auf die Einnahme von Kontrazeptiva in verschiedenen Studien beleuchtet; einige davon werden in Kap. 6.4.3 und Kap 7.3 vorgestellt. Zudem wird eine Abgrenzung zwischen den in Kap. 5 beschriebenen physiologischen Stimmveränderungen und -schwankungen und den pathologischen Störungsbildern vorgenommen.

---

<sup>13</sup> Ergänzend sei hinzugefügt, dass endokrinologische Krankheitsbilder sich neben Veränderungen laryngealer Strukturen darüber hinaus auf die sprachsystematische, geistige, körperliche und psychische Entwicklung auswirken können. An dieser Stelle werden lediglich die Auswirkungen auf das phonatorische System erläutert.

## 6.1 Mutationsstörungen

Die Mutationsstörungen werden in organische und funktionelle Störungsbilder unterteilt.

### 6.1.1 Funktionelle Mutationsstörungen

Ursächlich für diese Form der Mutationsstörungen ist, dass der Phonationsapparat in seinen Funktionen, v a. in Hinblick auf das Stimmlippenverhalten beeinträchtigt ist; die Auffälligkeiten können in allen Mutationsphasen auftreten. Eine eindeutige Diagnosestellung ist bei den meisten Störungsbildern dieser Art jedoch erst möglich, wenn der Abschluss der physiologischen Mutation stattgefunden hat; diese Störungsformen bezeichnet der Begriff postmutationelle Störungen im Gegensatz zu Störungsbildern, die eindeutig während der Mutation festzustellen sind. Bei Mädchen ist in diesem Zusammenhang lediglich die sog. perverse Mutation (s. Kap. 6.1.1.2) zu nennen (Wirth, 1995).

Nach Habermann (1986) sind Frauen besonders häufig von larvierten Mutationsstörungen betroffen, die während oder infolge einer Stimmbelastung auftreten. Besonders ausgeprägt sind sie bei jungen Frauen im Alter von 20 bis 30 Jahren; der Stimmklang ist durch Heiserkeit und Behauchung geprägt. Oft ist ein Glottisspalt im hinteren Drittel zu sehen; eine Hypofunktion der Stimmlippen, die hyperfunktionell kompensiert wird, ist charakteristisch.

#### 6.1.1.1 Mutationsfistelstimme

Die Ätiopathogenese der Mutationsfistelstimme liegt in der erhöhten Kontraktion des M. cricothyreoideus, die eine massive Spannung der Stimmlippen hervorruft. Dies führt im Extremfall zu einer Atrophie der Mm. vocales aufgrund einer eingeschränkten Aktivität. Auslösend wirkt zudem, dass die zentrale Steuerung noch nicht auf die veränderten laryngealen Größenverhältnisse eingestellt ist. Das bereits erläuterte Mutationsdreieck, gerötete Stimmlippen und Irregularitäten der Stimmlippenschwingungen sowie verkürzte Amplituden sind erkennbar. Neben psychischen Ursachen kann der zentralnervöse Steuerungsmechanismus der Phonation ursächlich sein, der aufgrund des Größenwachstums des Larynx noch eingeschränkt ist. Die Mutationsfistelstimme stellt sich als Kopfstimme dar, die sehr viele höher ist als die ursprüngliche Kinderstimme (Boenninghaus & Lenarz, 2007). Symptomatisch sind auch das Kippen der Stimme zwischen Brust- und Kopffregister sowie gepresste Stimmeinsätze und ein heiserer Stimmklang.

Differentialdiagnostisch ist die Mutationsfistelstimme von der psychogenen Fistelstimme zu unterscheiden, die erst nach Abschluss der physiologischen Mutation auftritt.

#### 6.1.1.2 Perverse Mutation aufgrund funktioneller Auffälligkeiten

Die Ursache für diese Störungsform ist unklar; der laryngeale Befund ist unauffällig und es liegt keine generelle endokrinologische Auffälligkeit vor. Symptomatisch ist dieses seltene Störungsbild durch ein massives Absinken der Sprechstimmlage in den Bereich der Tenor- und Baritonstimme gekennzeichnet.

#### 6.1.1.3 Unvollständige Mutation

Während der Mutation sinkt die Stimme nur geringfügig ab. Der Stimmklang des Mädchens entspricht eher einer Kinderstimme als dem einer heranwachsenden, jungen Frau. Das Brustregister ist nicht stabil und es erfolgen Wechsel ins Kopfregeister. Die Ursachen sind noch unklar; angenommen werden vor allem psychische Faktoren (Identifikationsprobleme innerhalb des Erwachsenwerdens), massive Stimmbelastung während der Mutationsphase (z.B. beim Singen) oder vor allem hormonell bedingte Ursachen, die die Synthese der Steroidhormone betreffen.

Festzustellen sind nach Wirth (1995) ein ovalärer Spalt oder das Mutationsdreieck, verkürzte Amplituden und eine eingeschränkter oder fehlender Glottisschluss während der Phonation, der häufig zur einer Überkompensation führt. Auffällig ist zudem ein dauerhafter Kehlkopfhochstand, der das Absinken der Sprechstimmlage verhindert.

In diesem Zusammenhang ist die stark verlängerte Mutation zu nennen, in der die Symptome des Stimmwechsels über Jahre persistieren. Bei Mädchen sind die Aufrechterhaltung der Kinderstimme und diplophone Aspekte zu nennen. Als zusätzliche Faktoren werden eine stimmliche Überlastung während der Mutationsphase oder eine allgemeine Schwäche des Phonationsapparates angenommen. Nach Habermann (1986) tritt dieses Störungsbild häufig bei jungen Frauen im Alter von 20 bis 30 Jahren auf und zudem ist es durch Heiserkeit und Behauchung geprägt.

#### 6.1.1.4 Mutationsbass

Dabei handelt es sich um ein bei Frauen sehr seltenes Störungsbild, das durch fehlenden Glottisschluss und einen Kehlkopftiefstand gekennzeichnet ist. Die Indifferenzlage im Zeitraum der Mutation ist dabei wesentlich tiefer als sie sich nach der Mutation dauerhaft

festigt. Diese Auffälligkeit wird durch die Nachahmung von tiefen und damit in dieser Phase schädigenden Gesangstechniken oder auch durch Identifikationsprobleme in der Pubertät hervorgerufen, um einen hohen Reifegrad zu demonstrieren (Wirth, 1995)<sup>14</sup>.

## **6.1.2 Organische Mutationsstörungen**

Zu den organischen Mutationsstörungen zählen Störungsbilder endokriner Ätiopathogenese und endokrin bedingte Kehlkopfanomalien, die im Folgenden erläutert werden.

### **6.1.2.1 Endokrine Mutationsstörungen**

Diese Form der Mutationsstörungen sind auf Irregularitäten des endokrinen Regulationsmechanismus bzw. auf pathologische Veränderungen resp. Einschränkungen der Gonaden zurückzuführen.

#### **6.1.2.1.1 Verfrühte Mutation**

Die verfrühte Mutation hängt mit einem sehr frühen Eintritt in die Pubertät, meist um das 7. Lebensjahr, zusammen. Die Menarche tritt noch vor dem 8. Lebensjahr ein. Nach Diedrich et al. (2007) wird die Pubertas praecox vera durch die vorzeitige Aktivität des hypothalamisch-hypophysären Regulationsmechanismus ausgelöst. Vor allem die vorzeitige Sekretion von GnRH wird in diesem Zusammenhang diskutiert. Dieses Störungsbild ist zu unterscheiden von der sog. Pseudopubertas praecox, die durch eine pathologische Produktion und Sekretion der Steroidhormone hervorgerufen wird.

Die verfrühte Mutation wirkt sich in Form einer sehr tiefen Stimme vor Eintritt in die Phase der Geschlechtsreife aus.

---

<sup>14</sup> Im Bereich der funktionellen Mutationsstörungen wird häufig eine psychische Komponente als mitauslösender oder verstärkender Faktor angenommen. Aufgrund der wenigen Studien zu diesem Thema ist diesbezüglich keine Aussage möglich.

#### 6.1.2.1.2 Verspätete Mutation

Zu den Mutationsstörungen mit endokrin auslösenden Faktoren zählt die verzögerte Mutation, die *Mutatio tarda*. Die Mädchen treten dabei erst ab dem 14. Lebensjahr in die Mutationsphase ein. Ursächlich hierfür ist ein allgemein verzögerter körperlicher Eintritt in die Pubertät. Die *Pubertas tarda* kann vielfache medizinische Gründe haben. Zu nennen sind konstitutionelle oder krankheitsbedingte Entwicklungsverzögerungen bzw. eine Gonadendysgenese, d.h. das Fehlen voll funktionsfähiger Gonaden. Die eingeschränkte Produktion der Steroidhormone ist hierfür ursächlich und führt zu einer Verzögerung der Reifungsprozesse.

#### 6.1.2.1.3 Perverse Mutation aufgrund endokriner Auffälligkeiten

Ursächlich für diese Form der Mutation sind Irregularitäten im endokrinen System, im hypothalamisch-hypophysären System oder in der Nebennierenrinde. Die laryngealen Strukturen entsprechen dem männlichen Kehlkopf. Folge dieser irreversiblen Störung ist aufgrund der Virilisierungstendenzen eine männliche, tiefe Sprechstimme.

#### 6.1.2.2 Larynxasymmetrien

In der Phase der Postmutation kann es zu hormonell bedingten Asymmetrien im Kehlkopfwachstum kommen. Die stimmlichen Auffälligkeiten sind nicht einheitlich und hängen vom Ausmaß der laryngealen Veränderungen und Einschränkungen ab.

## 6.2 Stimmstörungen während der Schwangerschaft

### 6.2.1 **Laryngopathia gravidarum**

Ab dem fünften Schwangerschaftsmonat kommt es bei etwa 20% der Schwangeren zu einer *Laryngopathia gravidarum*, einer Stimmstörung innerhalb der Schwangerschaft, die bis zur Entbindung andauert. Die gewohnte Stimmleistung ist meist bereits einige Tage nach der Entbindung wiederhergestellt.

Hormonelle Veränderungen, v.a. der Einfluss des Progesterons, fördern die Entstehung von Stimmlippenödemen, die mit einer Dysphonie, Trockenheits- und Engeempfinden und Schmerzen im Kehlkopfbereich einhergehen. Die Indifferenzlage kann um zwei bis drei Halbtöne absinken. Die Symptomatik ist unterschiedlich ausgeprägt und variiert von einer leichten Dysphonie bis hin zur Atemnot aufgrund von Vasodilatationen und Ödemen im

oropharyngealen und laryngealen Trakt. Schleimhautveränderungen im Nasopharynx führen zudem zu Resonanzveränderungen. Nach Wirth (1995) kann es infolge einer Laryngopathia gravidarum zu einer Manifestation einer bereits bestehenden, bis dahin aber unauffälligen Stimmstörung kommen; in diesem Fall besteht Therapierelevanz.

Bis zum siebten bzw. achten Schwangerschaftsmonat ist es Sängerinnen nach Habermann (1986) gut möglich, stimmlich anspruchsvolle Partien zu singen, sofern die Stimme nicht forciert wird. Die veränderten Atemverhältnisse und die damit fehlende Stützfunktion erschweren jedoch das Singen bereits häufig vor dem siebten Schwangerschaftsmonat. Wie bereits erwähnt tritt die Laryngopathia gravidarum schon ab dem fünften Schwangerschaftsmonat auf; die damit einhergehende stimmliche Symptomatik erfordert es, dass das Singen bis zum Ende der Gravidität eingestellt wird.

Die Laryngopathia gravidarum kann ein Hinweis auf das Auftreten einer Präeklampsie sein, eines gefährlichen Syndromkomplexes, der alle Organe betrifft und mit Hypertonie (Bluthochdruck) einhergeht.

### **6.2.2 Schwangerschaftsmutation**

Differentialdiagnostisch ist die Schwangerschaftsmutation von der Laryngopathia gravidarum abzugrenzen. Es handelt sich dabei um ein seltenes Störungsbild, dessen Ätiopathogenese bislang nicht eindeutig geklärt ist; möglicherweise ist eine zeitweise erhöhte Androgenproduktion verantwortlich. Symptomatisch zeigt sich eine ödematöse Auflockerung der Stimmlippen einhergehend mit einer Austrocknung der laryngealen Schleimhaut, die auch den nasopharyngealen Trakt betreffen kann.

Die Schwangerschaftsmutation ist charakterisiert durch das Absinken der Stimme um ca. eine Oktave und eine verkürzte Tonhaldedauer. Diese Form der Stimmstörung ist irreversibel und bleibt postnatal bestehen.

## **6.3 Stimmstörungen während des Klimakteriums**

Das Klimakterium bezeichnet einen Zeitraum vom ca. 45. bis 55. Lebensjahr, in dem es zur Abnahme und schließlich zur fast vollständigen Einstellung der Ovarialfunktion kommt. Die letzte menstruelle Blutung wird als Menopause bezeichnet. Die Östrogen- und Progesteronproduktion ist sehr gering, während die Androgenbildung in den Nebennierenrinden und den Ovarien bestehen bleibt. „At menopause, the disappearance of ovarian follicles

leads to the end of menstruation and of progesterone secretion. The hypothalamo-hypophyseal axis is greatly disturbed and there is an increase in FSH and LH secretions to stimulate the ovary. The ovary becomes a curious endocrine organ, as its secretions change, consisting not only of estrogens but also of male hormones" (Abitbol et al., 1999).

Der physiologische Prozess verläuft meist allmählich und erstreckt sich über einen längeren Zeitraum. Die pathologische Form setzt abrupt ein und manifestiert sich in auffälligen stimmlichen Einschränkungen. Durch die prozentuale Verschiebung des Verhältnisses von Östrogen- und Androgenkonzentration kommt es u.a. zu einer Maskulinisierung des Larynx. Stroboskopisch sind Schwingungsirregularitäten und Amplitudenunterschiede zwischen den Stimmlippen festzustellen. Durch den Rückgang der Steroidhormone Progesteron und Östrogen atrophiert die Larynxmukosa, d.h. die Schleimhaut bildet sich allmählich zurück. Das Hormon Progesteron aktiviert die Bildung der Schutzschicht der Nerven, die Myelinschicht. Durch den Rückgang des Progesterons und der damit verbundenen Reduktion der Myelinisierung der peripheren Nerven wird die Nervenleitung langsamer und die Kontrolle über die Stimme geringer. Dieser Vorgang wird vor allem von Sängerinnen wahrgenommen.

Amir et al. (2003) erläutern die Konsequenz der verminderten Produktion der Steroidhormone wie folgt, „thus, in turn, causes a decrease in elasticity of the connective and mucosal tissues, which increases the vibrating mass of the vocal cords, thus lowering vocal pitch“ (S. 2). Als pathologisch wird dieser Prozess der Stimmveränderung klassifiziert, wenn die Sprechstimm- lage um mehr als drei Halbtöne absinkt und der Stimmklang konstant raue, behauchte oder teilweise gepresste Anteile hat. Auch eine erhebliche Verringerung hoher Frequenzen ist charakteristisch für die pathologische Ausprägung. Zudem wird häufig ein massives Trockenheitsgefühl im Kehlkopf empfunden. Die Belastbarkeit und die Tragfähigkeit der Stimme nehmen ab. Typisch ist auch die enorm schnelle Stimmermüdung. Die Stimmveränderungen können zeitlich begrenzt sein oder irreversibel<sup>15</sup>. Nach Amir et al. (2003) sind zudem eine geringere stimmliche Kontrolle und Stabilität als Kriterien klimakterisch bedingter Stimmstörungen zu nennen. Vor allem für Sängerinnen ist diese Phase in

---

<sup>15</sup> Diedrich et al. (2007) stellen fest, dass die Intensität der Ausprägung klimakterisch bedingter Beschwerden erheblich psychisch beeinflusst ist. Bei Akzeptanz der Veränderungen durch die Betroffene selbst und die Umwelt sind die Beschwerden insgesamt geringer.

beruflicher Hinsicht problematisch; die Stimme verliert an Höhe und verlagert den Schwerpunkt in die Tiefe. Besonders gravierend empfinden Sängerinnen, dass die Klangfarbe und der individuelle Klangcharakter der Stimme sich ändern. Die Stimmintensität ist eingeschränkter und selbst die Geschwindigkeit beim Singen schneller Tonfolgen kann betroffen sein. Die Einnahme von Östrogenpräparaten kann hier effektiv zum Einsatz kommen. Abzugrenzen sind diese Stimmveränderungen von der iatrogenen Stimmvirilisierung, die von der Einnahme von Präparaten bei Beschwerden im Klimakterium herrühren.

## 6.4 Stimmveränderungen durch die Einnahme hormoneller Präparate

Der Einfluss hormoneller Präparate hat einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Stimme und kann wie nachfolgend erläutert zu nachhaltigen, teilweise irreversiblen Stimmveränderungen führen.

### 6.4.1 Anabolika

Bei den Anabolika handelt es sich um anabole Steroide, d.h. Hormone, die sich vom Testosteron, dem entscheidenden männlichen Steroidhormon, ableiten; in Folge werden Wachstumsprozesse initiiert und/oder akzeleriert.

Die Einnahme anaboler Substanzen kann zu einer Veränderung aller stimmlichen Parameter führen. Anfangs treten Stimmermüdung und eingeschränkte Tragfähigkeit auf. Besonders ein Absinken der Sprechstimme bis zu einer Oktave bzw. die Virilisierung der Stimme sind möglich. Bezogen auf die Singstimme zeigt sich, dass die Stimme an Höhe verliert, später ist der Stimmumfang dann insgesamt eingeschränkt. Der Stimmklang ist rau, heiser und kratzend. In schweren Fällen ist die Tonhaldedauer erheblich verkürzt. Als Folge des Versuchs eine höhere Indifferenzlage beizubehalten, tritt oft eine hyperfunktionelle Dysphonie als Sekundärsymptomatik hinzu.

Nach Habermann (1986) hängen die von anabolen Substanzen „verursachten Veränderungen am Stimmorgan [...] dabei nicht so sehr von der Dosis und von der Dauer der Anwendung solcher Mittel ab, als von der individuelle Empfindlichkeit und von der konstitutionellen hormonellen Labilität der betreffenden Frau“ (S. 221). Im Bereich der laryngealen Strukturen zeigen sich Veränderungen in Form einer Zunahme an Muskelmasse im Verhältnis zum Bindegewebe. Stroboskopisch sind ungleichmäßige und nicht symmetrische Stimmlippenbe-

wegungen mit verkürzter Amplitude festzustellen. Der Glottisschluss ist im mittleren und hinteren Drittel der Stimmlippen nicht vollständig möglich. In einigen Fällen kann auch eine frühzeitige Verknöcherung des Schilddrüsens einsetzten, die im physiologischen Alterungsprozess erheblich später einsetzt. In den meisten Fällen sind die durch anabole Substanzen bedingten Stimmveränderungen irreversibel; v.a. die tiefe Sprechstimmlage bleibt dauerhaft erhalten.

#### **6.4.2 Einnahme männlicher Hormonpräparate**

Zur Behandlung von Ovarial- und Mammakarzinomen, deren Wachstum durch geschlechtsspezifische Hormone unterstützt wird, werden gegengeschlechtliche Hormone verabreicht. Als Nebenwirkung kann es zur Virilisierung der Stimme kommen.

Im Erscheinungsbild und der Symptomatik der Stimmveränderungen entspricht dies der Einnahme anaboler Substanzen, die in Kap. 6.4.1 dargestellt wurden.

#### **6.4.3 Stimmveränderungen durch Kontrazeptiva**

Hormonelle Kontrazeptiva sind synthetische Kombinationspräparate, die vorwiegend Östrogene und Gestagene oder ausschließlich Gestagene enthalten. Der hormonelle Wirkungsmechanismus von Ovulationshemmern besteht darin, die GnRH-Ausschüttung (s. Kap. 5.1.3) zu unterdrücken, wodurch die Follikelreifung aufgrund einer reduzierten Sekretion des follikelstimulierenden Hormons FSH verhindert wird. Die maximale Konzentration des luteinisierenden Hormons LH bleibt zudem aus und hemmt damit die Ovulation. Die Östrogen- und Progesteronkonzentration wird auf einem gleichbleibenden Niveau gehalten, wodurch die Ovulation verhindert wird (Diedrich et al., 2007).

Ogleich die hormonelle Belastung durch Kontrazeptiva in den letzten Jahren sehr minimiert worden ist, werden Stimmveränderungen dennoch vor allem von Sängerinnen und Bühnenschauspielerinnen wahrgenommen. In seltenen Fällen, wie im Rahmen einer Unverträglichkeit des Präparates, kann sich eine Virilisierung der Stimme einstellen mit heiserem, brüchigem Stimmklang, leichtem Absinken der Sprechstimmlage und Einschränkungen beim Singen hoher Töne. Nach Absetzen des Präparats ist die Stimme nach kurzer Zeit wieder unauffällig.

In den letzten Jahren wurden zunehmend medizinische Studien durchgeführt, die sich mit den Auswirkungen der Kontrazeptiva auf die Stimmleistung befassen haben.

In einer von Morris et al. (2007) durchgeführten Studie wurde u.a. der Einfluss von Kontrazeptiva auf die voice onset time VOT bei der Plosivbildung von /b/ und /p/ untersucht<sup>16</sup>. Die Untersuchung ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den VOT-Werten, die innerhalb der Ovulations- und der prämenstruellen Phase erhoben wurden.

Amir et al. (2002, 2003) untersuchten in einer vergleichenden Studie den Einfluss von Kontrazeptiva auf verschiedene Stimmparameter. Als eines der Hauptergebnisse der Untersuchung zeigte sich, dass signifikante Unterschiede zwischen den Probandinnen mit Kontrazeptiva und der Kontrollgruppe ohne Hormonpräparate bei den akustischen Parametern Jitter (s. Kap. 9.1.2.3) und Shimmer (s. Kap. 9.1.2.4) nachgewiesen werden konnten. Beide Werte waren bei der Probandinnengruppe mit Kontrazeptiva signifikant niedriger als bei der Kontrollgruppe ohne Kontrazeptiva. Die Jitterwerte geben die Schwankungen der Frequenz wieder, die Shimmerwerte die Lautstärkeschwankungen. Als weiteres entscheidendes Untersuchungsergebnis zeigten sich bei der Gruppe mit Kontrazeptiva insgesamt geringere Stimmschwankungen im Zyklusverlauf. Diese geringen Stimmschwankungen sind auf das relativ stabile hormonelle Gleichgewicht, das durch die Einnahme von Kontrazeptiva zurückzuführen ist, bedingt. Amir et al. (2003) erläutern das Ergebnis ihrer Studie wie folgt: „Vocal stability among the women who use oral contraceptives was significantly better than among those who did not use oral contraceptives ( $P < .05$ ). Specifically, amplitude and frequency variations between successive vocal cycles were smaller in women using oral contraceptives in comparison with the control group” (S. 1) und an anderer Stelle wird ergänzt “Small variation of jitter and shimmer measurements are typically associated with more stable and healthier voice, whereas higher values are associated with disordered voice” (S. 4). Hingegen wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Gruppen hinsichtlich der durchschnittlichen Grundfrequenz erfasst.

---

<sup>16</sup> Unter VOT (voice onset time) wird die Zeitspanne zwischen der Verschlusslösung – wie in diesem Fall –des Plosivlautes und dem Stimmeinsatz verstanden.

## 6.5 Stimmstörungen infolge endokriner Erkrankungen

Stimmstörungen aufgrund endokriner Erkrankungen wie sie in den folgenden Ausführungen besprochen werden, treten selten auf und werden daher nur ergänzend erwähnt.

### 6.5.1 Stimmstörungen bei Erkrankungen der Hypophyse

Ergänzend ist hier das Störungsbild der Akromegalie zu nennen. Adenome der Hypophyse bedingen eine Überproduktion des Wachstumshormons, was zu einer Vergrößerung aller laryngealen Strukturen führt. Vor allem Verdickungen im Bereich der Aryknorpel und der aryepiglottischen Falten sind festzustellen. Die Prominentia laryngea tritt bei den betroffenen Frauen stark hervor. Die Virilisierungstendenzen sind deutlich. Die akromegale Dysphonie ist gekennzeichnet durch ein Absinken der Indifferenzlage sowie einen heiseren und gepressten Stimmklang. Das Timbre ist dunkel und die Tragfähigkeit eingeschränkt. Die Vergrößerung des supraglottischen Trakts bedingt zudem einen eher hohlen Stimmklang. Hinzu kommt häufig eine akromegale Dysglossie, eine Zungenhyperplasie, die Artikulationsauffälligkeiten verursacht.

### 6.5.2 Stimmstörungen bei Schilddrüsen- und Nebenschilddrüsenenerkrankungen

#### Stimmstörungen bei Schilddrüsenenerkrankungen

##### *Hyperthyreose*

Bei der Hyperthyreose handelt es sich um eine Schilddrüsenüberfunktion. Die Auswirkungen auf die Stimme sind gekennzeichnet durch einen tremolierenden, zittrigen Stimmklang, harte Stimmeinsätze und einen reduzierten Stimmumfang. Aufgrund des reduzierten laryngealen Muskeltonus zeigt sich eine schnelle Stimmermüdung. Luchsinger und Arnold (1970) weisen darauf hin, dass die Hyperthyreose mit einer reduzierten Vitalkapazität und Hochatmung einhergeht.

##### *Hypothyreose*

Die Schilddrüsenunterfunktion kann sich bereits im Kleinkindalter auf die Stimme auswirken. Die Stimmlippen sind hypoton und der Glottisschluss ist nicht vollständig; stroboskopisch zeigen sich Schwingungsirregularitäten.

Bei Frauen treten stimmliche Symptome in Form einer Absenkung der Sprechstimmlage und ein rauher, heiserer, teilweise gepresster und tremolierender Stimmklang auf.

#### Stimmstörung bei Nebenschilddrüsenerkrankungen

Stimmstörungen dieser Form sind äußerst selten. Je nach Ausprägung der Erkrankung kann es zu Laryngospasmen oder zu Dysphonien infolge einer Muskelschwäche kommen.

### **6.5.3 Stimmstörungen bei Nebennierenerkrankungen**

Exemplarisch für Auswirkungen bei Nebennierenerkrankungen auf die Stimme soll das adrenogenitale Syndrom erläutert werden, das durch eine erhöhte Androgenproduktion der Nebennierenrinde gekennzeichnet ist. Es handelt sich um einen angeborenen Enzymdefekt, in dessen Folge die Bildung der Steroidhormone gehemmt wird. Bei Mädchen zeigt sich dies in einer Virilisierung der Stimme und einem Mutationsprozess, der dem der männlichen Mutation gleicht (Luchsinger & Arnold, 1970).

### **6.5.4 Stimmstörungen bei Krankheiten der Keimdrüsen**

Der Großteil der Erkrankungen der Keimdrüsen bei Frauen geht nicht mit Veränderungen der Stimme einher. Jedoch im Falle von Ovarialtumoren bei Mädchen, die die Steroidproduktion beeinflussen, können stimmliche Veränderungen auftreten.

Ergänzend werden von einigen Autoren (Luchsinger & Arnold, 1970) in diesem Zusammenhang Störungsbilder aufgrund von Chromosomenabberationen genannt. Ein Beispiel hierfür ist das Ullrich-Turner-Syndrom, vom dem Mädchen betroffen sind und das durch das Fehlen funktionstüchtiger Keimzellen gekennzeichnet ist und mit Kleinwuchs einhergeht. Das Kehlkopfskelett ist unterentwickelt und die Stimmlippen sind kurz, wodurch der kindliche Stimmklang herrührt<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Auch in Hinblick auf den Bereich der Transsexualität spielen Stimmveränderungen in Folge einer Hormonbehandlung eine Rolle. Insbesondere die Veränderung der Sprechstimmlage ist bei Therapierelevanz Schwerpunkt der stimmtherapeutischen Behandlung.

## 7 Einfluss des Menstruationszyklus auf das phonatorische System

Die grundlegenden Ausführungen aller bisherigen Kapitel werden im Folgenden in Zusammenhang gebracht und miteinander in Beziehung gesetzt. Auf der Basis der folgenden Erläuterungen und Darstellungen gründet die durchgeführte Studie, die im zweiten Teil dieser Arbeit vorgestellt wird.

### 7.1 Erklärungsmodelle zyklusbedingter Stimmveränderungen

In der Literatur finden sich vorrangig medizinische Studien über zyklusbedingte Stimmveränderungen. Studien aus den Bereichen der Sprechwissenschaft und Sprachheilpädagogik hingegen haben diese Thematik und ihre Bedeutung innerhalb der Stimmbildung/Sprecherziehung und der Stimmtherapie wenig berücksichtigt. Der enorme Einfluss, den der Menstruationszyklus auf das phonatorische System in seiner Gesamtheit ausübt, wird anhand bisheriger Untersuchungen aufgezeigt. Im Folgenden werden einige dieser Studien vorgestellt, die sich zum einen mit Erklärungsmodellen zyklusbedingter Stimmveränderungen und/oder deren Erfassung in Form von Stimmparametern auseinandersetzen. Der Forschungsgegenstand wird aus verschiedenen Blickwinkeln differenziert betrachtet.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, reagiert der Kehlkopf als sekundäres Geschlechtsmerkmal sensibel auf hormonelle Einflüsse; dies wurde bereits anhand der Stimmentwicklung über die Lebensspanne aufgezeigt und ist durch medizinische Studien hinreichend belegt. Auch der Bereich der hormonell bedingten Stimmstörungen gibt Aufschluss darüber. Die Darstellung des Zusammenhangs der Zyklusphasen und deren Auswirkungen auf die laryngealen Strukturen stehen im Folgenden im Vordergrund.

Ausgehend von den Studien um Amir et al. (2002, 2003), die bereits in Kap. 6.4.3 angesprochen wurde, konnte dargelegt werden, dass die Stimmstabilität bei Frauen, die keine Hormonpräparate einnehmen, signifikant geringer ist; das bedeutet, dass die Schwingungsirregularitäten ausgeprägter sind. Von dieser Feststellung ausgehend kann direkt abgeleitet werden, dass sich hormonelle Veränderungen auf die Qualität der Stimme auswirken, was sich in akustischen Parametern darstellen lässt. Die hormonellen Schwankungen der Steroidhormone Östrogen und Progesteron, die den Menstruationszyklus maßgeblich beeinflussen, üben entsprechende histologische und morphologische Veränderungen auf die laryngealen

Strukturen aus. Sie wirken – abhängig von der Zyklusphase – in unterschiedlicher Ausprägung und Intensität auf die muskulären und mukösen Areale des Phonationstrakts ein.

Zyklische Veränderungen der Larynxmukosa und der Stimmlippenstruktur im Verlauf des Menstruationszyklus konnten anhand medizinischer Untersuchungen belegt werden. Hingegen ist aus medizinischer Sicht der genaue Modus, in welchem die Steroidhormone das phonatorische System – insbesondere die Stimme – beeinflussen, bislang nicht eindeutig geklärt.

Eine Vielzahl von Studien konnte belegen, dass die Veränderungen des phonatorischen Systems auf die zyklischen Schwankungen von Östrogen und Progesteron zurückgehen (Abitbol et al., 1999).

Abitbol et al. (1989) untersuchten erstmals in einer Langzeitstudie, ob und in welcher Form ein Zusammenhang von biologischen und/oder hormonellen Schwankungen und Stimmveränderungen besteht. Die Ergebnisse weisen auf erhebliche Auffälligkeiten im Prämenstrum hin. Stroboskopisch zeigen sich zum Zeitpunkt der Ovulation symmetrische Stimmlippenbewegungen, während im Prämenstrum Asymmetrien festzustellen sind. Vor allem die Struktur der Stimmlippen und der Mukosa zeigten Veränderungen. So konnten im Prämenstrum Schwellungen und knotenförmige Verdickungen v.a. im mittleren Drittel der Stimmlippen festgestellt werden, die sich während der Phonation verstärkten. In einer weiterführenden Studie konnten auch veränderte Jitterwerte während der Ovulation betrachtet werden.

Untersuchungen, die sich mit dem Vorhandensein und der Wirkungsweise der Hormonrezeptoren im Bereich der Stimmlippen beschäftigen, kommen zu sehr widersprüchlichen Ergebnissen. Um die Wirkungsweise zu erforschen, sind das Vorhandensein, die Lokalisation und die Wirkung der Hormonrezeptoren der Steroidhormone auf den Stimmbändern und den angrenzenden Gebieten grundlegend.

Aus der bereits zitierten Studie von Abitbol et al. (1989) geht hervor, dass die Hormonrezeptoren für Östrogen an den laryngealen Epithelzellen lokalisiert sind. Androgenrezeptoren wurden in der pharyngolaryngealen Mukosa und im Epithel gefunden. Die Autoren führen weiter aus: „The influence of steroid hormones and co-factors on the vocal cords depends on their binding to intracellular receptors. The quality and quantity of hormone, the density of hormone receptors, and the stability of the hormone-receptor complexes are factors that explain differences in cellular response of stimulation” (S. 161).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch die Untersuchungen von Newman et al. (2000). Die Autoren fanden anhand immunhistologischer Studien in Zellen des Stimmlippengewebes Hormonrezeptoren der Steroidhormone im Zellkern und im Zytoplasma; diese konnten im Drüsengewebe und im Epithel nachgewiesen werden. Aufgrund des Forschungsdesigns ging es dabei nicht um die genaue Lokalisation der Hormonrezeptoren, sondern primär um das Vorhandensein entsprechender Rezeptoren. Es zeigten sich signifikante Unterschiede in Hinblick auf das Alter und das Geschlecht der Probanden. So konnte bei Männern ein höherer Prozentsatz an Androgenrezeptoren im Zytoplasma gefunden werden. Bei jungen Frauen wurden mehr Progesteronrezeptoren im Zytoplasma des Epithels gefunden als bei älteren Frauen.

Weiterführende Erklärungsmodelle gehen davon aus, dass die Schwankungen der Steroidhormone das Level der Neurotransmitter in einer Weise verändern, dass die an der Phonation beteiligten motorischen und sensorischen Prozesse beeinflusst werden.

Schneider et al. (2007) konnten keine eindeutigen Nachweise für die Lokalisation der Hormonrezeptoren für Östrogen, Progesteron und Androgene im Bereich der Stimmlippen, v.a. der Larynxmukosa finden; lediglich unspezifische Reaktionen konnten anhand immunhistologischer Untersuchungen festgestellt werden. Ihre Untersuchungen stützen das Erklärungsmodell von Higgins und Saxman (1989), wobei Schneider et al. (2007) die intensive Durchführung weiterer Studien innerhalb dieses Themenkomplexes zur Stabilisierung der Ergebnisse befürworten. Higgins und Saxman (1989) gehen in ihrer Untersuchung davon aus, dass aufgrund der hormonellen Veränderungen das Stimmlippenvolumen im Prämenstrum zunimmt. Sie untersuchten das Schwingungsverhalten der Stimmlippen, genauer die Irregularitäten im glottalen Schwingungszyklus – erfasst anhand der Jitterwerte. Sie folgern aus den erhobenen Daten, dass die Hormonveränderungen der Steroidhormone sowie des luteinisierenden und des follikelstimulierenden Hormons die neuromuskulären Prozesse des phonatorischen Systems beeinflussen. Veränderungen in der Ausschüttung der Neurotransmitter bewirken folglich, dass die sensorischen und motorischen Prozesse beeinflusst werden und in der Konsequenz die stimmliche Kontrolle verändert wird. Ein in diesem Zusammenhang entscheidendes Ergebnis ist die Tatsache, dass die Jitterwerte zum Zeitpunkt der Ovulation von denen im Prämenstrum oder während der Menses abweichen; eine eindeutige Tendenz zu höheren oder tieferen Jitterwerten wurde jedoch nicht gefunden. Higgins und Saxman (1989) folgern daraus, dass zum Zeitpunkt der Ovulation die Konzentration der Neurotransmitter im Gehirn verändert ist. „As a result of rapid fluctuations

in ovarian hormone levels around the time of ovulation, the concentration of some neurotransmitters in the brain are altered” (S. 240). In ihrem Modell nennen sie mögliche Mechanismen, die die Veränderungen der Jitterwerte erklären können: “Neural inhibition of extrapyramidal motor neurons in laryngeal musculature is reduced. The rate of neural transport to and from higher-order control mechanisms is altered. The sensitivity of laryngeal mechanoreceptors are reduced” (S. 240). Higgins und Saxman nehmen an, dass die Steroidhormone das Niveau derjenigen Neurotransmitter reduzieren, die die Muskelaktivität hemmen, was zu einer Zunahme der Aktivität der Motoneuronen führt. Der zweite Aspekt betrifft die Geschwindigkeit der neuronalen Übertragung. Es wird davon ausgegangen, dass die neuronale Übertragung durch die zyklischen Schwankungen der Steroidhormone beeinflusst wird. Dies wiederum wirkt sich u.a. auf die präphonatorische laryngeale Einstellung aus, jene phonatorische Kontrolle, die sich unmittelbar vor dem Stimmeinsatz einstellt. Auch die Reaktionen der Mechanorezeptoren, die auf subglottischen Druck, Muskel- und Gelenkbewegungen etc. reagieren, werden beeinflusst. Der dritte Aspekt betrifft die sensorische Komponente. Die Autoren gehen davon aus, dass Östrogen und Progesteron die Reizschwelle der Mechanorezeptoren im Larynx durch die Schwankungen der Neurotransmitterkonzentration beeinflussen.

Unklar ist, welches und ob nur ein Steroidhormon dominant ist. Der Einfluss des Progesterons und des luteinisierenden Hormons könnten hier entscheidend sein.

Aus den Untersuchungen kann der Schluss gezogen werden, dass neben den strukturellen Veränderungen der Larynxmukosa durch die Steroidhormone auch das Schwingungsverhalten der Stimmlippen und damit die phonatorische Kontrolle und die Stimmstabilität durch die Konzentration und die Veränderungen der Neurotransmitterlevel beeinflusst wird. „Ovarian hormones could affect laryngeal behaviour through the alteration of neurotransmitter levels“ (Sung et al., 2001).

## 7.2 Wirkung der Steroidhormone

Auch wenn die Wirkungsweise der Steroidhormone auf das phonatorische System bislang nicht eindeutig geklärt ist, besteht Einigkeit darüber, dass die Schwankungen der Hormonkonzentrationen von Östrogen und Progesteron im weiblichen Funktionszyklus die laryngealen Strukturen und den Phonationsapparat beeinflussen. Die Dominanz des Progesterons wird sowohl von Higgins und Saxman (1989) als auch von Abitbol et al. (1999) gestützt. In besonderer Weise konnte die Wirkung der Steroidhormone auf die Drüsenzellen im Larynx

und die Veränderungen der Larynxschleimhaut belegt werden. Durch Abstriche am Stimmlippenepithel konnten histologische Unterschiede in den Zyklusphasen festgestellt werden (Amir et al., 2003). Die Stimmlippen sind mit drei Schichten subepithelischen Gewebes überzogen und schließlich dem Oberflächenepithel, das teils aus Flimmer-, teils aus Plattenepithel besteht (s. Abb. 12). Zudem enthalten die Stimmlippen elastische Fasern aus Kollagen, die für die Stimmlippenbeweglichkeit erforderlich sind. Für den histologischen Charakter der Larynxmukosa ist das in der jeweiligen Zyklusphase dominierende Steroidhormon ausschlaggebend. Das den Stimmlippen aufgelagerte, geschichtete, schuppige Epithel sowie die subepithelischen Schichten verändern ihre Struktur in Abhängigkeit von der dominierenden Hormonkonzentration. Während der ersten Zyklushälfte, der Follikelphase, bleibt der Progesteronwert auf einem relativ konstanten Niveau, während das Östrogen allmählich zunimmt. Stärkere Hormonveränderungen zeigen sich in der Lutealphase. Besonders betroffen ist die prämenstruelle Phase. Das prämenstruelle Syndrom kann bereits sieben bis zehn Tage vor der Menstruation einsetzen und geht mit körperlichen und psychischen Symptomen einher.

Die synergistische Wirkung der Steroidhormone wird im Folgenden kurz beschreiben. Eine erhöhte Östrogenkonzentration führt zu histologischen Veränderungen der Oberflächenstruktur des Epithels, während das Progesteron Veränderungen der tiefer liegenden Gewebsschichten auslöst.

#### Wirkung des Östrogens

Während der ersten Zyklushälfte zeigt sich eine allmähliche Zunahme des Östrogens, das seine höchste Serumkonzentration kurz vor der Ovulation hat, um dann erheblich abzusinken. Die Wirkung des Östrogens auf die laryngealen Strukturen zeigt sich in einem hypertrophischen Effekt, d.h. eine Zunahme der Sekretion durch die Drüsenzellen, die in unmittelbarer Nähe oberhalb und unterhalb der Stimmlippen lokalisiert sind, was eine erhöhte Schleimproduktion bedeutet. Das Absinken des Östrogens in der prämenstruellen Phase bewirkt Gefäßerweiterungen und aufgrund chemischer Vorgänge in den Zellen der Larynxschleimhaut die Entstehung submuköser Ödeme, die typisch für das Prämenstrum sind. Bei Ödemen handelt es sich um Schwellungen infolge einer Ansammlung wässriger Flüssigkeiten. Ödeme im Bereich der Stimmlippen erhöhen die Gewebsmasse bzw. das Stimmlippenvolumen.

### Wirkung des Progesterons

Das Progesteron, das in der ersten Zyklushälfte eine geringe Serumkonzentration aufweist, zeigt in der Lutealphase eine erhebliche Zunahme und erreicht seinen Peak aufgrund der Hormonsekretion durch das Corpus luteum am 21./22. Zyklustag.

Medizinische Studien (Amir et al., 2002) konnten zeigen, dass unter dem Einfluss des Progesterons den laryngealen Strukturen Wasser entzogen wird, was insbesondere die Trockenheit der Stimmlippen bedingt. Ein weiterer Effekt ist die Verringerung der Drüsensekretion; die Konsistenz des laryngealen Sekrets wird zäher und der Säuregehalt nimmt zu.

Ein weiterer Aspekt des beidseitigen Regelmechanismus von Östrogen und Progesteron betrifft die Permeabilität der Kapillaren, die einen Einfluss auf die Veränderungen der Stimmlippen ausüben. „Estrogens increase capillary permeability and allow the passage of intracapillary fluids to the interstitial space. Progesterone decreases and even inhibits capillary permeability, thus trapping the extracellular fluid out of the capillaries and causes premenstrual dysphonia“ (Abitbol et al., 1999).

### Störungen der Singstimme

In der Literatur sind bislang zwei Formen zyklusbedingter Auffälligkeiten bekannt, sie sich auf die Singstimme beziehen. Hierzu zählen die prämenstruelle Dysodie (Laryngopathia praemenstrualis) und die menstruelle Dysodie.

Ca. eine Woche vor der Menstruationsblutung kann eine prämenstruelle Dysodie auftreten; es handelt sich um eine Störung der Singstimme. Sie geht meist einher mit erheblichen psychischen, emotionalen und/oder körperlichen Veränderungen, die einen Symptomkomplex beschreiben, der zusammengefasst als prämenstruelles Syndrom beschrieben wird. Davis und Davis (1993) setzten sich mit den körperlichen und psychischen Symptomen des PMS bei Sängerinnen ausführlich auseinander und erstellten eine Rangfolge der auftretenden Symptome<sup>18</sup>. Eines davon ist die prämenstruelle Dysodie, die in ihrem Erscheinungsbild von

---

<sup>18</sup> Die Ätiopathogenese von PMS ist bislang medizinisch nicht eindeutig geklärt. Auslösend ist ein multifaktorielles Gefüge, das auf das Ungleichgewicht der Steroidhormone zurückzuführen ist (Diedrich et al., 2007). An dieser Stelle sei hinzuzufügen, dass die besonders starke Ausprägung des PMS als prämenstruelle dysphorische Störung (PMDS) bezeichnet wird. Im englischen Sprachraum hat sich in der Psychologie/Psychiatrie der Begriff „late luteal phase dysphoric disorder“ etabliert, das im Deutschen als Lutealphasen-Dysphorie bezeichnet wird.

einem heiseren, rauhen, in der Tragfähigkeit massiv eingeschränkten Stimmklang geprägt ist. Charakteristisch sind Tonabbrüche, ein eingeschränkter Stimmumfang im Bereich der oberen Stimmgrenze und Auffälligkeiten in der Stimmdynamik und Intonationsfähigkeit der Stimme. Die Registerwechsel erfolgen oft hörbar und fallen den Sängerinnen schwer. Auch die Schnelligkeit der Stimmlippeneinstellung ist vermindert.

Ätiopathogenetisch sind Schleimhautschwellungen im Kehlkopfbereich und im Bereich der Aryknorpel infolge vermehrter Wassereinlagerungen festzustellen sowie veränderte Schleimauflagerungen. Auch Blutungen im Bereich der Stimmlippen können auftreten. Ursächlich stellt wieder das Hormon Progesteron (s. Kap. 5.1.3.3) den auslösenden Faktor dar. Auch eine Stimmlippenhyperämie ist festzustellen. Die Stimmlippenspannung ist reduziert im Sinne einer hypofunktionellen Symptomatik.

Im physiologischen Sinne ist unklar, ob es sich bei der menstruellen Dysodie um ein eigenes Störungsbild oder um die Fortführung der prämenstruellen Dysodie während der Menstruation handelt. Nach Wirth (1995) ist vor allem bei Sängerinnen zu beachten, dass übermäßige Stimmbelastung in diesem Fall zu massiven Folgeschäden führen kann.

Die menstruelle Dysodie ist gekennzeichnet durch ein Absinken der Stimmlage bei gleichzeitiger Einschränkung der Höhe. Auffällig sind wiederum die eingeschränkte Tragfähigkeit und Leistungsfähigkeit der Stimme. Auch Druck- und Engegefühl sowie massive Trockenheit und Verschleimung sind Charakteristika dieser Stimmeinschränkung. Hinzu kann erschwerend eine reduzierte Atemleistung kommen, so dass die im Gesang entscheidende Stützfunktion nicht stabil gehalten werden kann.

Ursächlich sind diese Veränderungen wiederum zurückzuführen auf laryngeale Veränderungen, v.a. Schleimhautschwellungen und Schleimabsonderungen. Auch massive Ödeme und Rötungen der Stimmlippen sind häufig festzustellen. Stroboskopisch ist bei stärkerer Ausprägung des Störungsbildes eine Glottisinsuffizienz in Form eines eingeschränkten Stimmlippenschlusses zu diagnostizieren.

### Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich unter dem Einfluss von Progesteron und Östrogen die histologische Struktur der Larynxmukosa ändert. Darüber hinaus wird auch das Schwingungsverhalten der Stimmlippen beeinflusst. Besonders zwei Zeitpunkte bzw. Zeitphasen sind betroffen, bei denen erhöhte Hormonschwankungen auftreten: die Ovulation

und das Prämenstrum. Die Sekretzunahme zum Zeitpunkt der Ovulation – bedingt durch den Östrogenpeak – hat keine gravierenden Veränderungen der Stimme zur Folge. Ab dem dritten bis vierten Zyklustag bis zur Ovulation und auch innerhalb der frühen Lutealphase sind Stimmeinschränkungen insgesamt wenig bis kaum zu beobachten. Die Stimmlippenbewegungen zeigen in dieser Phase ein symmetrisches Schwingungsverhalten; auch Ödeme, Wasserretentionen und Rötungen sind in dieser Phase bei gesunden Frauen nicht oder erheblich geringer vorhanden. Die weiblichen Hormonveränderungen im Zyklus betrachtend zeigt sich, dass sich das gleich bleibende Niveau von Östrogen und Progesteron während der Follikelphase sowie des follikelstimulierenden Hormons FSH und des luteinisierenden Hormons LH günstig auf die Stimmqualität auswirken und keine stimmbeeinträchtigenden Erscheinungen bewirken. Der Peak von Östrogen, FSH und LH um die Ovulation scheint sich stimmlich kaum auszuwirken. Die Angaben von Sängerinnen weisen in verschiedene Richtungen, von besonders tragfähiger Stimme mit weichem Timbre bis hin zu leichten Einschränkungen, die aber unmittelbar nach der Ovulation vorbei sind. Medizinisch konnten in dieser Phase keine stimmeinschränkende Faktoren des phonatorischen Systems gefunden werden.

Deutlich massiver wirken sich die Hormonschwankungen der Steroidhormone auf das phonatorische System in der prämenstruellen Phase aus. Nach Abitbol et al. (1999) setzen die stimmlichen Symptome zwei bis zehn Tage vor Beginn der Menses ein; besonders aber der Zeitraum vom 24. bis zum 28. Zyklustag beschreibt die auffälligsten Symptome. Mit Beginn der Periode nehmen die stimmlichen Veränderungen ab. Die Symptomatik kann jedoch noch bis zum vierten Tag des folgenden Zyklus andauern. All diese Faktoren im Zusammenhang mit dem Menstruationszyklus betrachtet, sprechen dafür, dass Progesteron den größten Einfluss auf die Stimmveränderungen hat. Diese Annahme wird von Abitbol et al. (1999) und Higgins und Saxman (1989) gestützt.

Auffälligkeiten zeigen sich in der Larynxmukosa; so werden Ödeme und Schwellungen im hinteren Drittel der Stimmlippen sowie Rötungen und Erweiterungen kleiner Adern vermehrt festgestellt. Die Drüsentätigkeit und damit die Sekretproduktion unterliegen ebenfalls erheblichen Schwankungen. Das Stimmlippenvolumen ist erhöht. Dies wirkt sich unmittelbar auf das Schwingungsverhalten der Stimmlippen aus. Der Tonus der inneren Larynxmuskulatur – insbesondere des *M. vocalis* – ist reduziert. Die Symmetrie im Schwingungsverhalten der Stimmlippen ist deutlich herabgesetzt (Abitbol et al., 1989). Ein unvollständiger Glottisschluss im hinteren Drittel der Stimmlippen kann ebenfalls auftreten. Hypofunktionelle

Symptome sind zu beobachten. Auch eine Kompensation im Sinne einer sekundären Hyperfunktion ist festzustellen. Die Stimmqualität und die phonatorische Kontrolle sind eingeschränkt. Insbesondere die Stimmstabilität ist betroffen. Für Sängerinnen ist in der Phase des Prämenstrums insbesondere die mangelnde Fähigkeit zur Feineinstellung der Stimmlippen problematisch.

Ein weiterer Aspekt ist in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen. Wie in den Kapiteln 1 und 2 erläutert, ergänzen und bedingen sich Phonation und Respiration. Störungen und Einschränkungen der einen Komponente wirken sich unmittelbar auf die andere aus. Sekundärsymptomatisch kann auch die Atmung als Folge der Stimm Einschränkungen betroffen sein. Die Schwankungen hinsichtlich der Stimmlippenbeweglichkeit und der Histologie der Stimmlippen wirken sich auch auf das respiratorische System aus; es zeigt sich die Tendenz zur Thorakal- und/oder Klavikularatmung. Zum Ausgleich der veränderten Verhältnisse des Phonationsapparats kann das respiratorische System mit einer Erhöhung des subglottischen Drucks reagieren. Durch die Zunahme des Luftdrucks werden die Stimmlippen in erhöhten Tonus versetzt, was eine erhöhte Kontraktion der laryngealen Muskulatur bedingt und sich in Form einer hyperfunktionellen Dysphonie darstellt. Dies kann zu einer Manifestierung der Hochatmung führen; die Aufrechterhaltung der costo-abdominalen Atmung fällt schwer. Wie bereits erläutert kann sich infolge der veränderten Atemart das Verhältnis von Ein- und Ausatmung verändern und mit einer verkürzten Phonationsdauer einhergehen. Dies wird von Sängerinnen als massive Einschränkung wahrgenommen. Vor allem Berufssprecherinnen stellen häufig eine Veränderung des Sprech-Atem-Rhythmus fest, der als ungleichmäßig empfunden wird.

### 7.3 Themenbezogene Studien

Im Folgenden werden einige Studien vorgestellt, die den Einfluss der Hormone belegen und aus verschiedenen Blickwinkeln beleuchten.

Der Forschungsgegenstand der Studie um Chae et al. (2001) bestand darin, nachzuweisen, dass das Vorliegen des prämenstruellen Syndroms ausgeprägte Stimmveränderungen in Form einer Einschränkung der Stimmqualität zur Folge hat. Davon abgeleitet galt es festzustellen, ob das Ausmaß der Stimmveränderungen als Prädiktor des prämenstruellen Syndroms (PMS) angesehen werden kann. Bei Frauen, bei denen kein PMS vorlag, konnten keine signifikanten

Unterschiede der Jitterwerte in der Follikel- gegenüber der prämenstruellen Phase festgestellt werden. Es zeigte sich jedoch die Tendenz, dass Frauen, die an PMS litten, im Prämenstrum signifikant erhöhte Jitterwerte aufwiesen. Weiter wurde festgestellt, dass kein proportionaler Zusammenhang zwischen der Ausprägung von PMS und dem Ausmaß der Stimmveränderung gefunden werden konnte.

Die Studie um Meurer et al. (2007) befasste sich mit dem Einfluss des Menstruationszyklus auf stimmliche und sprachliche Variablen bei jungen Frauen in der Pubertät. Es wurden stimmliche und artikulatorische Parameter, wie Stabilität der Grundfrequenz und der Formanten, sowie die Diadochokinese und suprasegmentale Sprechparameter, wie Vokalbildung, Rhythmus und Sprechgeschwindigkeit einmal während der Follikel- und einmal während der Lutealphase erhoben.

Es konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Formanten und der Grundfrequenz festgestellt werden; jedoch zeigte sich in diesem Zusammenhang eine ähnliche Tendenz wie in der Studie um Sung et al. (2001). Bei den Probandinnen, die an körperlichen und psychischen Symptomen des PMS litten, zeigten sich in der Lutealphase etwas erhöhte Werte bezüglich der Stimmschwankungen, also eine geringere Stimmstabilität. Was die Diadochokinese betrifft so konnten keine Unterschiede in Rhythmus und Geschwindigkeit während der beiden Phasen gefunden werden. Auch hinsichtlich der suprasegmentalen Parameter zeigten sich keine erheblichen Abweichungen während der beiden Phasen. Der verbale Ausdruck von Emotionen wies auf keine signifikanten Veränderungen hin.

Amir et al. (2003) konnten belegen, dass geringere Jitter- und Shimmerschwankungen, d.h. niedrige Jitter- und Shimmerwerte, mit einer stabileren Stimmqualität einhergehen. Frauen, die Kontrazeptiva einnehmen, haben im Vergleich zu Frauen, die keine Hormonpräparate einnehmen, geringere Jitter- und Shimmerwerte. Jitterwerte geben die Frequenzschwankungen wieder, Shimmerwerte die Lautstärkeschwankungen. Da durch Kontrazeptiva ein konstanter Hormonlevel gehalten wird, sind die Stimmveränderungen nicht so ausgeprägt.

Ryan und Kenny (2007) führten eine Studie über den Einfluss des Menstruationszyklus auf die Singstimme durch. Dabei füllten Gesangsstudentinnen täglich einen Fragebogen bezüglich körperlicher und psychischer Symptomatik sowie über stimmliche Veränderungen aus. Zudem führten die Probandinnen ein Tagebuch, in dem sie alle Veränderungen dokumentierten.

Einige der Sängerinnen nahmen Stimmproben auf, die dann Sängern und Gesangspädagogen zur Beurteilung vorgespielt wurden und die diese der entsprechenden Zyklusphase zuordnen sollten.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass – übereinstimmend mit bisher genannten Studien – Probandinnen, die Kontrazeptiva einnehmen, ihre Stimmqualität zyklusübergreifend höher einstufen als Sängerinnen, die keine hormonellen Präparate einnehmen. Ein weiterer Zusammenhang zeigte sich in der Korrelation der Stimmung (erfasst anhand der Fragebogenscores) und der subjektiv empfundenen Stimmeinschätzung. Eine traurige Grundstimmung wird mit niedrigerer Stimmqualität gleichgesetzt.

Die Beurteilung der Stimmen, die am ersten Zyklustag und in der Zyklusmitte aufgenommen wurden, zeigt, dass Sänger die Stimmqualität sicherer erfassen und genauer beurteilen bzw. eine exaktere Zuordnung zur Zyklusphase vornehmen können als Gesangspädagogen.

Auch Davis & Davis (1993) untersuchten in ihrer Studie den Einfluss des prämenstruellen Syndroms auf die Singstimme, indem sie die dominierenden Symptome dieser Phase erfassten. Anhand eines Fragebogens wurden die Aussagen von 104 Probandinnen ausgewertet. Festzuhalten ist, dass Probandinnen unabhängig davon in die Studie aufgenommen wurden, ob sie Kontrazeptiva oder andere hormonelle Präparate einnahmen oder nicht. Die Autoren erfassten 33 generelle – körperliche wie psychische Symptome – und drei auf die Stimme bezogene dominante Symptome. Zu diesen zählen Einschränkungen zum einen beim Singen hoher Töne und zum anderen bei der stimmlichen Flexibilität bspw. in Hinblick auf die Tonhöhereinstellung und die Registerübergänge. Als drittes entscheidendes Symptom werden Veränderungen in der Stimmqualität angegeben; dies betrifft sowohl die erhöhte Tendenz zur Behauchung und Heiserkeit, was zu einer eingeschränkten Tragfähigkeit der Stimme führt.

In diese Richtung weisen auch die Aussagen der Sängerinnen, die an der vorliegenden Studie teilgenommen haben (s. Kap. 11.2).

Eine Studie an der State University of New York um Pipitone und Gallup (2008) untersuchte die Wirkung von Frauenstimmen, die zu vier Zeitpunkten im Zyklus aufgenommen und Männern wie Frauen vorgespielt wurden. Dabei zeichnete sich ab, dass die Stimme einer Frau, die keine Hormonpräparate einnimmt, während der späten Follikel- bzw. der Ovulationsphase

als schöner und attraktiver empfunden wird als zu den Vergleichszeitpunkten. Bei Probandinnen, die Kontrazeptiva einnehmen, konnte dies nicht nachgewiesen werden.

## *Zweiter Teil*

### **Empirische Untersuchung**

---

Die in Kap. 7 dargestellten Zusammenhänge zwischen dem Menstruationszyklus und dessen Einfluss auf das phonatorische System sind der Ausgangspunkt, auf dem die vorliegende Studie basiert. Der Grundgedanke des Projekts besteht darin, einen Nachweis zu erbringen, ob und in welcher Form zyklusbedingte Stimmveränderungen im akustischen Analyseverfahren der Stimmfeldmessung erfasst werden können und welche Stimmparameter eindeutig und aussagekräftig sind, um diese zu erfassen. Dabei wird der Einfluss des Messzeitpunkts auf verschiedene Stimmparameter untersucht.

Ein weiterer Schwerpunkt bezieht sich auf die subjektive Wahrnehmung des phonatorischen Systems anhand einer Fragebogenerhebung. Der Einfluss des Status steht hier im Vordergrund. In einer statusorientierten Analyse geht es um die Feststellung, ob und in welcher Form die Leistungsfähigkeit resp. der Ausbildungsgrad einer Stimme einen Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung ausüben. Darüber hinaus werden Übereinstimmungen zwischen der subjektiven Beurteilung der Stimme und den objektiven Stimmparametern, die im Stimmfeld erfasst wurden, untersucht, sofern ein Einfluss des Messzeitpunkts nachgewiesen werden kann.

Die Zielperspektiven, auf die die Untersuchung ausgerichtet ist, bestehen im Transfer medizinischer Grundlagen und Erkenntnisse auf den stimmtherapeutischen und stimmbildnerischen Bereich. Zudem wird die Stimmfeldmessung als diagnostisches Verfahren und hinsichtlich ihrer Interpretationsmöglichkeiten und Aussagekraft in Bezug auf zyklisch bedingte Stimmveränderungen kritisch beleuchtet.

Die Thematik wird innerhalb des empirischen Teils in vier Kapiteln aufgearbeitet.

Zu Beginn werden in Kap. 8 das Untersuchungsdesign des Projekts vorgestellt, der Forschungsgegenstand präzisiert und die Arbeitshypothesen erläutert.

Es folgt die ausführliche Darstellung der Untersuchungsmethoden, wobei insbesondere den Ausführungen über die Stimmfeldmessung Raum gegeben wird (s. Kap. 9).

Der dritte Bereich (Kap. 10) beinhaltet die Hypothesenprüfung und fasst die Untersuchungsergebnisse zusammen. Die Interpretation der Ergebnisse u.a. in Hinblick auf den theoretischen Hintergrund wird in Kap. 11 ausführlich dargestellt.

## 8 Untersuchungsdesign, Fragestellung und Hypothesen

### 8.1 Untersuchungsdesign und Präzisierung der Fragestellung

Abgeleitet von den theoretischen Grundgedanken stehen folgende Fragestellungen im Mittelpunkt des Projekts.

#### Präzisierung der Fragestellung zum Forschungsgegenstand

In einer ersten Fragestellung soll geklärt werden, ob zyklusbedingte Stimmveränderungen mittels eines akustischen Analyseverfahrens erfasst werden können. Darüber hinaus besteht eine weitere Zielsetzung darin, diejenigen stimmlichen Parameter und/oder Parameterkombinationen festzustellen und zu isolieren, die in markanter und eindeutiger Weise auf zyklusbedingte Stimmveränderungen hinweisen.

Die Stimmfeldmessung wurde als akustisches Analyseverfahren ausgewählt, da es als Standardverfahren zur Diagnostik und Verlaufskontrolle in stimmtherapeutischen Praxen angewandt wird, effektiv in der Handhabung ist, hochpräzise Daten liefert und die Messergebnisse aussagekräftige Interpretationen zulassen. Zudem misst dieses Analyseverfahren stimmliche Parameter, die zur Erfassung von Stimmveränderungen – unabhängig von der Ätiopathogenese – entscheidend sind und eine aussagekräftige intraindividuelle und interindividuelle Vergleichbarkeit ermöglichen. Da die Stimmfeldmessung in stimmtherapeutischen Praxen und auch in Ausbildungsstätten für Stimmbildung/Sprecherziehung etabliert ist, bietet dies die Möglichkeit – unter der Voraussetzung signifikanter Ergebnisse innerhalb dieser Studie – diese auf stimmbildnerische und stimmtherapeutische Anforderungen zu übertragen, in den therapeutischen Alltag verstärkt zu integrieren und bei der Diagnostik und Verlaufskontrolle zu berücksichtigen. Angewandt wurde das unter Kap. 9.1.4 vorgestellte Programm zur Stimmfeldmessung; der Ablauf der Stimmfeldmessung wird in Kap. 9.1.5.2 erläutert.

Die Probandinnen wurden in drei Gruppen eingeteilt, die sich durch Ausbildung und Leistungsfähigkeit der Stimme unterscheiden. Die Beschreibung der Stichprobe wird in Kap. 8.2 erläutert.

Innerhalb dieses Komplexes wird darüber hinaus auch der Frage nachgegangen, ob zyklusbedingte Stimmveränderungen unabhängig von der Leistungsfähigkeit der Stimme auftreten und entsprechend bei allen Gruppen im Stimmfeld nachgewiesen werden können. Es

soll abgeklärt werden, ob die Einflüsse des Menstruationszyklus sich bei ausgebildeten Stimmen in veränderter Form und Ausprägung darstellen als bei weniger leistungsfähigen Stimmen. Ein interindividueller Vergleich der Stimmfelder soll darüber Aufschluss geben (s. Kap. 11.1).

Sofern sich zyklusbedingte Stimmveränderungen im Stimmfeld nachweisen lassen, hätte dies einen Einfluss auf die Diagnostik bzw. den Einsatz der Stimmfeldmessung innerhalb des diagnostischen Vorgehens; die Interpretation der Stimmfeldmessung bei weiblichen Stimmen würde in ein verändertes Licht gerückt werden.

In einer zweiten Fragestellung wird die subjektive Wahrnehmung von Frauen bezüglich zyklischbedingter Stimmveränderungen thematisiert. Anhand eines Fragebogens wird erhoben, ob die Probandinnen Stimmveränderungen und/oder Unterschiede im laryngo-pharyngealen Bereich wahrnehmen und in welcher Ausprägung dies geschieht. Der Einfluss des Status auf die Eigenwahrnehmung wird untersucht. Dabei werden die drei Probandinnengruppen miteinander verglichen, die sich in der Leistungsfähigkeit der Stimme und dem Ausbildungsgrad unterscheiden. Die Fragestellung wird dahingehend ergänzt, ob und in welcher Form Probandinnen mit einer Gesangsausbildung über eine andere resp. präzisere Wahrnehmung für ihre Stimme und deren Veränderungen verfügen als Probandinnen ohne entsprechende Erfahrungen in den Bereichen Stimmbildung und Sprecherziehung. Es wird davon ausgegangen, dass die Sängerinnen eine präzisere Wahrnehmung für ihre eigene Stimme haben als Berufssprecherinnen und Nicht-Berufssprecherinnen. Hieraus können wiederum Konsequenzen für die Bereiche Stimmbildung und Sprecherziehung abgeleitet werden.

In Kap. 11.2 wird ergänzend erläutert, welche stimmlichen laryngo-pharyngealen Symptome in besonderer Weise von den Probandinnen wahrgenommen werden.

### Forschungsdesign

Abgeleitet aus den medizinischen Erkenntnissen, die einen Einfluss des Menstruationszyklus auf die weibliche Stimme – in besonderer Weise in Phasen hormoneller Schwankungen – feststellen, wurden Probandinnen zu drei verschiedenen Messzeitpunkten im Menstruationszyklus untersucht, wobei jeweils eine Stimmfeldmessung durchgeführt und der Fragebogen zur Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen ausgefüllt wurden.

Die Messzeitpunkte wurden übereinstimmend mit den Phasen des Menstruationszyklus festgelegt. Folgender Zeitplan lag den Messungen zugrunde (s. Tab. 5):

Messung	Zyklusphase	Zyklustag
1. Messung $t_1$	während der Menstruation	1. bis 4. Zyklustag
2. Messung $t_2$	in der späten Follikel- oder Ovulationsphase	9. bis 16. Zyklustag
3. Messung $t_3$	in der prämenstruellen Phase	24. bis 30. Zyklustag

**Tab. 5: Zeitplan für die Stimmfeldmessungen**

Die entscheidenden Stimmveränderungen werden bei der Gegenüberstellung der Werte der Follikel- bzw. Ovulationsphase und der prämenstruellen Phase erwartet. Wie in Kap. 5 erläutert wurde, sind die hormonellen Konzentrationen in diesen Zyklusphasen sehr unterschiedlich, was sich auf das phonatorische System auswirkt. Daher ist die dritte Messung von besonderer Bedeutung. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse erfolgt v.a. in Hinblick auf die zweite Messung während der späten Follikelphase bzw. während der Ovulation. Die erste Messung ergänzt die Erfassung der Zyklusphasen und wird ebenfalls im Vergleich zu  $t_2$  und  $t_3$  betrachtet. Die Zeiträume (Zyklustage), in denen die Stimmfeldmessungen durchgeführt wurden, variieren individuell und sind vom Menstruationszyklus der einzelnen Probandin abhängig. Innerhalb der Studie fanden die Messungen innerhalb der oben genannten Zeiträume statt.

Zu den drei Untersuchungszeitpunkten wurde jeweils eine Stimmfeldmessung durchgeführt, wie in Kap. 9.1.5.2 dargestellt wird. Unmittelbar nach der Messung wurde der Fragebogen von den Probandinnen ausgefüllt. Die Messungen fanden zur gleichen Tageszeit, im gleichen Therapieraum einer stimm- und sprachtherapeutischen Praxis statt. Die Probandinnen wurden aufgefordert, sich vor den Stimmfeldmessungen möglichst gleichen Stimm- und Sprechanforderungen auszusetzen, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen.

Um einen „Lerneffekt“ bezüglich der Stimmfeldmessung festzustellen und für die Studie auszuschließen, wurde anhand einer Kontrollgruppe im Vorfeld abgeklärt, ob bei mehrfacher Wiederholung der Stimmfeldmessung eine Verbesserung der Ergebnisse eintritt. Dies wäre zu erwarten, da bei der ersten Durchführung häufig noch Hemmungen bei der Produktion hoher und lauter Töne bestehen, was zu verfälschten Ergebnissen hinsichtlich des physiologischen Stimmumfangs führen würde. Während der ersten Durchführung besteht zudem häufig noch

Unsicherheit bezüglich des Ablaufs der Stimmfeldmessung. Es stellte sich in der Vorstudie heraus, dass nach Durchführung einer Testmessung die Probandinnen mit dem Ablauf vertraut waren und sich bei wiederholten Messungen keine Veränderungen ergaben, die auf Unsicherheiten im Ablauf oder Hemmungen in der Tonproduktion zurückzuführen sind.

Resultierend aus der Vorstudie wurde für die Durchführung der Studie folgendes Vorgehen abgeleitet: nach einem ausführlichen Gespräch hinsichtlich der Durchführung und des Ablaufs der Untersuchung wurde mit den Probandinnen im Vorfeld eine Testmessung durchgeführt, die nicht in die Auswertung aufgenommen wurde, sondern lediglich dem Kennenlernen und Ausprobieren der stimmlichen Anforderungen diente.

Alle Stimmfelder wurden im Probandenmanager des Stimmfeldprogramms gespeichert.

## 8.2 Beschreibung der Stichprobe

Die Studienteilnehmerinnen stellten sich aufgrund von Anfragen in Opernhäusern, professionellen Chören, Universitäten, Schulen und anderen Einrichtungen zur Verfügung. Aufgrund des Studiendesigns wurden die Probandinnen im Vorfeld in drei Gruppen eingeteilt – orientiert an der Einteilung von Kaufman und Isaacson (1991) und Stemple (1993). Die Autoren unterteilen Berufe in Abhängigkeit vom Ausmaß und der Intensität der stimmlichen Anforderungen in vier Levels.

Level 1 umfasst Hochleistungsstimmerufe sog. *elite vocal performers*, Sänger und Schauspieler, bei denen einer geringer Grad an Stimmveränderungen und Stimmeinschränkungen beruflich beeinträchtigend wirken.

Level 2 subsumiert die Berufssprecher, *professional voice users*; dazu zählen Dozenten, Lehrer und Moderatoren, bei denen mittlere Stimmeinschränkungen die berufliche Tätigkeit beeinflussen und gefährden.

Level 3 umfasst die Nicht-Berufssprecher *non-vocal professionals*, zu denen z.B. Rechtsanwälte und Mediziner gehören, deren Berufsausübung durch leichte Stimmbelastung nicht gefährdet ist.

Zuletzt folgen die *non-vocal non professionals*, d.h. Personen, für deren Berufsausübung der Stimmbedarf nicht erforderlich ist und die auch trotz Stimmstörung keine berufliche Beeinträchtigung erfahren (Schneider & Bigenzahn, 2007).

Eine Modifikation dieser Abstufung nach Kaufman und Isaacson (1991) sowie Stemple (1993) liegt der Einteilung der Probandinnen dieser Studie zu Grunde. Die Probandinnen

wurden abhängig vom Ausbildungsgrad der Stimme den Gruppen zugeordnet. Entscheidende Kriterien für die Einteilung in Gruppe 1 waren das Vorhandensein einer Gesangsausbildung und intensiver, regelmäßiger Umgang mit der Singstimme. In Gruppe 2 wurden Probandinnen ohne Gesangsausbildung aufgenommen. Entscheidend war hier, dass sie in sog. Sprechberufen arbeiten und täglich einer Stimmbelastung ausgesetzt sind. Voraussetzung für die Einteilung in Gruppe 3 war, dass die Studienteilnehmerinnen weder eine Gesangs- noch eine Stimm-/Sprechausbildung absolviert haben und nur eine geringe berufliche Stimmbelastung haben. Im Folgenden werden die Gruppen genauer vorgestellt.

*Gruppe 1* umfasst Studienteilnehmerinnen, die eine Gesangsausbildung absolviert haben. Die musikalischen Genres sind unterschiedlich; so nahmen an der Studie sowohl professionelle, solistisch agierende Opernsängerinnen, als auch eine Jazzsängerin teil, sowie Sängerinnen mit jahrelanger, intensiver Chorerfahrung. Sie sind den *elite vocal performers* zuzuordnen, da selbst minimale Stimmveränderungen einschränkend wirken. Dieser Gruppe der Probandinnen wurde der Status 1 zugeordnet.

In *Gruppe 2* – die in der Ergebnisanalyse den Status 2 erhält – wurden Probandinnen aufgenommen, die zu den *professional voice users* gerechnet werden und bei denen Stimmeinschränkungen nicht unmittelbar, aber sehr zeitnah zu beruflichen Beeinträchtigungen führen und die auf eine intakte und funktionsfähige Sprechstimme angewiesen sind. Die Probandinnen haben nur teilweise eine Sprechausbildung, aber keine Erfahrung mit der Gesangsstimme. In diesem Fall handelt es sich um Lehrerinnen, Sprachtherapeutinnen, eine Dozentin und eine Erzieherin.

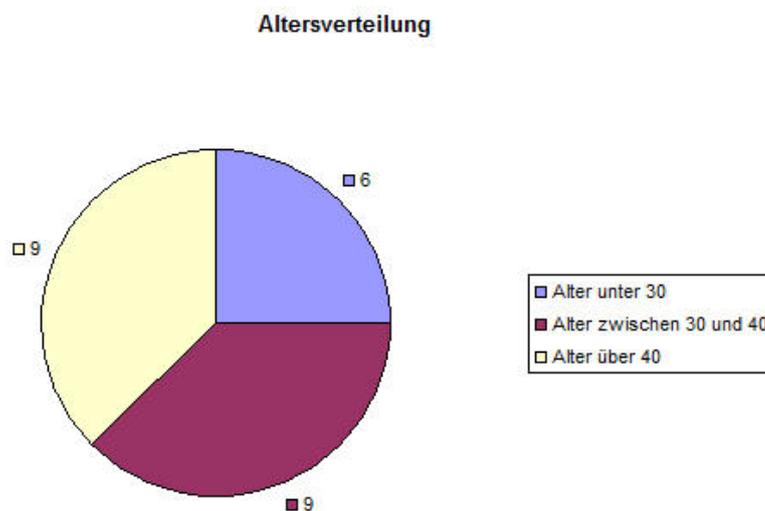
In die *dritte Gruppe* wurden Probandinnen aufgenommen, die keine Stimm- und/oder Sprechausbildung haben und deren Beruf keinen bzw. nur wenig Stimmbedarf erfordert. Diese Gruppe setzt sich aus *non-vocal professionals* und *non-vocal non professionals* zusammen, wie Buchhalterinnen, einer Wirtschaftsprüferin, einer Kunsthistorikerin und Studentinnen. Bei diesen Probandinnen sind die beruflichen Sprechbelastungen gering und in einigen Fällen zur Berufsausübung nicht zwingend erforderlich; dieser Gruppe wurde der Status 3 zugeordnet.

Entscheidende Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie war, dass die Probandinnen keine Hormonpräparate inkl. Kontrazeptiva einnehmen. Alle Probandinnen hatten anamnestisch einen bis zum Untersuchungszeitpunkt unauffälligen Stimmstatus und HNO-Befund; eine Dysphonie war bei keiner der Probandinnen bekannt. Auch der Hormonstatus

der Steroidhormone war bis zum Untersuchungszeitpunkt anamnestisch unauffällig. In die Studie wurden Nichtraucherinnen aufgenommen und Teilnehmerinnen, die gelegentlich rauchten, jedoch nicht mehr im Zeitraum von zwei Monaten vor der Studie.

Ursprünglich wurden die Stimmfeldmessungen und Fragebogenerhebungen mit 33 Probandinnen durchgeführt. Von diesen 33 Probandinnen wurden 24 in die statistische Auswertung aufgenommen. Bei neun Probandinnen konnten die Daten aufgrund von Erkrankungen (Laryngitis), Veränderungen und Unregelmäßigkeiten im Zyklus während des Testzeitraums und einer Frühschwangerschaft nicht ausgewertet werden.

Die Probandinnen waren im Untersuchungszeitraum zwischen 21 und 46 Jahre alt (s. Abb. 24). In jeder Gruppe waren nach statusorientierter Zuordnung zuletzt acht Probandinnen, deren Daten in die Analyse eingeflossen sind.



**Abb. 24:** Altersverteilung der Probandinnen

### 8.3 Hypothesen

Die im Vorfeld der Studie und auf Basis der theoretischen Grundgedanken erstellten Arbeitshypothesen werden im Folgenden erläutert.

**Teil 1: Erhebung von Stimmparametern zur Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen**

**Untersuchungsmethode:** Stimmfeldmessung

#### **H0<sup>1</sup>**

Zyklusbedingte Stimmveränderungen können im Singstimmfeld nicht durch Veränderungen von Stimmparametern erfasst werden. Der Messzeitpunkt hat keinen Einfluss auf folgende Stimmparameter:

H0 <sup>1</sup>	1	a) Frequenz max.	b) Frequenz min.	c) Stimmumfang
H0 <sup>1</sup>	2	a) Intensität max.	b) Intensität min.	c) Dynamikumfang
H0 <sup>1</sup>	3	DSI		

#### **Arbeitshypothese 1**

**Zyklusbedingte Stimmveränderungen können im Singstimmfeld durch Veränderungen von Stimmparametern innerhalb dreier festgelegter Zeitphasen im Zyklus erfasst werden. Der Messzeitpunkt hat einen Einfluss auf die Stimmparameter, die einzeln untersucht werden:**

<b>H1.</b>	<b>1</b>	<b>a) Frequenz max.</b>	<b>b) Frequenz min.</b>	<b>c) Stimmumfang</b>
<b>H1.</b>	<b>2</b>	<b>a) Intensität max.</b>	<b>b) Intensität min.</b>	<b>c) Dynamikumfang</b>
<b>H1.</b>	<b>3</b>	<b>DSI</b>		

#### **Erläuterung:**

Wie anhand der theoretischen Ausführungen erläutert, sind auf physiologischer Ebene strukturelle und muskuläre Veränderungen des Phonationssystems im Zyklus belegt. Die unter H1 genannten und im Singstimmfeld erfassten Stimmparameter Frequenz und Intensität beinhalten zum einen melodische und zum anderen dynamische Aspekte der Stimme (s. Kap.

3.4.3 und Kap. 9.1.2.1/9.1.2.2). Mittels dieser Stimmleistungen, zu deren Produktion extreme, d.h. differenzierte Anforderungen an den Phonationsapparat gestellt werden, sollten sich Veränderungen in den Stimmparameter widerspiegeln, die im Stimmfeld nachgewiesen werden können. Auch der DSI, der den Grad einer Stimmeinschränkung wiedergibt, sollte sich im Zyklusverlauf verändern (s. Kap. 9.1.2.5). Im DSI ist der Jitterwert enthalten. Daher und aufgrund der Störanfälligkeit wird der Jitter nicht isoliert untersucht.

Die primäre Zielsetzung, die es anhand der Teilhypothesen zu überprüfen gilt, besteht darin, den Einfluss des Messzeitpunkts auf die o.g. Stimmparameter zu untersuchen.

Darüber hinaus ist zu erwarten, dass sich beim Vergleich der Werte zum Zeitpunkt t1 (Menstruationsphase), t2 (späte Follikelphase/Ovulation) und t3 (Prämenstrum) die besten Werte zu t2 ergeben. Wie in Kap. 7 erläutert ist in dieser Phase das phonatorische System aufgrund des Hormonstatus besonders leistungsfähig.

## **H0<sup>2</sup>**

Die mittlere Sprechstimmlage, die im Sprechstimmfeld erfasst wird, zeigt zu den drei Messzeitpunkten erhebliche Veränderungen. Der Messzeitpunkt hat einen Einfluss auf die mittlere Sprechstimmlage.

## **Arbeitshypothese 2**

**Die mittlere Sprechstimmlage, die im Sprechstimmfeld erfasst wird, zeigt zu den drei Messzeitpunkten keine oder geringe Veränderungen. Der Messzeitpunkt hat keinen Einfluss auf die mittlere Sprechstimmlage.**

## **Erläuterung:**

Die Hypothese gründet auf der Annahme, dass sich zyklusbedingte Stimmveränderungen im Sprechstimmfeld nicht nachweisen lassen, da – wie in Kap. 7.2 dargestellt – die stimmlichen Anforderungen an das phonatorische System bei physiologischer Bildung der Sprechstimme erheblich geringer sind als beim Singen. Variationen im Sinne dynamischer und melodischer Aspekte sind nicht vorgegeben und daher für die Phonation nicht erforderlich; diese kann sich vielmehr den physiologischen Gegebenheiten resp. Einschränkungen anpassen. Insbesondere die Feineinstellung der Stimmlippen ist nicht in der Weise gefordert, wie dies im Gesang der

Fall ist. Es wird daher vermutet, dass die Veränderungen der Sprechmittellage im Zyklus kaum oder nur geringfügig sind und der Einfluss des Messzeitpunkts auf die Sprechmittellage nicht signifikant ist.

**Teil 2: Subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems**

**Untersuchungsmethode:** Fragebogen, Stimmfeldmessung

**H0<sup>3</sup>**

Die drei Probandinnengruppen unterscheiden sich nicht in der subjektiven Wahrnehmung für zyklusbedingte Stimmveränderungen, d.h. der Status hat keinen Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung des phonatorischen Systems in Hinblick auf zyklusbedingte Veränderungen.

**Arbeitshypothese 3:**

**Die drei Probandinnengruppen unterscheiden sich in der subjektiven Wahrnehmung für zyklusbedingte Stimmveränderungen, d.h. der Status hat einen Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung des phonatorischen Systems in Hinblick auf zyklusbedingte Veränderungen.**

**Erläuterung:**

Dieser Aspekt untersucht den Einfluss des Status auf die subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems. Es liegt die Annahme zu Grunde, dass die Veränderungen im phonatorischen System – dies beinhaltet Veränderungen der Stimme und der laryngopharyngealen Wahrnehmung – von den Probandinnen abhängig vom Status unterschiedlich wahrgenommen und entsprechend beurteilt werden.

Es ist weiter davon auszugehen, dass die Probandinnen des Status 1 aufgrund ihrer intensiven Auseinandersetzung mit der Stimme über eine bessere Wahrnehmung verfügen, als dies bei den Vergleichsgruppen vom Status 2 und 3 der Fall ist. Abgeleitet von der theoretischen Basis, die – wie in den Kap. 5 und 7 erläutert – davon ausgeht, dass in der späten Follikel- und Ovulationsphase, die Leistungsfähigkeit der Stimme aufgrund des physiologischen Status hoch ist, gilt es zu erfassen, ob zum Zeitpunkt t2 die Stimme von den Probandinnen als besonders gut empfunden wird. Im Vergleich zu t1 und t3 sollten zu t2 die wenigsten stimmlichen Einschränkungen und Missempfindungen auftreten.

Als Untersuchungsinstrument dient ein Fragebogen, der anhand von 13 Items entsprechende relevante Symptome erfasst; diese beziehen sich zum einen auf Symptome der Stimme und zum anderen auf solche, die die Wahrnehmung des laryngo-pharyngealen Bereichs betreffen.

In einer ergänzenden Folgefrage wird darüber hinaus der Zusammenhang zwischen der subjektiven Beurteilung des phonatorischen Systems und den objektiven Messparametern untersucht – sofern hier der Einfluss des Messzeitpunkts und des Status signifikant ist.

## **9 Untersuchungsmethoden**

### **9.1 Stimmfeldmessung**

Im Folgenden werden das Prinzip und die Grundlagen sowie die Vorgehensweise der Stimmfeldmessung ausführlich dargestellt. Neben den theoretischen Grundlagen der Stimmfeldmessung wird stets Bezug auf ihre Anwendbarkeit und die praktische Umsetzung innerhalb dieses Projekts genommen.

Die Entstehung und Basis der heutigen Stimmfeldmessung geht auf den französischen Phoniater Calvet (1952) zurück, der im Jahre 1950 seine „Courbes Vocales“ erstmals präsentierte. Grundlage und Ziel war die gleichzeitige Darstellung der Stimmdynamik in Beziehung zur Tonhöhe. Nach Calvets Auffassung war dieses Messverfahren vor allem für die Beurteilung der Sängerstimme ein geeignetes Instrumentarium. Bis Anfang der 70er-Jahre fand die Stimmfeldmessung kaum Beachtung, da andere Diagnostik- und Beurteilungsverfahren entwickelt wurden und im medizinischen Bereich effektiver schienen. Erst in den späten 70er-Jahren stieg das Interesse an der Stimmfeldmessung durch die Arbeiten von Waar und Damste (1968). Im amerikanischen Raum verbreitete sich die Stimmfeldmessung durch Studien um Coleman (1978). Seit Mitte der 90er-Jahre findet sie in weiterentwickelter Form Anwendung in der Medizin und im stimmtherapeutischen Bereich.

#### **9.1.1 Grundlagen der Stimmfeldmessung**

Die Stimmfeldmessung ist eine Form der akustischen Stimmanalyse. Die European Laryngological Society (ELS) hat im Zuge der Vereinheitlichung bei der Verfahrensanwen-

derung zur Stimmdiagnostik fünf Grundpfeiler erstellt. Eine dieser Säulen stellen die akustischen Messungen dar, zu denen die Stimmfeldmessung zählt.

Zur Deskription und Analyse stimmlicher Parameter und zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Stimme hat sich die Stimmfeldmessung – auch als Phonetogramm bezeichnet – als geeignetes Messverfahren etabliert. Im nordamerikanischen Raum ist der Begriff „Voice Range Profile“ üblich, der im Deutschen als „Stimmumfangsprofil“ wiedergegeben wird und als Synonym für das Stimmfeld gebraucht wird. Phoniater und Stimmtherapeuten verwenden dieses objektive und standardisierte Messverfahren insbesondere für die Stimmdiagnostik zur Feststellung des aktuellen Stimmstatus. Es ermöglicht darüber hinaus die intraindividuelle Verlaufsbeobachtung und -dokumentation dysphonischer Stimmbilder innerhalb der Stimmtherapie sowie die Beurteilung des Therapieerfolgs. Auch im Bereich der Sprech- und Gesangsausbildung von Berufssprechern und Sängern wird die Stimmfeldmessung zur Beurteilung einer Stimme zunehmend angewandt.

Die Entscheidung zugunsten der Stimmfeldmessung zur Erhebung der stimmlichen Parameter in der vorliegenden Studie wurde aus folgenden Gründen getroffen. Dieses Messverfahren bietet die Möglichkeit viele Daten resp. Stimmparameter zu erfassen und gewährleistet eine gute Vergleichbarkeit der Messungen. Ausschlaggebend ist zudem, dass die Stimmfeldmessung in stimmtherapeutischen Praxen etabliert ist und ein routinierter Umgang mit diesem Messverfahren besteht.

Die Stimmfeldmessung basiert auf der simultanen Erfassung und Darstellung dynamischer Stimmparameter, d.h. in der Erfassung des Tonhöhenumfangs – im Folgenden auch als *vocal range* bezeichnet – und des Lautstärke- oder Intensitätsumfangs. Sie ermöglicht die Feststellung der quantitativen Leistungsfähigkeit der Stimme. Neben Lautstärke- und Dynamikumfang werden im Stimmfeld auch die Messgrößen Jitter, Shimmer, Dysphonia Severity Index (DSI), maximale Phonationsdauer (MPT), mittlere Sprechstimmlage und der Sängerformant erfasst.

### 9.1.2 Messgrößen

Kein das Schwingungsverhalten der Stimmlippen beeinflussender Parameter ist konstant. Die Anspannung der laryngealen Muskulatur, insbesondere die Stimmlippenspannung, aber auch der subglottische Druck beeinflussen Amplitude und Periodenlänge dementsprechend, dass aufeinanderfolgende Schwingungszyklen in beiden Parametern nicht identisch sind. Die Güte

einer Stimme hängt in entscheidender Weise von der Ausprägung der Perioden- und Amplitudenschwankungen ab.

#### 9.1.2.1 Tonhöhe und Tonhöhenumfang

Die physiologischen Grundlagen der Tonhöhe wurden bereits in Kap. 3.4.3 erläutert. Neben der Bestimmung der maximalen und minimalen Frequenzen, d.h. der oberen und unteren Stimmgrenze, steht die Erfassung des Stimmumfangs (vocal range) im Vordergrund. Er ist definiert als der individuelle Stimmbereich, d.h. der Differenz zwischen höchster und tiefster Frequenz und beträgt bei Erwachsenen zwei bis maximal drei Oktaven. Die Veränderung der Tonhöhe sowie das Produzieren besonders hoher und tiefer Frequenzen sind effektive und aussagekräftige Indikatoren für die Leistungsfähigkeit der Stimme. Tonhöhenveränderungen erfordern eine exakte Feineinstellung der Stimmlippen; der feinmotorische Prozess der Adaptations- und Kontrollfähigkeit der Stimme lässt sich dadurch erfassen. Dabei ist der musikalische vom physiologischen Stimmumfang zu unterscheiden. Der musikalische Stimmumfang beinhaltet alle jene Töne, die den musikalischen Anforderungen entsprechen und als solche normiert sind. Der physiologische Tonumfang subsumiert alle Stimmproduktionen, die eine Person bilden kann (vgl. Kap. 4.3.3). Die Problematik bei der Erhebung der Daten besteht in der Festlegung, ob der physiologische und oder musikalische Stimmumfang erfasst werden soll. Klingholz (1986) befürwortet die Erhebung des physiologischen Stimmumfangs, wobei der musikalische Stimmumfang ebenfalls notiert werden sollte. Bei der vorliegenden Studie wurde der physiologische Stimmumfang erfasst.

Innerhalb der Erfassung des Tonhöhenumfangs sind bei Nicht-Sänger(inne)n die Registerbrüche (s. Kap. 3.4.3) festzustellen, die im Stimmfeld erfasst sind. Vor allem der Wechsel von Brust- und Kopfreister ist sichtbar, wie anhand einiger Stimmfelder in Kap. 11.1 erläutert wird.

#### 9.1.2.2 Intensität und Stimmdynamik

Die Lautstärke und die damit einhergehende Steigerungsfähigkeit der Stimme sind weitere Kriterien der Beurteilung einer Stimme. Sie wird bestimmt durch die Schwingungsamplitude der Stimmlippen (s. Kap. 3.4.3). Diese wiederum ist abhängig vom subglottischen Druck, d.h. von dessen Stärke und Geschwindigkeit. Die Zunahme des subglottischen Drucks bedingt eine proportionale Intensitätssteigerung. Dabei wird der Glottiswiderstand v.a. durch die innere laryngeale Muskulatur (*M. thyreoarytenoideus*) aufgebaut und entsprechend der Druckstärke eine Feinabstimmung vorgenommen. Nach v. Wedel und v. Wedel (1994) zeigt sich in tiefer

und mittlerer Tonlage, dass die Lautstärke durch Veränderungen des Glottiswiderstandes und der Öffnungsfunktion der Stimmlippen reguliert wird. Bei sehr hohen Tönen wirken nur aerodynamische Größen, wie die Strömungsgeschwindigkeit und der Anblasedruck auf die Stimmstärke regulierend. Des Weiteren spielt die Stimmlippenspannung eine entscheidende Rolle bei der Lautstärkeregelung. Bei lautem Sprechen und Singen zeigt sich eine erhöhte Amplitude und eine erhöhte Stimmlippenspannung. Vor allem für ungeübte Stimmen ist charakteristisch, dass mit der Zunahme der Lautstärke, wie es beim crescendo der Fall ist, eine Tonhöhenzunahme einhergeht. Beim decrescendo hingegen sinkt die Tonhöhe allmählich. Entscheidend für eine Lautstärkeveränderung ohne Tonhöhenschwankung ist die muskuläre Feineinstellung des Glottiswiderstandes.

Sehr leise Stimmproduktionen sind in Verbindung mit der Phonationsschwelle zu sehen, d.h. dem geringsten subglottischen Druck, der Stimmlippenbewegungen auslöst. Die Fähigkeit der Stimmlippen zur Feineinstellung zeigt sich vor allem bei leiser Stimmgebung. Die maximale Lautstärke gilt als Maß für die Steigerungsfähigkeit und erlaubt Aussagen über das phonatorische Leistungsvermögen.

Die Stimmdynamik – auch Lautstärke- bzw. Intensitätsumfang genannt – ist definiert als der „Schalldruckpegelabstand (gemessen in dB(A)) zwischen der leisesten und lautesten Stimmproduktion bei konstanter Grundtonfrequenz“ (Klingholz, 1986, S. 10). Der physiologische Lautstärkeumfang beträgt ca. 45 bis 55 dB. In Kap. 4.3.3 wurde bereits erläutert, dass der musikalische Stimmumfang kleiner ist als der physiologische.

### 9.1.2.3 Messgröße Jitter

Der Jitter erfasst Irregularitäten im glottalen Schwingungszyklus und dient der Periodizitätsanalyse. Als statistisches Maß beschreibt er die Periodenlängenschwankungen im gehaltenen Vokal und ist damit ein Indikator für die Stabilität der Grundfrequenz. Nach Klingholz (1991) ist der Jitter definiert als „eine meist unregelmäßige Kurzzeitvariation der Periodenlänge zwischen aufeinander folgenden glottalen Schwingungsperioden in gehaltenen Vokalen oder langen Vokalen beim Sprechen“ (S. 79). Anders formuliert ist der Jitter ein Messwert für die Schwankung der Grundfrequenz innerhalb zweier oder mehrerer Phonationsperioden, die sich in jeder menschlichen Stimme findet. Die Grundfrequenz ist festgelegt durch die Anzahl der Schwingungszyklen innerhalb eines Stimmsegments. Die Frequenzrate und -schwankungen der Stimmlippen können keine konstante Regularität aufweisen, da sie als physiologischer Komplex von vielen Faktoren abhängig sind und beeinflusst werden. Der Sinuston hat den Jitterwert 0; jede menschliche Stimme jedoch weist Irregularitäten auf. Der primäre

Kehlkopftön ist nicht rein, sondern hat eine natürliche Störung im Signal (Klingholz, 1991; Kötter und Klingholz, 1996).

Diese Schwingungsirregularität kann auf neurologischer oder biomechanischer Ebene begründet sein. Auf neurologischer Ebene könnte die Ursache in einer eingeschränkten Konstanz der elektrischen Aktivität der inneren laryngealen Muskulatur begründet sein; insbesondere Tonusschwankungen des M. cricothyreoideus, die auf Veränderungen der neuromuskulären Entladungsrate zurückzuführen sind, spielen eine Rolle. Die Schwankungen in den Muskelkontraktionen wirken sich möglicherweise auf den Tonus der Stimmlippen aus und bedingen die Schwankungen der Grundfrequenz.

Einen weiteren Erklärungsansatz stellen biomechanische Prozesse dar. Klingholz (1991) führt die Unterschiede in der Struktur der Stimmlippen ins Feld, die aufgrund eingeschränkter Symmetrie und damit minimal verändertem Schwingungsverhalten zu Schwankungen in der Grundfrequenz führen können.

Entscheidend für die Messgröße sind die Länge (empfohlen werden ca. zwei Sek) und die Grundfrequenz des Stimmsignals. Stimmeinsätze und Stimmabsätze zeigen höhere Schwingungsirregularitäten. Daher wurden in der folgenden Studie Stimmeinsatz und Stimmabsatz nicht in die Auswertung mit aufgenommen, sondern ein Bereich innerhalb des Stimmsignals ausgewählt.

Die Messgröße Jitter wird in % angegeben; der Normwert liegt zwischen 0,1% und 1%. Schneider und Bigenzahn (2007) geben ein Wert von 0,5% bis 1% für gesunde Stimmen an. Der Jitter unterliegt erheblichen Schwankungen, die durch physiologische und psychische Einflüsse begründet sein können; auch Alterseffekte spielen eine Rolle. Der Jitter wurde daher in der Studie als Indikator für zyklusbedingte Stimmveränderungen nicht isoliert betrachtet. Er fließt jedoch in die Berechnung des DSI (s. Kap. 9.1.2.5) mit ein. Als akustischer Indikator für Dysphonien ist er bei pathologischen Störungsbildern erhöht. Eine Erhöhung des Jitterwerts besteht insbesondere bei eingeschränkter glottaler Schwingungssymmetrie, die auf Veränderungen der Stimmlippenmasse oder -spannung zurückzuführen ist. Diese Faktoren sind bei der Interpretation des Jitters heranzuziehen. Innerhalb der Studie wurde er als Kontrollwert betrachtet, der Hinweise auf eine Dysphonie gibt.

#### 9.1.2.4 Messgröße Shimmer

Der Shimmer ist ein statistisches Maß für die Stabilität des Lautstärkepegels im Stimmsignal. Dieser Parameter erfasst die Amplituden- und damit die Intensitätsschwankungen innerhalb aufeinander folgender Schwingungsperioden. Als Periode bezeichnet man einen vollständigen

Schwingungszyklus von und bis Wiedererreichen des Ausgangszustandes. Der Shimmerwert des Sinustons ist stets identisch. Wie bereits erläutert spielt die Schwingungsamplitude die ausschlaggebende Rolle für die Lautstärke. Der Shimmer misst die Amplitudenvariation, also die Differenz der Amplituden. Bei physiologischen Stimmen liegt der Shimmer zwischen 0% bis ca. 4% (Schneider & Bigenzahn, 2007).

Das in Kap. 9.1.4 beschriebene und für die Studie verwendete Programm lingWAVES erfasst den Shimmer nicht. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird auf diesen Messwert nicht näher eingegangen.

#### 9.1.2.5 Messgröße Dysphonia Severity Index

Der Dysphonia Severity Index, kurz DSI, gibt Aufschluss über das Vorhandensein und die Ausprägung bzw. den Schweregrad einer Stimmstörung bzw. Stimmeinschränkung anhand eines Zahlenwertes. Dieser Index reagiert sehr sensibel auf Veränderungen und gilt daher als äußerst aussagekräftig. Der DSI, zurückgehend auf Wuyts (2000), berechnet sich aus der Kombination folgender Stimmparameter bzw. Messgrößen:

höchstmögliche Frequenz (F max), niedrigste Intensität (I min), maximale Tonhaldauer (MPT) und Jitter.

Die Berechnungsformel für den Dysphonia Severity Index lautet (nach Schneider & Bigenzahn, 2007):

$$\text{DSI} = 0,13 \times \text{MPT} + 0,0053 \times \text{F max} - 0,26 \times \text{I min} - 1,18 \times \text{Jitter}$$

Tab. 6 gibt das Vorhandensein und den Schweregrad der Stimmstörung als Zahlenwert wieder.

Dysphonieschweregrad	DSI-Wert
Normale/unauffällige Stimme	>4,2
Leichte Dysphonie	4,2 bis > 1,8
Mittelgradige Dysphonie	1,8 bis > -1,2
Hochgradige Dysphonie	<-1,2

**Tab. 6: Darstellung der Ausprägung des DSI (modifiziert nach Nawka et al., 2006)**

Der DSI nimmt durchschnittlich Werte zwischen -5 und +5 an. Niedrige DSI-Werte weisen auf eine dysphonische Stimme hin; mit Zunahme des DSI-Wertes steigt die Stimmqualität. In der vorliegenden Untersuchung wurden Werte über +5 vor allem von Sängerinnen erreicht,

wie in Kap. 10 erläutert wird. Nach Nawka et al. (2006) werden von Probanden ohne Dysphonie und stimmliches Training durchschnittlich Werte von  $> +1,6$  erreicht. Der DSI ist ein geschlechts- unabhängiges Maß.

#### 9.1.2.6 Maximale Phonationsdauer

Die maximale Phonationsdauer – kurz MPT – als aerodynamischer Parameter, ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit der Stimme. Faktoren wie Luftvolumen (s. Kap. 2.4.3), Glottiswiderstand, Stimmodynamik sowie psychische und physische Verfassung bestimmen die Tonhaldedauer. Im Stimmfeld wird sie bestimmt durch das Halten des Vokals /a:/ in mittlerer Lautstärke und in Höhe der mittleren Sprechstimmlage nach maximaler Einatmung ohne Tonabbruch. Zusätzlich wird sie auch auf Stabilität bezüglich des Tonhöhenverlaufs und der Stimmodynamik beurteilt.

Die durchschnittliche Tonhaldedauer beträgt bei Frauen ca. 17 Sek., bei Männern durchschnittlich 25 Sek. Als pathologisch sind Werte unter 15 Sek. zu beurteilen. Eine kurze Tonhaldedauer geht meist mit hohem Luftverbrauch während der Phonation einher; ausschlaggebend kann eine Glottisschlussinsuffizienz sein.

Die MPT wird als eine von vier Komponenten in die Berechnung des Dysphonia Severity Index miteinbezogen. Untersuchungen konnten zeigen, dass sich die MPT isoliert nicht als aussagekräftige Messgröße eignet, um Veränderungen in Hinblick auf die Stimme aufzudecken. Nach van Thiel (2006) ist die MPT sehr von der individuellen Tagesform abhängig, was zu großen Schwankungen führt und zu keinen eindeutig interpretierbaren Ergebnissen führt.

#### 9.1.2.7 Sängerformant

Die Formantbildung ist als ein Phänomen der Resonanz zu betrachten. Die Stimme ist physikalisch ein Klang, bei dem der primäre Kehlkopftone durch Resonanz im Ansatzrohr durch Obertöne verstärkt wird; durch die Reflexion der Schallwellen an den schallharten Wänden des Ansatzrohres entstehen Überlagerungen in spezifischen Arealen des Vokal- resp. Artikulationstrakts. Die Obertöne sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz. Bestimmte Obertöne werden energetisch verstärkt, die als Formanten bezeichnet werden (Kasper, 2008). Einige Obertöne werden jedoch gedämpft. Die Klangfarbe einer Stimme und die Vokale werden durch die Lage der Formanten und die Verstärkung und Dämpfung der Obertöne bestimmt (Hammer, 2003). Für die Vokalerkennung sind nur der erste und zweite Formant erforderlich, der dritte und vierte Formant beeinflussen die Klangfarbe. Die Größe des

Vokaltrakts wirkt sich auf die Formantbildung aus. Der kürzere Vokaltrakt zwischen Lippen und Glottis bei Frauen bestimmt die höheren Formanten. Der Sängerformant ist abhängig von der Stimmgattung und umfasst einen Frequenzbereich von 2100 bis 4000 Hz. Er liegt im Mezzosopran und Sopran bei 3000 bis 4000 Hz.

Nach Schneider und Bigenzahn (2007) ist bislang die Frage nicht geklärt, ob der sog. Sängerformant bei Frauen überhaupt als solcher auftritt und/oder wie er einzuordnen ist. Es besteht die Annahme, dass er bei Altistinnen stärker ausgeprägt ist als bei Sopranistinnen. Da diese Frage bislang nicht geklärt ist, wird der Sängerformant innerhalb der Studie nicht weiter thematisiert.

### 9.1.3 Normstimmfeld

Die Stimmfeldmessung ermöglicht innerhalb einer simultanen Erfassung die zweidimensionale Darstellung der Stimmdynamik in Abhängigkeit von der Tonhöhe. Sie erfasst den Leistungsumfang des Larynx in seiner Funktion als Stimmklanggenerator. Die Messdaten werden in einem Koordinatensystem dargestellt; die horizontale Achse gibt die Frequenzskala wieder, d.h. die Grundfrequenz in Hz, die Vertikalachse stellt in der Schalldruckpegelskala die Messwerte in dB dar. Schultz-Coulon und Asche (1988) erstellten anhand einer Studie stimmgesunder Probandinnen ein „Normstimmfeld“ mit dem Ziel effektiver intra- und interindividueller Vergleichbarkeit und einheitlicher Interpretationsrichtlinien. Abb. 25 ist das Normstimmfeld einer weiblichen Stimme zu entnehmen.

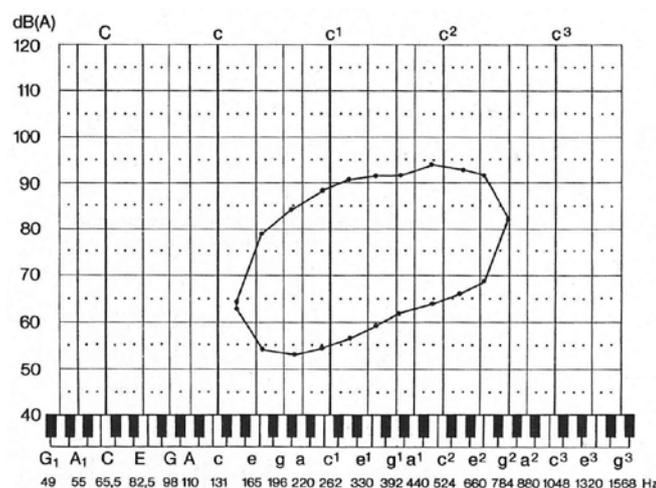


Abb. 25: Normstimmfeld einer weiblichen Stimme (aus Schultz-Coulon, 1990, S. 15)

### 9.1.3.1 Singstimmprofil

Die Form des Normstimmfeldes einer physiologischen Stimme entspricht deskriptiv einer Ellipse mit schräg ansteigender Längsachse. Für jede gesungene Tonhöhe wird der leiseste und lauteste Schallpegel gemessen. Zur Erfassung von Tönhöhen- und Dynamikumfang im *Singstimmfeld* wird der Proband aufgefordert, den Vokal /a:/ in leisester und lautester Intensität vom tiefsten bis zum höchstmöglichen Ton zu phonieren. Auf diese Weise erhält man die sog. „Leisest- und Lautestkurve“. Ausgangston ist die mittlere Tonhöhe, von dieser wird nach unten phoniert und dann erst zu den hohen Tönen weitergegangen. Dabei kann mit oder ohne Tonvorgabe, an der sich der Proband orientiert und die er übernimmt, gearbeitet werden.

Die Piano- und die Fortekurve umfassen alle Dynamikbereiche, die stimmlich produzierbar sind und subsumieren die Sprech- wie die Singstimme. Beide Kurven gehen vom gleichen Schalldruckpegel an der unteren Stimmgrenze aus; eine Stimmdynamik gibt es an diesem Punkt nicht. Grund hierfür ist, dass bei der stimmlich niedrigst einzustellenden Stimmlippenfrequenz die Stimmlippen maximal verkürzt sind und die Aktivität der M. vocalis äußerst gering ist. Zur Überbrückung des Glottiswiderstandes ist ein hoher Luftstrom notwendig, um die Stimmlippen in Schwingung zu versetzen. Ein hoher Luftstrom zur Steigerung der Lautstärke würde gleichzeitig aber eine Erhöhung der Stimmlippenfrequenz bedingen. Bei maximaler Verkürzung der Stimmlippen an der unteren Einstellungsgrenze ist eine Veränderung von Masse und Spannung der Stimmlippen als frequenzausgleichender Vorgang nicht möglich. Dies bedeutet, dass an der unteren Stimmgrenze keine bzw. kaum Stimmdynamik möglich ist (Wirth, 1995).

Mit zunehmender Verlängerung und Tonuszunahme der Stimmlippen steigt die Tonhöhe. Diese ermöglicht größere Variationen der Glottiseinstellung im Sinne einer Dynamiksteigerung oder -verringern bei konstanter Schwingungsfrequenz der Stimmlippen. Zusammengefasst nimmt die Stimmdynamik mit steigender Tonhöhe zu und erreicht im mittleren Teil des Stimmfeldes ihren Maximalwert. Im Bereich der oberen Stimmgrenze nimmt die Stimmdynamik wieder ab. Wie aus Abb. 25 und Abb. 26 hervorgeht, senkt sich die forte-Kurve ab. Ausschlaggebend für das Ansteigen der Pianokurve ist die stetige Zunahme der Stimmlippen-spannung, die zur Frequenzsteigerung der Stimmlippen höhere Initialdrücke braucht.

Ist die obere Stimmgrenze erreicht, sind die Stimmlippen unter maximaler Spannung und der Glottiswiderstand kann nicht mehr gesteigert werden. Die maximale Leistungsgrenze der stimmerzeugenden Strukturen ist erreicht. Die Stimmbildung ist nur noch bei hoher

Lautstärke möglich, eine weitere Steigerung gelingt nicht mehr trotz hohen Anblasedrucks (Schultz-Coulon, 1990).

### 9.1.3.2 Sprechstimmprofil

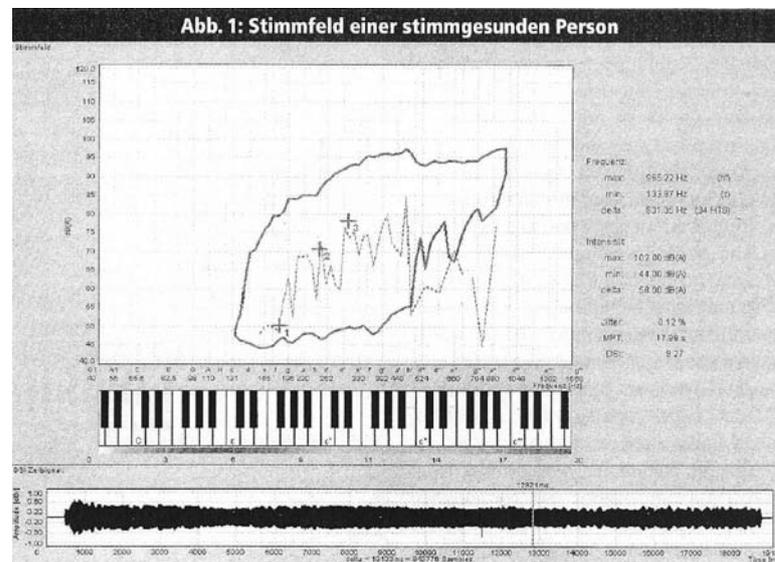


Abb. 26: Stimmfeld einer stimmgesunden Frau (aus Nawka et al. 2006, S. 16)

Abb. 26 gibt das Stimmfeld einer stimmgesunden Frau wieder. Es beinhaltet das Singstimmfeld, das bereits erläutert wurde, als Umriss dargestellt. Zusätzlich sind im Diagramm das Sprechstimmfeld und der Sängerformant dargestellt. Im Sprechstimmfeld werden die Tonhöhen- und Lautstärkewerte als Kreuz eingetragen. Das Sprechstimmprofil zeigt die Frequenz- und Intensitätsbereiche auf, die ein Sprecher spontan bei verschiedenen Lautstärken produziert.

Das mittlere Kreuz gibt dabei die mittlere Sprechstimmlage an, bei der der Proband einen Text in Umgangsstimme, d.h. in gewohnter, für ihn angenehmer Lautstärke liest. Die Bestimmung der Indifferenzlage, die hier synonym zur Sprechmittellage verwendet wird, spielt in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle, denn sie „ist ein geschlechts- und altersabhängiger Wert und liegt im Normalfall beim Mann zwischen 100 Hz und 150 Hz (...) und bei der Frau und bei Jugendlichen vor dem Stimmwechsel zwischen 200 und 250 Hz“ (Friedrich et al., 1998, S. 73).

Des Weiteren wird die minimale Sprechlautstärke erfasst, indem der Proband den Text sehr leise – jedoch nicht flüsternd – liest und schließlich in Vortragsstimme mit hoher Lautstärke wiedergibt. Das mittlere Kreuz, d.h. die mittlere Sprechstimmlage sollte sich im Idealfall im unteren Drittel des Stimmumfangs befinden. Durch eine gedachte Verbindung der Kreuze entsteht eine ansteigende Linie. Die Tatsache, dass mit Zunahme der Tonhöhe die Lautstärke

ebenfalls zunimmt wird als Tonhöhen-Intensitäts-Kopplung bezeichnet. Daraus lässt sich ableiten, dass ein geringer Steigungsgrad der Linie zwischen den drei Kreuzen dann auftritt, wenn bei der Produktion hoher Töne keine entsprechende Lautstärke erreicht wird (Nawka, 2006).

Die Stimmfeldmessung erlaubt eine Aussage über die Leistungsfähigkeit der Stimme. Aus den Messdaten geht jedoch nicht explizit hervor, ob es sich bei der Tonerzeugung um harmonischen Schall oder Geräusche handelt. Nach Reker und Wesselmann (1994) ist in diesem Zusammenhang das Signal-zu-Rausch-Verhältnis ausschlaggebend. Dabei handelt es sich um „ein Maß für die Abweichung vom ideal reinen Glottissignal und damit für die Stimmreinheit (S. 118); und weiter führen die Autoren aus: „Jede Störung der Regelmäßigkeit der Stimmlippenschwingung sowie weitere Geräuschquellen neben dem Glottissignal führen zu einer Abweichung vom streng harmonischen Spektrum. Diese Störung des Spektrums wird als Signal-zu-Rausch-Verhältnis gemessen“ (S. 118).

Aus dem Stimmfeld lassen sich folglich Aussagen ableiten über den Stimmumfang bzw. dessen Einschränkungen sowie über Veränderungen der Stimmdynamik in Abhängigkeit von der Tonhöhe. Auch Registerübergänge und Tonlücken sind darstellbar. Innerhalb der vorliegenden Studie war auch entscheidend, dass nicht nur der Umfang, sondern auch die inhaltliche Interpretation der Stimmfelder Aufschluss über die Leistungsfähigkeit gibt. Auf diesen Aspekt wird an anderer Stelle ausführlich eingegangen (Kap. 11.1).

Das Singstimmprofil kann als Umriss (s. Abb. 26) oder als farbige Punktwolke (s. Abb. 40-42) dargestellt werden.

#### **9.1.4 lingWaves Stimmfeld Pro**

Zur Durchführung der Studie wurde das lingWaves Stimmfeld Pro, Version 2.40.0010 der Firma Lingcom verwendet, das am PC installiert wird. Das Programm läuft auf dem Betriebssystem Windows XP. Zur Hardware-Ausstattung gehört ein genormter Schallpegelmesser, der durch die Software automatisch konfiguriert wird und sich selbst kalibriert. Er nimmt die Funktion eines hochauflösenden Mikrofons ein, das über einen Com-Port für die digitale Datenübertragung und einen Audio-Eingang für die Übertragung des Audiosignals an den Computer angeschlossen wird. Die Analyse der Lautstärke erfolgt über den Schallpegelmesser.

Das lingWaves Stimmfeld stellt wie in Abb. 26 das Sprechstimmfeld in Form der drei Kreuze dar, wobei das mittlere Kreuz die mittlere Sprechstimmlage erfasst, das obere Kreuz markiert

lautes und das untere Kreuz leises Sprechen. Im Singstimmfeld werden Stimmumfang und -dynamik der Singstimme in Echtzeit erfasst und ebenso wie der Sängerformant graphisch dargestellt. Im Koordinatensystem ist auf der horizontalen Achse die Frequenz (Tonhöhe) und auf der vertikalen Achse die Stimmintensität (Lautstärke) erfasst. Des Weiteren werden die Werte der maximalen Phonationsdauer und des Jitters angegeben. Die vokalische Qualität kommt durch den Dysphonia Severity Index zum Ausdruck. Die Messgröße Shimmer wird nicht errechnet.

Das Programm enthält zudem einen Patientenmanager, in dem Daten und Messungen gespeichert, gelistet und verglichen werden können. Vergleichsstimmfelder können importiert werden und ermöglichen intra- und interindividuelle Vergleichsanalysen.

Beim lingWaves Stimmfeld handelt es sich um ein standardisiertes Stimmanalyseverfahren, das sich für wissenschaftliche Zwecke eignet und hochpräzise Messungen ermöglicht. Es entspricht den Vorgaben der ELS (European Laryngological Society) und ist als lizenziertes Medizinprodukt klassifiziert.

### **9.1.5 Durchführung der Stimmfeldmessung**

#### **9.1.5.1 Richtlinien der European Laryngological Society (ELS)**

Um zu einer einheitlichen Stimmdiagnostik im Sinne der Qualitätssicherung zu finden, wurde von europäischen Phoniatern und Laryngologen ein stimmdiagnostisches Basisprotokoll ausgegeben. Eine der fünf Säulen, auf deren Grundlage die Stimmdiagnostik durchzuführen ist, betrifft die akustischen Analysen, zu denen die Stimmfeldmessung zählt.

Von der ELS wurden einige Richtlinien für die Durchführung der Stimmfeldmessung vorgegeben, damit diese einem einheitlichen qualitativen Standard entspricht. Zur Qualitätssicherung im Sinne der Erfassung objektiver Messwerte ist die Einhaltung dieser Richtlinien grundlegend mit dem Ziel einer objektiven Beurteilung und der Herstellung intraindividuelle und interindividuelle Vergleichbarkeit (Friedrich, 2006).

- Vor Beginn der Stimmfeldmessung sollte der Proband/Patient auf die Stimmfeldmessung vorbereitet werden. Die Vorgehensweise und der Ablauf sind zu erläutern und schließlich sollte eine kurze Übungsphase stattfinden.
- Empfohlen wird ein schallgedämmter Raum oder ein Raum, in dem der Störschallpegel 40 dB nicht überschreitet.
- Der Mund-Mikrofonabstand sollte 30 cm betragen.
- Zur Analyse des Singstimmprofils wird der Laut /a:/ produziert. Untersuchungen haben gezeigt, dass /a:/ der artikulatorisch einfachste Laut ist, und dass die Stimmdynamik vokalabhängig ist, so dass die höchsten und niedrigsten Stimmintensitäten auf /a:/ erreicht werden.
- Des Weiteren gilt die Zwei-Sekunden-Regel, die besagt, dass nur Töne bewertet werden, die länger als 2 Sek. gehalten werden, um zu vermeiden, dass schreiähnliche Produktionen erfasst werden.
- Begonnen wird mit der Erfassung der Leisestkurve, da das Bilden leiser Töne nach der Produktion lauter Töne schwieriger ist; dies gilt insbesondere für Probanden ohne Gesangsausbildung. Ausgehend von einer mittleren Tonhöhe wird zuerst zu den tiefen Tönen phoniert und in Folge – wiederum von der mittleren Tonhöhe ausgehend – zu den hohen Frequenzen übergegangen. Dabei kann mit oder ohne Tonvorgabe angestimmt werden. Schreien und Flüstern sollen im Stimmfeld nicht erfasst werden. Für das Sprechstimmprofil werden Reihensprechen (Zahlen), Textsätze oder Standardtexte empfohlen.
- Die Dokumentation wird in einem genormten, standardisierten Stimmfeldformular dargestellt.

#### 9.1.5.2 Durchführung der Stimmfeldmessung in der vorliegenden Studie

Die Stimmfeldmessungen wurden in den Therapieräumen einer stimm- und sprachtherapeutischen Praxis durchgeführt, die den von der ELS vorgegeben Standards entsprechen. Der Störschallpegel lag stets unter 40 dB. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu erhalten, wurden die Stimmfeldmessungen zur annähernd gleichen Tageszeit durchgeführt. Die Probandinnen wurden aufgefordert, sich an den Tagen der Stimmfeldmessung vor der Messung vergleichbaren Sprech- und Stimmanforderungen auszusetzen.

Ca. ein bis zwei Wochen vor der ersten Messung erhielten die Probandinnen Instruktionen über den Ablauf der Untersuchung und die geforderten Stimmleistungen; es fand eine kurze Übungsphase sowie eine Testmessung statt. Ziel dieses Testdurchlaufs war, – wie bereits in Kap. 8.1 ausführlich erläutert – dass die Probandinnen den Ablauf kennen lernen, mehr Sicherheit gewinnen und keine Hemmungen haben, ihre Stimme einzusetzen.

Die Stimmfeldmessung wurde mit dem in Kap. 9.1.4 erläuterten lingWaves Programm, Version 2.40.0010, durchgeführt. Dieses Softwareprogramm ermöglicht die automatische Darstellung der Messwerte in einem standardisierten Formular auf dem Monitor in Echtzeit.

Der Mund-Mikrofonabstand betrug 30 cm.

Zur Erstellung des Sprechstimmfelds wurde der Text „Der Nordwind und die Sonne“ des griechischen Fabeldichters Äsop (600 v. Chr.) gewählt (s. Anhang A). Dieser Text mit einer ungefähren Sprechdauer von 45 Sek. wird von der ELS als Standardtext empfohlen. Der Text wurde zu Beginn in mittlerer Sprechstimmlage und Unterhaltungslautstärke gelesen; im Folgenden wurde er sehr leise, jedoch nicht flüsternd, und schließlich mit größtmöglicher Intensität gelesen.

Phoniert wurde im Singstimmprofil auf dem Vokal /a:/. Der Vokal eignet sich aufgrund der Artikulationsstellung am besten, da die höchsten und niedrigsten Intensitäten bei diesem Vokal gemessen werden können. Im Singstimmprofil wurde – den Vorgaben der ELS entsprechend – zuerst die piano-Kurve und im Anschluss die forte-Kurve in Echtzeit erfasst. Es wurde ohne Tonvorgabe gearbeitet. Die Probandinnen wählten einen Ton in mittlerer Tonhöhe und phonierten zuerst zu den tiefen Frequenzen, d.h. bis zur unteren Stimmgrenze und dann zur oberen Stimmgrenze. Stets wurde dabei die Zwei-Sekunden-Regel eingehalten, d.h. eine Tonhaltdauer von mindestens zwei Sek. war grundlegend. Erfasst wurde der physiologische Stimmumfang.

Im Anschluss wurde die maximale Tonhaltdauer MPT gemessen, indem die Probandinnen den Vokal /a:/ so lange wie möglich ohne Tonabbruch in mittlerer Tonhöhe und Intensität hielten. Das Zeitsignal wurde am Monitor markiert und berechnet.

Aus diesem Signal wurde auch der Jitter errechnet, jedoch ohne Stimmeinsatz und Stimmabsatz, da die Irregularitäten der Stimmlippenschwingung den Messwert verändern. Im Anschluss errechnete das Programm den DSI-Wert.

Abweichend vom Vorschlag der ELS wurden die Stimmfeldmessungen nicht im Stehen, sondern in aufrechter Sitzposition durchgeführt. Die Voruntersuchungen zeigten vor allem bei den Berufssprecherinnen und Nicht-Berufssprecherinnen, dass im Stehen eine große

Unsicherheit auftritt und die Tendenz zur Hochatmung verstärkt wird. Im Sitzen fühlten sich die Probandinnen erheblich wohler; daher wurden die Stimmfeldmessungen in sitzender Position durchgeführt.

Aufgrund besserer Interpretationsmöglichkeiten wurden die Stimmfelder für diese Studie als Punktwolke dargestellt. Diese Form der Darstellung erlaubt Aussagen über Tonlücken und Registerübergänge; beim Übergang vom Brust- zum Kopfregeister zeigen sich bei Nicht-Berufssprechern Senken. Die Klangbilder werden insgesamt detaillierter wiedergegeben.

## 9.2 Befragung

### *Vorstudie*

Ergänzend zur objektiven Erfassung der Stimmparameter im Stimmfeld wurde auch die subjektive Wahrnehmung und Beurteilung des phonatorischen Systems untersucht. Die Einschätzung der eigenen Stimme, ihrer Einschränkungen, Schwankungen und Veränderungen – temporär oder chronisch – sind ein entscheidender Schwerpunkt der Stimm- und Sprechausbildung sowie Inhalt jeder stimmtherapeutischen Intervention.

Als Untersuchungsmethode zur Erfassung subjektiv empfundener Veränderungen des Phonationstrakts wurde der Fragebogen auf dem Hintergrund starker Strukturiertheit mit dem Ziel effektiver Vergleichbarkeit entwickelt. Bislang ist im stimmtherapeutischen Bereich kein Erhebungsinstrument vorhanden, das kurzfristige Veränderungen bezüglich der subjektiven Wahrnehmung und Beurteilung der Stimme erfasst. Daher wurde für das vorliegende Projekt ein Fragebogen entworfen. Die ursprüngliche Form des Fragebogens war erheblich umfangreicher und beinhaltete Fragenkomplexe zur Beurteilung von Atmung, Körperhaltung und Tonus. Diese Bereiche sind Bestandteile jeder Stimm- und Sprechausbildung wie auch der Stimmtherapie. Im Vorfeld wurde der Fragebogen an 40 Probandinnen ausgehändigt, um ihn auf seine Verständlichkeit zu überprüfen und auf die Erfassung der Kernthematik zu untersuchen.

Die Vorstudie ergab, dass sich die erweiterte Fassung des Fragebogens aus mehreren Gründen nicht bewährte. Diese enthielt Bereiche (Tonus, Körperhaltung, Atmung), die über den zu erfassenden Kernaspekt hinausgehen. Vor allem bei non-vocal professionals führte die erweiterte Variante zu Unsicherheiten in der Beantwortung, da die Terminologie nicht geläufig war. Entscheidend war jedoch, dass die Probandinnen ohne Hilfe oder Erklärungen des Versuchsleiters die Fragen nicht beantworten konnten.

Als aussagekräftig und selbsterklärend erwies sich jedoch der für die Befragung relevanteste Bereich, der sich mit der subjektiven Wahrnehmung beschäftigt und schließlich in überarbeiteter Form für die Studie zum Einsatz kam. Die Terminologie, im Sinne der Verständlichkeit und Lesbarkeit und die Skalierung waren für die Probandinnen gut verständlich.

### *Inhalt und Aufbau*

Wie bereits erläutert war der Fragebogen in der ursprünglichen Form aus den genannten Gründen nicht haltbar. Zur Eingrenzung und zur optimalen Erfassung der Kernfragestellung wurde der Fragebogen auf die vorliegende Form gekürzt (s. Abb. 27).

Es handelt sich um eine stark strukturierte Befragung mit einem Erhebungsinstrument auf dem Hintergrund einer hohen intra- und interindividuellen Vergleichbarkeit.

Zu Beginn des Fragebogens werden zunächst Fragen zur Person gestellt, die auch die Einteilung in die Gruppe der Probandinnen in Bezug auf den Stimmstatus (s. Kap. 8.2) bestimmen. Obgleich eine der Voraussetzungen für die Teilnahme an der Studie war, dass die Probandinnen im Zeitraum von zwei Monaten vor der Studie nicht mehr rauchten, wurde dies zur Sicherung der Ergebnisse nochmals erfragt. Die Teilnehmerinnen konnten die Frage mit „nein“ beantworten, sofern diese Voraussetzung gegeben war.

Des Weiteren wurde erfragt, ob die Teilnehmerinnen Kinder haben; wenn die Frage mit „ja“ beantwortet wurde, wurde nochmals abgeklärt, ob während der Schwangerschaft Auffälligkeiten der Stimme aufgetreten sind (s. Kap. 6.2).

Im Anschluss folgt der eigentliche Fragenkomplex. Dabei wurde eine Form der Mehrfachauswahl-Frage gewählt, die Antwortalternativen vorgibt und v.a. zur Erfassung von Intensitäten bzw. Ausprägungen geeignet ist. Die Skalierung erfolgt fünfstufig. Zu jeder Frage nahmen die Probandinnen auf einer Beurteilungsskala von 0=*gar nicht* bis 4=*sehr stark* eine Einschätzung ihrer Stimme und der laryngealen Wahrnehmung vor, die aktuell zum Untersuchungszeitpunkt für sie zutrif. Aus den von der Probandin angekreuzten Antworten wird der Gesamtscore errechnet, der eine intraindividuelle Vergleichbarkeit ermöglicht. Je niedriger der Score ist, desto besser wird die Stimme subjektiv beurteilt. Für eine quantitative Einschätzung ist der Score ausschlaggebend. Auch können einzelne Fragen hinsichtlich ihres

Inhalts betrachtet werden. Daraus lässt sich ableiten, ob Veränderungen eher im Bereich der Stimme oder in Hinblick auf die laryngealen Empfindungen wahrgenommen werden. Hierauf wird ausführlich in Kap. 11.2 eingegangen.

Vorab galt es das Konstrukt „subjektives Empfinden und Wahrnehmung“ der eigenen Stimme anhand der Darstellung verschiedener Items zu operationalisieren. Diese Begriffe werden in zwei Kernaspekte unterteilt. Ein Bereich bezieht sich auf die Veränderungen der Stimme, wie sie in der Stimmbildung, Sprecherziehung und Stimmtherapie verwendet werden. Die Fragen 1, 2, 3, 4 und 10 betreffen diesen Bereich. Die Orientierung an der im deutschsprachigen Raum gebräuchlichen RBH-Klassifikation nach Wendler (1986) war hier der Ausgangspunkt. Diese Klassifikation ist eine verkürzte Variante der GRBAS-Skala nach Hirano (1981). Dabei handelt es sich um fünf akustische Parameter zur Stimmklangbeurteilung (*G*: *grade* – Gesamtgrad; *R*: *roughness* – Rauigkeit; *B*: *breathiness* – Behauchtheit; *A*: *asthenic* – Schwachheit; *S*: *strained qualities* – Gepresstheit). Die RBH-Skala umfasst die akustischen Parameter *R*=Rauigkeit, *B*=Behauchtheit, *H*=Heiserkeit und wird auf einer 4-Punkte-Skala von 0=nicht vorhanden bis 3=hochgradig angegeben. Basierend auf der Tatsache, dass die Heiserkeit Leitsymptom dysphonischer Veränderungen ist, entsteht sie aufgrund der beiden Komponenten Behauchtheit (phonatorisch unkontrollierter Luftverbrauch) und Rauigkeit (irreguläres Schwingungsverhalten der Stimmlippen). Diese akustischen Parameter zur perceptiven Beurteilung stimmlicher Veränderungen wurden daher in den Fragebogen aufgenommen. In diesem Zusammenhang ist auch die Stimmreinheit zu nennen. Eine Stimme ist von hoher Reinheit, wenn die Parameter Rauigkeit, Behauchtheit und Heiserkeit gleich 0 sind. Davon abgeleitet wird eine Stimme von den Probandinnen als „reiner“ empfunden, je niedriger die Werte sind.

Der zweite Schwerpunkt bezieht sich auf die Wahrnehmung von Veränderungen der laryngopharyngealen Strukturen, was in den Fragen 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12 und 13 erfasst wird. In der Stimmausbildung und Stimmtherapie hat sich gezeigt, dass über diese Bereiche sehr klare und aussagekräftige Einschätzungen vorgenommen werden können.

Die Fragen zu den Stimmveränderungen wurden einleitend gewählt. Es folgen Fragen zur Wahrnehmung von Veränderungen der laryngealen Strukturen, die eine Erweiterung bzw. Ergänzung des ersten Themenkomplexes darstellen. Um die Einschätzung der Stimme zu intensivieren, wurde in Frage 10 nochmals auf den Bereich Stimme Bezug genommen.

Die 13 gewählten Items umspannen in kurzer, jedoch für die Kernfrage ausreichenden und vollständigen Umfang, das Feld stimmlicher und laryngealer Symptome und lassen eine differenzierte Beurteilung zu.

### *Procedere*

Der Fragebogen, wie er im Folgenden vorliegt, wurde von den Probandinnen unmittelbar im Anschluss an die Stimmfeldmessung zu den drei Untersuchungszeitpunkten ausgefüllt (s. Abb. 27). Ziel ist es, die subjektive Wahrnehmung der Phonationssystems zu den drei Messzeitpunkten zu erfassen. Eine ergänzende Auswertung ist Kap. 11.2 zu entnehmen; hier wird dargestellt, welche der 13 Items besonders häufig genannt und im Zyklusverlauf unterschiedlich bewertet wurden.

## Fragebogen zur Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen

### Allgemeine Datenerfassung

Codenummer:

Untersuchungsnummer:

Zyklustag:

Alter:

Beruf: \_\_\_\_\_

Sprecherausbildung:

Gesangsausbildung:

Raucherin:  nein

ja, \_\_\_\_\_  
Zigaretten/Tag

Kinder:  nein

ja

## WAHRNEHMUNG

Bitte kreuzen Sie die für Sie zutreffende Antwort an.

Welche Symptome beobachten Sie am heutigen Untersuchungstag bei sich?

### 01. Heiserkeit

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 02. Rauigkeit

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 03. Behauchung

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 04. Brüchigkeit der Stimme

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 05. Trockenheit im Kehlkopfbereich

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 06. Schmerzen beim Sprechen

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 07. Schmerzen beim Schlucken

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 08. Räusperzwang

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 09. Hustenreiz

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 10. Kippen der Stimme

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 11. Verschleimung

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 12. Druckgefühl im Kehlkopfbereich

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

### 13. Engegefühl im Kehlkopfbereich

0=gar nicht	1=gering	2=mittel	3=stark	4=sehr stark
-------------	----------	----------	---------	--------------

**Vielen Dank für Ihre Unterstützung!**

Abb. 27: Fragebogen zur Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen

## 10 Untersuchungsergebnisse

### 10.1 Statistisches Vorgehen

Die statistische Analyse der Datenerhebungen erfolgte unter Windows XP mit dem Statistikprogramm „R“, Version 2.7.2. von `The R Foundation for Statistical Computing`. Verwendung fanden dabei die programmeigenen Module R-Console, R-Editor und R-Graphics Device.

Als Signifikanzniveau wurde  $\alpha = 0.05$  festgelegt. Alpha ist die Wahrscheinlichkeit, dass „ $H_0$  aufgrund der Stichprobe verworfen wird, obwohl  $H_0$  für die Grundgesamtheit zutrifft“ (Fahrmeir et al., 2005, S. 415). Das Ergebnis, d.h. der Unterschied der Werte ist auf dem 5%-Niveau signifikant, wenn man als Untersuchungsergebnis  $p \leq \alpha = 0.05$  erhält, so dass zugunsten der Hypothese  $H_1$  entschieden wird. Als Maß der zentralen Tendenz wurde der Median dem arithmetischen Mittel vorgezogen, da das Ergebnis durch Ausreißer weniger beeinflusst wird. Zudem wurden in Klammern die Quartile (25%-Quantil und 75 %-Quantil) angegeben.

Zur Analyse der Daten wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt, ein gemischtes lineares Modell, das random intercept Modell, das Anwendung findet, wenn mehrere Messungen an einer Person durchgeführt werden. Zur Signifikanzprüfung wurde das T-Testverfahren durchgeführt.

Für die Datenanalyse wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse, ANOVA (analysis of variance) angewandt. Diese erfasst den Einfluss zweier Variablen, Status und Messzeitpunkt auf eine abhängige Variable, die den Messwert darstellt. Der Einfluss der unabhängigen Variablen auf die Zielvariable soll überprüft werden. Die Signifikanzprüfung erfolgte über den F-Test. Es handelt sich um ein statistisches Testverfahren, der es ermöglicht, auf Vorliegen von Faktoreffekten zu testen, indem die durch das Modell erklärte Streuung mit der Residualstreuung ins Verhältnis gesetzt wird.

Um die Vergleichbarkeit des Fragebogens mit den im Stimmfeld erfassten Daten herstellen zu können, wurde anhand des im Fragebogen ermittelten Scores jeder Messung ein Rang zugewiesen. Im Sinne einer besseren Vergleichbarkeit wurden die Ränge des Fragebogens

umgekehrt. Im Fragebogen bedeutet der niedrigste Score eine gute subjektive Beurteilung der Stimme, was im Idealfall bspw. mit hohen Frequenz- und DSI-Werten übereinstimmt um umgekehrt. Die Übereinstimmungen der Ränge wurden mit den Werten der Stimmparameter überprüft und ausgewertet. Bei gleichen Scores wurden entsprechend gleiche Ränge verteilt.

Als graphische Darstellungsform wurden vorwiegend *Boxplots* zur Veranschaulichung der Datenverteilung gewählt. Die Box stellt den Bereich dar, in dem die mittleren 50% der Werte erfasst sind. Sie wird vom oberen und unteren Quartil (25%- bzw. 75%-Quantil) begrenzt; die Länge der Box gibt den Interquartilsabstand wieder. Die innere Linie repräsentiert den Median. Innerhalb der Boxplots können Veränderungen des Medians veranschaulicht und abgelesen werden. Ausreißer werden außerhalb der boxplots durch Kreise dargestellt. Die Länge der Whisker wurde mit  $1,5 \times$  dem Interquartilsabstand ( $1,5 \times$  IQR) festgelegt. Wenn Extremwerte innerhalb dieses Bereichs liegen, dann endet der Whisker beim Extremwert. Werte die darüber liegen, werden als Kreise dargestellt.

## 10.2 Ergebnisse der Hypothesenprüfung

### 10.2.1 Erhebung von Stimmparametern zur Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen

Die Arbeitshypothese H1 wird in Teilhypothesen unterteilt; jede Teilhypothese wird isoliert betrachtet und auf ihre Signifikanz untersucht.

#### H0<sup>1</sup>

Zyklusbedingte Stimmveränderungen können im Singstimmfeld nicht durch Veränderungen von Stimmparametern erfasst werden. Der Messzeitpunkt hat keinen Einfluss auf folgende Stimmparameter:

H0 <sup>1</sup>	1	a) Frequenz max.	b) Frequenz min.	c) Stimmumfang
H0 <sup>1</sup>	2	a) Intensität max.	b) Intensität min.	c) Dynamikumfang
H0 <sup>1</sup>	3	DSI		

**Arbeitshypothese 1**

**Zyklusbedingte Stimmveränderungen können im Singstimmfeld durch Veränderungen von Stimmparametern innerhalb dreier festgelegter Zeitphasen im Zyklus erfasst werden. Der Messzeitpunkt hat einen Einfluss auf die Stimmparameter, die einzeln untersucht werden:**

<b>H1. 1</b>	<b>a) Frequenz max.</b>	<b>b) Frequenz min.</b>	<b>c) Stimmumfang</b>
<b>H1. 2</b>	<b>a) Intensität max.</b>	<b>b) Intensität min.</b>	<b>c) Dynamikumfang</b>
<b>H1. 3</b>	<b>DSI</b>		

Die im Singstimmfeld erfassten Stimmparameter Frequenz und Intensität beziehen sich auf melodische und dynamische Aspekte der Stimme, anhand derer stimmliche Veränderungen nachgewiesen werden sollen. Auch anhand des DSI soll dies gezeigt werden. Der Jitter wird aufgrund seiner Störanfälligkeit nicht isoliert untersucht.

Anhand der Teilhypothesen gilt es den Einfluss des Messzeitpunkts auf die o.g. Stimmparameter zu untersuchen.

Mittels der Betrachtung der Medianwerte soll gezeigt werden, dass sich beim Vergleich der Werte zum Zeitpunkt t1 (Menstruationsphase), t2 (späte Follikelphase/Ovulation) und t3 (Prämenstrum) die besten Werte zu t2 ergeben.

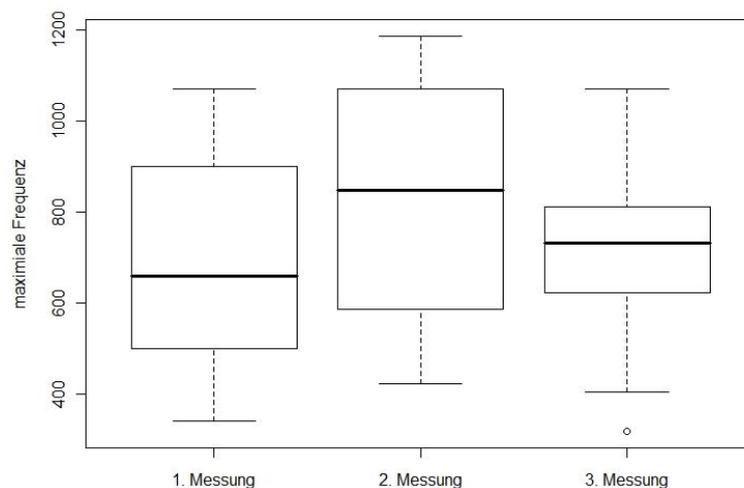
Im Rahmen der Datenanalyse wurden die Interaktionen zwischen Messzeitpunkt und Status untersucht. Es ergaben sich keine signifikanten Interaktionen, so dass die Haupteffekte getrennt voneinander betrachtet werden können. Das primäre Interesse gilt dabei – wie in der Hypothese zu Grunde gelegt – dem Einfluss des Messzeitpunkts. Ergänzend und da für die Interpretation ausschlaggebend, wird auch der Einfluss des Status – soweit signifikant – kurz dargestellt.

**Ergebnis zu H1.1: Frequenzen****Ergebnis zu H 1.1 a) maximale Frequenz**

Auf der Basis der theoretischen Grundlagen ist davon auszugehen, dass die Tonhöhe, insbesondere die obere Stimmgrenze aufgrund von Veränderungen der Struktur und des

Schwingungsverhaltens der Stimmlippen im Zyklusverlauf differiert. Es ist weiter davon auszugehen, dass zum Zeitpunkt t2, dem Zeitpunkt der späten Follikel- bzw. Ovulationsphase, die obere Tongrenze maximal ist, da das phonatorische System innerhalb dieser Zyklusphase aufgrund des Hormonstatus nicht eingeschränkt ist. Das Schwingungsverhalten und der Tonus der Stimmlippen sind nicht beeinträchtigt.

Abb. 28 veranschaulicht die Werte, die anhand der in Kap. 10.1 vorgenommen Analyseverfahren ermittelt wurden. Tab. 7 erfasst die Mediane und die Extremwerte.



**Abb. 28:** Vergleich der maximalen Frequenzen zu den drei Messzeitpunkten

Messzeitpunkt	Medianwerte
t1	659,26 Hz (500,76 - 900,58)
t2	848,08 Hz (611,48 - 1070,98)
t3	731,94 Hz (630,73 - 811,65)

**Tab. 7:** Mediane der maximalen Frequenzen zu den drei Messzeitpunkten

Der Einfluss des Messzeitpunkts in Bezug auf die maximale Frequenz ist mit einem p-Wert von 0.0001 höchst signifikant.

Zum Zeitpunkt t2 erreicht der Median einen Wert von 848,08 Hz (611,48 - 1070,98). Der Median zum Zeitpunkt t3 im Prämenstrum beträgt 731,94 Hz (630,73 - 811,65) und zum Zeitpunkt t1 während der Menstruationsphase ergibt sich ein Median von 659,26 Hz (500,76 - 900,58). Der Frequenzwert zu t2 entspricht einer ungefähren Tonhöhe um  $g_{is}^2$ , zu t1 einer

Tonhöhe um  $e^2$  und zu  $t_3$   $fis^2$ . Die maximalen Frequenzen erreichen zum Zeitpunkt  $t_2$  den höchsten Wert.

Tab. 8 zeigt den Trend der maximalen Frequenzen in Bezug auf den Messzeitpunkt  $t_1$ .

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
factor_messung 2	160.2325	25.78946	46	6.213100	0.0000
factor_messung 3	36.6867	25.78946	46	1.422545	0.1616
factor_status 2	-271.4238	96.72019	21	-2.806278	0.0106
factor_status 3	-131.5871	96.72019	21	-1.360492	0.1881

**Tab. 8: output des gemischten Modells: maximale Frequenzen – factor\_messung + factor\_status**

Im Vergleich zu  $t_1$  ist die maximale Frequenz zu  $t_2$  um 160,2325 Hz erhöht. Zu  $t_3$  ist der Frequenzunterschied in Bezug auf  $t_1$  um 36,6867 Hz höher, jedoch im Vergleich  $t_2$  zu  $t_1$  erheblich weniger ausgeprägt.

Aus den Daten ist abzuleiten, in welchem Ausmaß die maximalen Frequenzen von  $t_2$  und  $t_3$  bzw.  $t_2$  und  $t_1$  abweichen.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die obere Stimmgrenze durch den Messzeitpunkt beeinflusst wird. Daraus ist auf physiologischer Ebene abzuleiten, dass das Schwingungsverhalten der Stimmlippen durch den Messzeitpunkt beeinflusst wird.

Ergänzend wird der Einfluss des Stimmstatus erfasst. Status 1 erfasst die Werte der elite vocal performers, Status 2 die der professional voice users und Status 3 die Werte der non-vocal professionals. Betrachtet man die Mediane der drei Probandinnengruppen getrennt voneinander, so zeigt sich, dass der Median der maximalen Frequenz beim Status 1 am höchsten ist (s Tab. 9). Status 1 erreicht eine ungefähre Tonhöhe von  $b^2$ , Status 2 eine Tonhöhe von  $d^2$  und Status 3 von  $fis^2$ . Mit einem p-Wert von 0.0353 ist der Einfluss des Status in Bezug auf die maximale Tonhöhe signifikant.

Status	Medianwerte
Status 1	932,90 Hz (805,61 – 991,66)
Status 2	595,59 Hz (478,50 – 770,88)
Status 3	731,49 Hz (532,87 – 991,66)

**Tab. 9: Mediane der maximalen Frequenzen nach Status unterteilt**

Tab. 8 gibt den Trend der maximalen Frequenzen in Bezug auf Status 1 wieder.

In Bezug auf Status 1 zeigt sich, dass die maximale Frequenz bei Status 2 um einen Wert von 271,4238 Hz niedriger ist und bei Status 3 in Bezug auf Status 1 um 131,5871 Hz.

Wie anzunehmen ist, erreichen die Probandinnen des Status 1 eine höhere Stimmgrenze als die Probandinnen des Status 2 und 3. Die Gesangsausbildung wirkt sich hier sichtlich aus. Erkennbar ist aber auch, dass die Probandinnen des Status 2 niedrigere Werte erzielen als die des Status 3; das bedeutet, dass die obere Stimmgrenze bei den professional voice users, den Berufssprecherinnen, am niedrigsten ist. An dieser Stelle ist der kleine Datensatz zu berücksichtigen. In Kap. 11 wird auf diesen Aspekt eingegangen.

### Ergebnis zu H 1.1 b) minimale Frequenz

Ein vergleichbarer Trend wie bei den maximalen Frequenzen zeigt sich für die untere Stimmgrenze, wie aus Abb. 29 hervorgeht. Der Einfluss des Messzeitpunktes in Bezug auf die minimale Frequenz ist jedoch mit einem von p-Wert 0.1905 nicht signifikant.

Zum Zeitpunkt t2 werden von den Probandinnen die tiefsten Frequenzen erreicht, d.h. die untere Stimmgrenze ist herabgesetzt. Wie Tab. 10 zu entnehmen ist, ist der Median zum Zeitpunkt t2 132,71 Hz (124,91 - 153,78). Während der Menstruation zum Zeitpunkt t1 ergibt sich ein Median von 141,04 Hz (128,21 - 151,72) und im Prämenstrum t3 von 143,48 Hz (132,73 - 148,54). Zu t2 entsprechen die Frequenzen einer ungefähren Tonhöhe von c und zu t1 und t3 einer ungefähren Tonhöhe von cis. Die Veränderungen variieren im Vergleich zur oberen Stimmgrenze erheblich weniger.

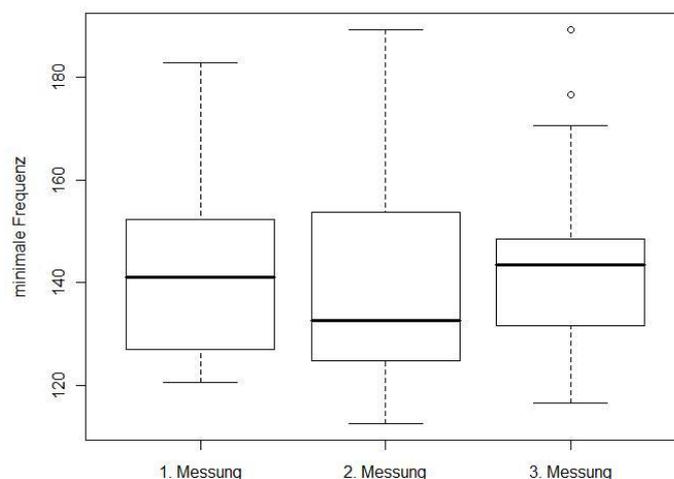


Abb. 29: Vergleich der minimalen Frequenzen zu den drei Messzeitpunkten

Messzeitpunkt	Medianwerte
t1	141,04 Hz (128,21 - 151,72)
t2	132,71 Hz (124,91 - 153,78)
t3	143,48 Hz (132,73 - 148,54)

**Tab. 10: Mediane der minimalen Frequenzen zu den drei Messzeitpunkten**

Betrachtet man die Messungen t2 und t3 in Bezug auf t1, so zeigt sich wiederum ein größerer Unterschied zwischen t1 und t2, während t3 in Bezug auf t1 nur gering differiert (Tab. 11).

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
factor_messung 2	-3.74500	2.475538	46	-1.512803	0.1372
factor_messung 3	0.42667	2.475538	46	0.172353	0.8639
factor_status 2	11.23042	8.768810	21	1.280723	0.2143
factor_status 3	1.76875	8.768810	21	0.201709	0.8421

**Tab. 11: output des gemischten Modells: minimale Frequenzen –factor\_messung+factor\_status**

Der Einfluss des Stimmstatus auf die minimalen Frequenzen ist mit einem p-Wert von 0.4033 nicht signifikant. Die values (Tab. 11) zeigen den Trend der minimalen Frequenzen hinsichtlich des Status.

Der Messzeitpunkt ist in Bezug auf die minimalen Frequenzen nicht signifikant. Die Werte, die zum Zeitpunkt t2 erreicht werden, sind am niedrigsten; die Unterschiede sind jedoch gering. Daraus lässt sich dennoch folgern, dass das Schwingungsverhalten der Stimmlippen, das auch bei tiefen Tönen eine enorme Feinabstimmung erfordert, zum Zeitpunkt t2 am differenziertesten ist. Zu den Vergleichszeitpunkten t1 und t3 ist die untere Stimmgrenze nach oben verlagert und bei Betrachtung der Medianwerte auf vergleichbarem Niveau. Die Differenz zwischen t1 und t3 ist gering, was auf vergleichbare strukturelle Zustände des phonatorischen Systems hinweist. Nähere Erläuterungen finden sich in Kap. 11.

### **Ergebnis zu H 1.1 c) Stimmumfang**

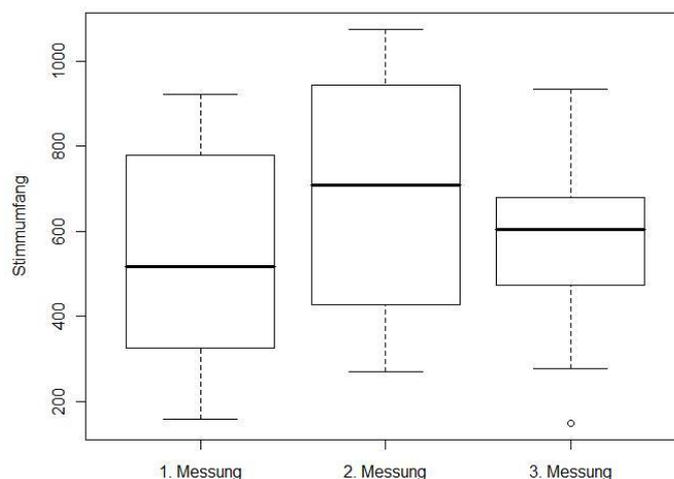
Aus den bisherigen Daten und Ergebnissen, die sich aus den minimalen und maximalen Frequenzen ergeben, ist abzuleiten, dass der Stimmumfang zum Zeitpunkt t2 maximal ist (s. Tab. 12). Der Median zum Zeitpunkt t2 beträgt 707,80 Hz (446,37 - 942,77). Zum

Zeitpunkt t1 liegt der Stimmumfang bei einem Wert von 515,78 Hz (327,58 - 776,74) und bei t3 bei einem Wert von 604,68 Hz (486,26 - 678,92).

Messzeitpunkt	Medianwerte
t1	515,78 Hz (327,58 - 776,74)
t2	707,80 Hz (446,37 - 942,77)
t3	604,68 Hz (486,26 - 678,92)

**Tab. 12:** Mediane des Stimmumfangs zu den drei Messzeitpunkten

Abb. 30 veranschaulicht die Werte. Der Messzeitpunkt ist mit einem p-Wert von 0.0001 in Bezug auf den Stimmumfang höchst signifikant.



**Abb. 30:** Vergleich des Stimmumfangs zu den drei Messzeitpunkten

Betrachtet man die Richtung der Werte des Stimmumfangs zu t2 und t3 in Bezug auf t1, so ist ein eindeutiger Trend zu erkennen (Tab. 13). Im Vergleich zu t1 ist der Stimmumfang zu t2 um 163,9775 Hz höher; zu t3 ist diese Erhöhung in Bezug auf t1 deutlich geringer mit einem Wert von 36,26 Hz. Daraus lässt sich folgern, dass die Differenz des Stimmumfangs zwischen t2 und dem Vergleichszeitpunkt t1 erheblich größer ist als zu t3 in Bezug auf t1. Dies stimmt mit der Ausgangsannahme überein, dass zu den Zeitpunkten t1 und t3 die Unterschiede aufgrund der vergleichbaren Schleimhautstruktur und des vergleichbaren Stimmlippenverhaltens ähnlich sind. Aufgrund des Zustands des phonatorischen Systems zu t2, das ein optimales Schwingungsverhalten der Stimmlippen ermöglicht, werden die höchsten und niedrigsten Frequenzen zum Zeitpunkt t2 erreicht. Diese Tendenz wird im Bereich des Stimmumfangs besonders deutlich.

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
factor_messung 2	163.9775	25.77362	46	6.362223	0.0000
factor_messung 3	36.2600	25.77362	46	1.406865	0.1662
factor_status 2	-282.6542	100.13422	21	-2.822753	0.0102
factor_status 3	-133.3558	100.13422	21	-1.331771	0.1972

**Tab. 13:** output des gemischten Modells: Stimmumfang –factor\_messung+factor\_status

Auch der Status der Probandinnen ist mit einem p-Wert von 0.034 signifikant. Die Medianwerte sind Tab. 14 zu entnehmen.

Status	Medianwerte
Status 1	795,69 Hz (666,52 – 861,60)
Status 2	452,03 Hz (306,54 – 641,33)
Status 3	604,68 Hz (373,71 – 857,54)

**Tab. 14:** Mediane des Stimmumfangs nach Status unterteilt

Dabei zeigt sich folgende Richtung hinsichtlich des Status, die ebenfalls Tab. 14 zu entnehmen ist. Im Vergleich zu Status 1 ist der Stimmumfang bei Status 2 um 282,6542 Hz niedriger und im Vergleich zu Status 3 um 133,3558 Hz. Die Probandinnen des Status 1 erreichen den größten Stimmumfang, was aufgrund der Gesangsausbildung anzunehmen war.

### **Fazit zu Hypothese 1.1:**

Die Teilhypothese H1.1 a und H1.1 c konnten bestätigt werden; dies bezieht sich auf die Stimmparameter maximale Frequenzen und Stimmumfang. Der Messzeitpunkt hat in Bezug auf diese zwei Parameter einen signifikanten Einfluss.

Für die minimalen Frequenzen konnte dies nicht gezeigt werden: H1.1 b konnte nicht bestätigt werden, die Nullhypothese  $H_0^1$  b kann nicht verworfen werden.

Die obere Stimmgrenze weist zum Zeitpunkt t2 die höchsten Werte auf. Die Darstellung der Mediane und die Ergebnisse aus den Vergleichen der Messzeitpunkte sowie die values zeigen, dass zum Zeitpunkt t2 Unterschiede zu den Messzeitpunkten t3 und t1 bestehen. In der späten Follikelphase bzw. während der Ovulation zeigen sich die höchsten Werte im Bereich der

maximalen Frequenz und des Stimmumfangs. Im Prämenstrum und während der Menstruationsphase sind die Werte niedriger.

Der Einfluss des Messzeitpunkts auf die minimale Frequenz konnte auf Signifikanzniveau nicht nachgewiesen werden. Anhand der Mediane lässt sich eine Tendenz dahingehend erkennen, dass zum Zeitpunkt t2 die niedrigsten Werte erreicht werden.

Als weiteres Ergebnis lässt sich festhalten, dass der Einfluss des Stimmstatus auf die maximalen Frequenzen und den Stimmumfang ebenfalls signifikant ist. Dieser Aspekt wird in den Kap. 10.2.2 und 11.1 erweiternd aufgegriffen.

### **Ergebnis zu H1.2: Intensität**

Untersucht wurde der Einfluss des Messzeitpunkts auf die Intensität, resp. auf die maximale und die minimale Lautstärke sowie den Dynamikumfang.

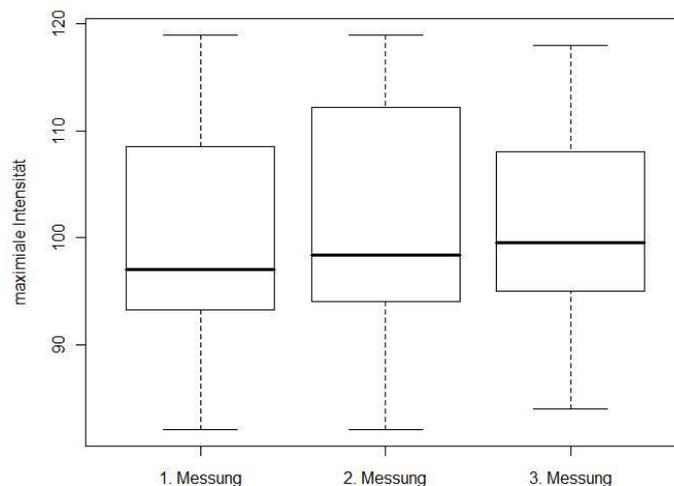
#### **Ergebnis zu H 1.2 a) maximale Intensität**

Wie aus den Daten, die in Tab. 15 dargestellt sind, hervorgeht, liegen die Werte eng zusammen. Der Messzeitpunkt ist mit einem p-Wert von 0.2897 in Bezug auf die Maximallautstärke nicht signifikant.

Der Median der maximalen Intensität zum Zeitpunkt t2 liegt bei 98,35 dB (94,50 - 112,08), zum Zeitpunkt t1 bei 97 dB (93,38 - 108,25) und zum Zeitpunkt t3 bei 99,55 dB (95 - 106).

Messzeitpunkt	Medianwerte
t1	97,00 dB (93,38 - 108,25)
t2	98,35 dB (94,50 - 112,08)
t3	99,55 dB (95,00 - 106,00)

**Tab. 15: Mediane der maximalen Intensität zu den drei Messzeitpunkten**



**Abb. 31: Vergleich der maximalen Intensität zu den drei Messzeitpunkten**

In Bezug auf t1 ist die maximale Intensität zu t2 um 2,1 dB erhöht, in Bezug auf t3 ist diese Erhöhung in Bezug auf t1 nicht ganz so stark, nämlich 1,9 dB (Tab. 16). Wie Abb. 31 veranschaulicht, liegen die maximalen Intensitäten zu den drei Messzeitpunkten eng zusammen. Auch die Whisker zeigen ähnliche Extremwerte. Bereits aus dieser Graphik ist zu entnehmen, dass die maximale Intensität keinen Hinweis auf zyklusbedingte Veränderungen in eindeutiger Weise darstellt. Aus den Daten geht hervor, dass der Messzeitpunkt keinen signifikanten Einfluss auf die maximale Lautstärke ausübt.

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
factor_messung 2	2.10833	1.456204	46	1.44783	0.1544
factor_messung 3	1.90000	1.456204	46	1.30476	0.1985
factor_status 2	-11.94583	3.574777	21	-3.34170	0.0031
factor_status 3	-9.22083	3.574777	21	-2.57942	0.0175

**Tab. 16: output des gemischten Modells: maximale Intensität – factor\_messung+factor\_status**

Der Einfluss des Status auf die maximale Intensität ist mit einem p-Wert von 0.008 signifikant. Betrachtet man die Status getrennt – unabhängig vom Messzeitpunkt – so ergeben sich folgende Mediane, die Tab. 17 zu entnehmen sind.

Status	Medianwerte
Status 1	111,00 dB (98,75 – 115,00)
Status 2	97,00 dB (88,88 – 99,23)
Status 3	96,85 dB (92,75 – 102,00)

**Tab. 17: Mediane der maximalen Intensität nach Status unterteilt**

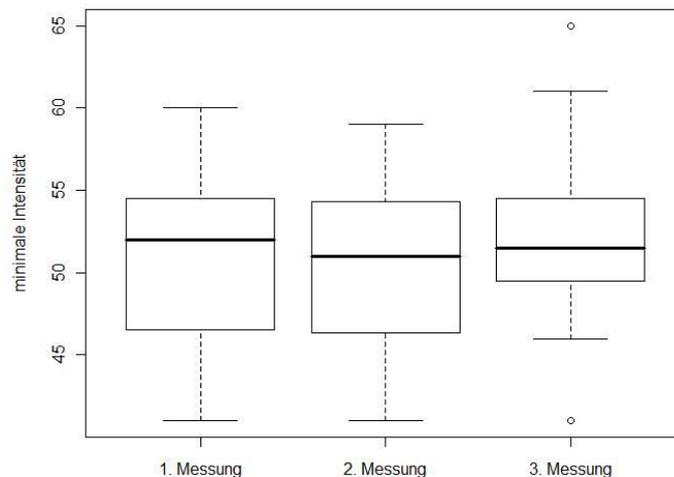
Wie anzunehmen erreichen die Teilnehmerinnen des Status 1 aufgrund langjähriger und intensiver Gesangsausbildung maximale Lautstärken. Dies wird auch anhand der values in Tab. 16 deutlich. Im Vergleich zu Status 1 ist die maximale Intensität zu Status 2 um 11,94583 dB niedriger. Im Vergleich zu Status 3 ist die Lautstärke in Bezug auf Status 1 nur um 9,22083 dB niedriger.

### Ergebnisse zu H 1.2 b) minimale Intensität

Vergleichbare Tendenzen wie bei der maximalen Intensität zeigen sich bei der minimalen Intensität. Die Mediane bezogen auf die drei Messzeitpunkte liegen wiederum eng zusammen wie aus Tab. 18 hervorgeht und graphisch anhand der boxplots in Abb. 32 veranschaulicht wird. Der Einfluss des Messzeitpunkts auf die minimale Intensität ist mit einem p-Wert von 0.1024 nicht signifikant.

Messzeitpunkt	Medianwerte
t1	52,00 dB (46,78 – 54,25)
t2	51,00 dB (46,53 – 54,15)
t3	51,50 dB (49,75 – 54,25)

**Tab. 18: Mediane der minimalen Intensität zu den drei Messzeitpunkten**



**Abb. 32: Vergleich der minimalen Intensität zu den drei Messzeitpunkten**

Die geringe Öffnungsamplitude, die eine leise Stimmgebung erfordert, wird durch die Veränderungen des phonatorischen Systems kaum beeinflusst. Zwar zeigt sich zu t2 die niedrigste Intensität, dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Werte nur äußerst gering differieren. Um zu einer eindeutigen Aussage zu gelangen, ist die Untersuchung an einer größeren Stichprobe durchzuführen.

Ergänzend wurde der Einfluss des Status auf die minimale Intensität untersucht; dieser ist mit einem p-Wert von 0.7849 ebenfalls nicht signifikant.

Die minimale Intensität ist demnach als Indikator für zyklusbedingte Veränderungen nicht aussagekräftig.

### **Ergebnisse zu H 1.2 c) Dynamikumfang**

Betrachtet man ergänzend den Einfluss des Messzeitpunkts auf die Stimmdynamik, so zeigt sich folgendes Ergebnis, das graphisch in Abb. 33 veranschaulicht ist. Die Mediane zu den drei Messzeitpunkten sind Tab. 19 zu entnehmen. Es zeigt sich, dass der Dynamikumfang – entgegen der Ausgangsannahme – zu t2 am geringsten ist. Der Messzeitpunkt ist mit einem p-Wert von 0.3001 nicht signifikant in Bezug auf die Stimmdynamik.

Messzeitpunkt	Medianwerte
t1	50,00 dB (41,00 – 53,25)
t2	45,80 dB (42,83 – 59,30)
t3	49,00 dB (41,75 – 52,25)

Tab. 19: Mediane des Dynamikumfangs zu den drei Messzeitpunkten

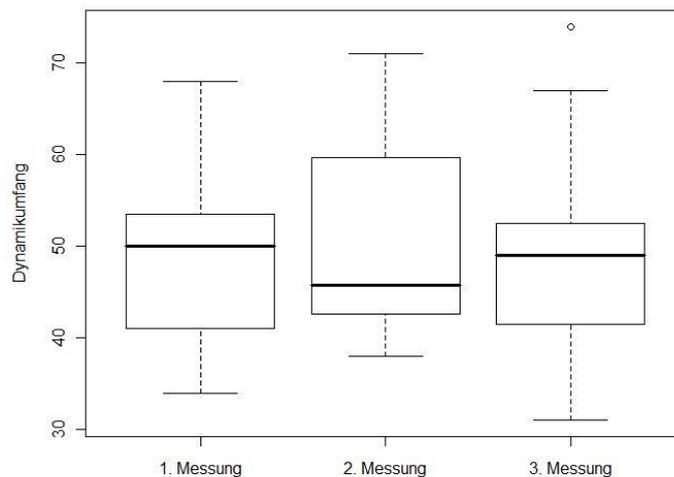


Abb. 33: Vergleich der Stimmdynamik in Bezug zu den drei Messzeitpunkten

Zieht man zur Analyse die Richtung der Werte der heran, so zeigen sich die in Bezug auf die Stimmdynamik geringen Unterschiede in der Ausprägung (s. Tab. 20).

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
factor_messung2	2.62917	1.811602	46	1.451294	0.1535
factor_messung3	0.36667	1.811602	46	0.202399	0.8405
factor_status2	-10.65417	3.784020	21	-2.815568	0.0104
factor_status3	-9.32500	3.784020	21	-2.464310	0.0224

Tab. 20: output des gemischten Modells: Dynamikumfang – factor\_messung + factor\_status

Betrachtet man den Einfluss des Status auf die Stimmdynamik, so zeigt sich ein vergleichbares Bild wie bei der maximalen Lautstärke. Aus dem Vergleich der Medianwerte geht hervor, dass der Dynamikumfang bei den Probandinnen mit Gesangsausbildung am größten ist. Beim Vergleich der Werte abhängig vom Status ergeben sich zum Zeitpunkt t2 folgende Medianwerte (s. Tab. 21).

Der Einfluss des Status ist mit einem p-Wert von 0.0205 signifikant.

Status	Medianwerte
Status 1	55,00 dB (46,08 – 67,00)
Status 2	44,60 dB (38,75 – 52,00)
Status 3	45,60 dB (41,00 – 50,00)

**Tab. 21: Mediane der Stimmdynamik nach Status unterteilt**

Betrachtet man den Trend, so zeigt sich in Bezug auf Status 1, dass bei Status 2 die Werte um 10,65417 dB niedriger sind und bei Status 3 um 9,325 dB. Die Probandinnen des Status 1 weisen im Durchschnitt den größten Dynamikumfang auf, was auf die intensive Ausbildung mit der Stimme zurückzuführen ist.

### **Fazit zu Hypothese 1.2:**

Die Teilhypothesen H 1.2 a, H 1.2 b und H 1.2 c konnten nicht bestätigt werden. Die Nullhypothese kann für keinen der Stimmparameter verworfen werden. Ein signifikanter Einfluss des Messzeitpunkts auf die unterschiedlichen Parameter der Intensität konnte nicht nachgewiesen werden.

Abzuleiten ist daraus, dass der Messzeitpunkt keine entscheidenden Auswirkungen auf die Amplitude bzw. Amplitudenausprägung ausübt. Die Intensität gibt keinen Hinweis auf zyklusbedingte Stimmveränderungen und ist somit als Indikator nicht geeignet.

Für die maximale Intensität und die Stimmdynamik konnte hingegen ein signifikanter Einfluss des Stimmstatus festgestellt werden. Diese beiden Stimmparameter bedingen sich gegenseitig und zeigen eine enge Verknüpfung.

Die Konsequenz, die sich daraus für die Stimmdiagnostik und die Ausbildung ergibt, wird in Kap. 11.1 dargestellt.

### **Ergebnis zu H 1.3: Dysphonia Severity Index**

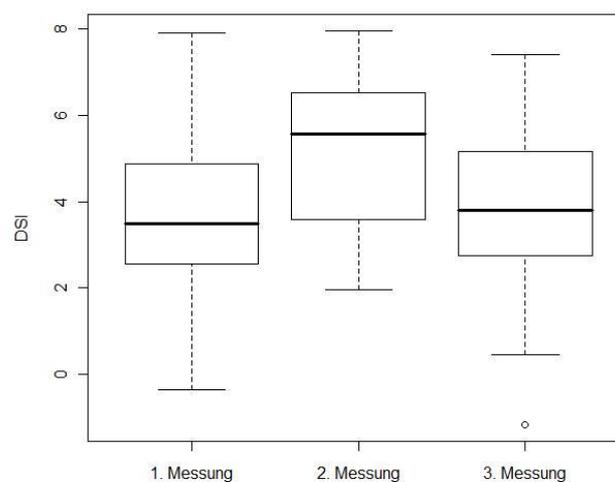
Der Dysphonia Severity Index gibt in Form eines Zahlenwertes Auskunft über das Vorhandensein bzw. den Ausprägungsgrad einer Stimmstörung. Mit einem p-Wert von 0.0001 ergibt sich ein höchst signifikantes Ergebnis in Hinblick auf den Einfluss des Messzeitpunkts auf den DSI. Der DSI ist anhand der Betrachtung der Mediane zum Zeitpunkt t2 am höchsten

(s. Tab. 22). Der Median der DSI-Werte zum Zeitpunkt t2 beträgt 5,56 (3,65 - 6,44). Im Vergleich dazu beträgt der Median zu t1 3,49 (2,62 - 4,73) und zu t3 nimmt er einen Wert von 3,80 (2,78 - 5,07) ein.

Messzeitpunkt	Medianwerte
t1	3,49 (2,62 - 4,73)
t2	5,56 (3,65 - 6,44)
t3	3,80 (2,78 - 5,07)

**Tab. 22: Mediane des DSI zu den drei Messzeitpunkten**

Die Werte deuten darauf hin, dass stimmliche Auffälligkeiten zu t2 weniger ausgeprägt sind; anders formuliert ist die Stimmgüte zu diesem Zeitpunkt erheblich höher als zu den Vergleichszeitpunkten während der Menstruation zum Zeitpunkt t1 und im Prämenstrum zum Zeitpunkt t3. Die DSI-Werte zu den Messzeitpunkten t1 und t3 sind sehr ähnlich. Zieht man Tab. 6 heran, so zeigt sich, dass bei einem Wert von  $>4,2$  die Stimme als unauffällig eingestuft wird. Betrachtet man diesen Wert als Anhaltspunkt, so ist festzustellen, dass zum Zeitpunkt t2 der Median über dieser Grenze liegt und damit eine hohe Stimmgüte widerspiegelt, während zu den Zeitpunkten t1 und t3 die Stimmqualität vergleichbar ist, wobei die qualitative Komponente im Vergleich zu t2 reduziert ist. Abb. 34 veranschaulicht den Vergleich der DSI-Werte zu den drei Messzeitpunkten.



**Abb. 34: Vergleich der DSI-Werte zu den drei Messzeitpunkten**

Tab. 23 gibt den Trend der Werte wieder. Im Vergleich zu t1 ist der DSI zu t1 um einen Wert von 1.54983 höher; t3 ist in Bezug auf t1 lediglich um einen Wert von 0.039167 erhöht. Wie im Bereich der Frequenzen auch sind die Werte zu t1 und t3 sehr vergleichbar. Auf diese ähnlichen Ausprägungen der Werte wird in Kap. 11.1 eingegangen.

	Value	Std. Error	DF	t-value	p-value
factor_messung2	1.549583	0.2836205	46	5.463581	0.0000
factor_messung3	0.039167	0.2836205	46	0.138095	0.8908
factor_status 2	-1.906250	0.7562548	21	-2.520645	0.0199
factor_status 3	-0.480000	0.7562548	21	-0.634707	0.5325

**Tab. 23: output aus dem gemischten Modell: DSI – factor\_messung+factor\_status**

Betrachtet man zusätzlich die drei Probandinnengruppen getrennt, so zeigt sich, dass der Faktor Status mit einem p-Wert von 0.0511 gerade nicht signifikant ist.

### **Fazit zu Hypothese 1.3:**

Die Hypothese H 1.3 konnte bestätigt werden. Der Messzeitpunkt hat einen signifikanten Einfluss auf den DSI. Die Nullhypothese  $H_0^1$  3 kann verworfen werden.

Zum Zeitpunkt t2 ist der Median des DSI-Werts höher als zu den Zeitpunkten t1 und t3. Die qualitative Komponente ist somit um die Phase der Ovulation am höchsten.

Die Betrachtung des DSI-Werts in Bezug auf die stimmlichen Veränderungen im Zyklus ist demnach sinnvoll und aussagekräftig.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die kombinierte Betrachtung von maximaler Frequenz, Stimmumfang und DSI-Wert in Bezug auf die Interpretation zyklusbedingter Stimmveränderungen in die gleiche Richtung weisen und damit als aussagekräftig betrachtet werden. Auch zu berücksichtigen ist die untere Stimmgrenze, obgleich hier keine Signifikanz nachgewiesen werden konnte. Die Intensität hingegen gibt im Stimmfeld keine Hinweise auf zyklusbedingte Stimmveränderungen.

Auf die Betrachtung der aussagefähigen Stimmparameter und der damit einhergehenden Konsequenzen wird in Kap. 11.1 ausführlich eingegangen.

**Ergebnis zur Arbeitshypothese 2****H0<sup>2</sup>**

Die mittlere Sprechstimmlage, die im Sprechstimmfeld erfasst wird, zeigt zu den drei Messzeitpunkten erhebliche Veränderungen. Der Messzeitpunkt hat einen Einfluss auf die mittlere Sprechstimmlage.

**Arbeitshypothese 2**

**Die mittlere Sprechstimmlage, die im Sprechstimmfeld erfasst wird, zeigt zu den drei Messzeitpunkten keine oder geringe Veränderungen. Der Messzeitpunkt hat keinen Einfluss auf die mittlere Sprechstimmlage.**

Auf Grundlage der theoretischen Ausführungen ist anzunehmen, dass sich Veränderungen nur im Singstimmfeld, nicht aber im Sprechstimmfeld nachweisen lassen, da sich die strukturellen Veränderungen vor allem bei extremen und intensiven Stimmanforderungen auf die Stimme auswirken. Als Stimmparameter wurde die mittlere Sprechstimmlage, die den durchschnittlichen alltäglichen Stimmanforderungen entspricht, untersucht.

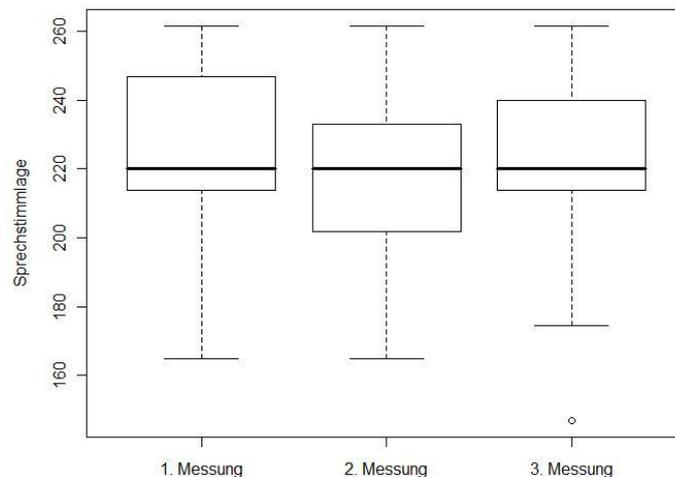
Der Median der Sprechstimmlage liegt zu allen drei Messzeitpunkten bei 220 Hz; dies entspricht der Tonhöhe a. Lediglich die 25%- und 75%- Quantile unterscheiden sich, wie aus Tab. 24 hervorgeht. Auch die Extremwerte differieren nicht auffällig, mit Ausnahme eines Ausreißers zu t3.

Messzeitpunkt	Medianwerte
t1	220 Hz (216,00 - 249,90)
t2	220 Hz (204,70 - 233,10)
t3	220 Hz (216,90 - 236,55)

**Tab. 24: Mediane der mittleren Sprechstimmlage zu den drei Messzeitpunkten**

Der Messzeitpunkt hat mit einem p-Wert von 0.2976 keinen Einfluss auf die Sprechstimmlage.

Wie aus Abb. 35 hervorgeht, sind die Messwerte zu den drei Messzeitpunkten vergleichbar. Für die Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen ist die mittlere Sprechstimmlage nicht als entscheidender Indikator zu werten.



**Abb. 35: Vergleich der mittleren Sprechstimmlage zu den drei Messzeitpunkten**

Auch der Status der Probandinnen hat mit einem p-Wert von 0.3603 keinen Einfluss auf die mittlere Sprechstimmlage.

**Fazit:**

Die Nullhypothese  $H_0^2$  kann verworfen werden. Der Messzeitpunkt hat keinen signifikanten Einfluss auf die mittlere Sprechstimmlage. Aus der Betrachtung der Mediane geht hervor, dass zum Zeitpunkt t2 nur geringe Veränderungen in Bezug auf t1 und t3 auftreten.

Die Sprechstimmlage zeigt kaum Variationen im Zyklus. Sie unterliegt weniger modulatorischen Aspekten als die Singstimme und erfordert daher weniger Feinabstimmung und extremere Tonuseinstellungen der Stimmlippen. Aufgrund der Daten scheint die Sprechstimme von den Veränderungen des phonatorischen Systems kaum beeinträchtigt zu sein; darüber hinaus ist möglich, dass sich die Phonation den physiologischen Voraussetzungen anpasst und bspw. ausgeprägte Tonhöhenvariationen beim Sprechen nicht stattfinden. Die Erläuterung und die Konsequenz sowie der Zusammenhang mit dem Singstimmfeld werden in Kap. 11.1 erläutert.

## **10.2.2 Subjektive Wahrnehmung des phonatorischen Systems hinsichtlich zyklischbedingter Veränderungen**

### **H0<sup>3</sup>**

Die drei Probandinnengruppen unterscheiden sich nicht in der subjektiven Wahrnehmung für zyklusbedingte Stimmveränderungen, d.h. der Status hat keinen Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung des phonatorischen Systems in Hinblick auf zyklusbedingte Veränderungen.

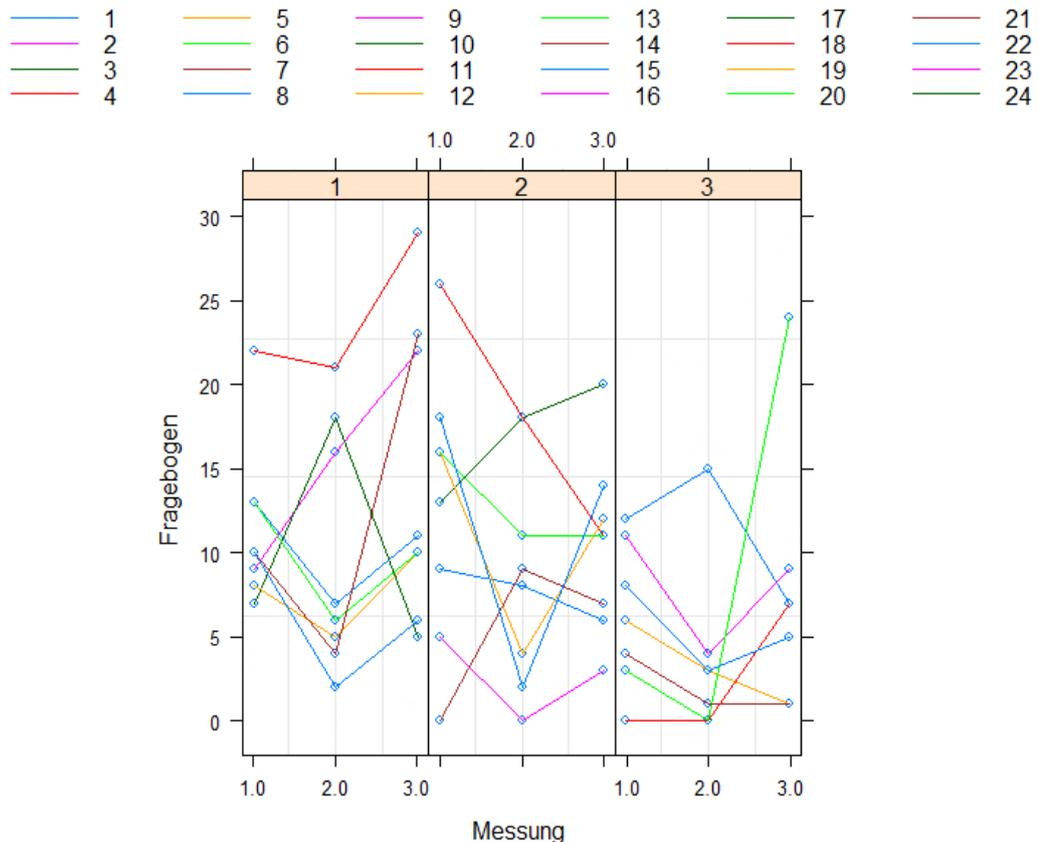
### **Arbeitshypothese 3:**

**Die drei Probandinnengruppen unterscheiden sich in der subjektiven Wahrnehmung für zyklusbedingte Stimmveränderungen, d.h. der Status hat einen Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung des phonatorischen Systems in Hinblick auf zyklusbedingte Veränderungen.**

An dieser Stelle wird der Einfluss des Status der Probandinnen auf die subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems untersucht. Auf dem Hintergrund der theoretischen Ausführungen, die belegen, dass das phonatorische System sich im Zyklusverlauf in Struktur und Stimmlippenverhalten verändert, wird angenommen, dass entsprechende Schwankungen der Stimme und der laryngealen Wahrnehmung von den Probandinnen abhängig vom Status unterschiedlich wahrgenommen und entsprechend beurteilt werden. In Hinblick auf die subjektive Beurteilung wird vermutet, dass bei den elite vocal performers (Status 1) eine höhere, resp. bessere subjektive Wahrnehmung besteht als bei den professional voice users (Status 2) und den non-vocal professionals (Status 3). Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass in der späten Follikel- und Ovulationsphase zum Zeitpunkt t2 aufgrund des physiologischen Status des Phonationssystems, die Stimme von den Probandinnen als besonders gut empfunden wird bzw. weniger Auffälligkeiten der laryngealen Missempfindungen wahrgenommen werden als zu t1 und t3.

Der Fragebogen erfasst Aspekte der Stimme und der laryngo-pharyngealen Wahrnehmung in 13 Unterpunkten. Niedrigere Scores entsprechen einer geringeren Ausprägung von subjektiv empfundenen Auffälligkeiten. Zu erwarten ist, dass die Items zum Zeitpunkt t2 mit den niedrigsten Scores bewertet werden und dass die Missempfindungen im laryngealen Bereich und die Veränderungen der Stimme während des Prämenstrums t3 und der Menstruationsphase t1 in stärkerer Ausprägung wahrgenommen und entsprechend mit höheren Scores bewertet werden.

Abb. 36 gibt einen Überblick über alle Probandinnen, unterteilt nach Stimmstatus in drei Gruppen: Status 1 = elite vocal performers, Status 2 = professional voice users, Status 3 = non-vocal professionals. Des Weiteren sind die Scores (Vertikalachse) zu den drei Messzeitpunkten (Horizontalachse) angegeben.



**Abb. 36:** Darstellung des Zusammenhangs zwischen Fragebogenscores, Messzeitpunkt und Status (Status 1: elite vocal performers, Status 2: professional voice users, Status 3: non-vocal professionals)

**Anmerkung:** zwei Probandinnen des Status 3 haben zu den drei Messzeitpunkten identische Fragebogenscores, daher sind in der dritten Spalte nur sieben lines erfasst

Der statusorientierte Vergleich der einzelnen Gruppen ergibt folgendes Bild:

Bei sechs Probandinnen des **Status 1** sind die Scores zum Zeitpunkt t2 niedriger als zu t1 und t3.

Bei den Probandinnen vom **Status 2** ergibt sich bei drei Teilnehmerinnen der niedrigste Score zum Zeitpunkt t2 im Vergleich zu t1 und t3. Bei einer Probandin sind die Scores zu t2 und t3 identisch, so dass keine eindeutige Aussage möglich ist.

Bei drei Teilnehmerinnen vom **Status 3** zeigen sich zum Zeitpunkt t2 die niedrigsten Fragebogenwerte; bei zwei Probandinnen sind die Werte zu t1 und t2 identisch und bei einer Probandin ergeben sich zu t2 und t3 gleiche Scores.

Der Faktor Status ist mit einem p-Wert von 0.0376 in Bezug auf die subjektive Wahrnehmung des phonatorischen Systems signifikant.

Betrachtet man ergänzend den Messzeitpunkt, so zeigt sich, dass dieser mit einem p-Wert von 0.0576 nicht signifikant hinsichtlich der subjektiven Beurteilung des phonatorischen Systems ist. Dennoch ist eine Tendenz zu erkennen, wie die folgende Auswertung zeigt:

Aus der differenzierten Betrachtung der Fragebogenscores zu den drei Messzeitpunkten ergibt sich, dass bei insgesamt zwölf Probandinnen die Scores zum Zeitpunkt t2 niedriger sind als zu t1 und t3. Bei zwei Probandinnen sind die Werte zu den Zeitpunkten t1 und t2 identisch und ebenfalls bei zwei Probandinnen zu t2 und t3. Daraus geht hervor, dass die Hälfte der Probandinnen das phonatorische System zu t2, während der Zyklusmitte, am besten beurteilen, bzw. die wenigsten Einschränkungen hinsichtlich der Stimme und der laryngealen Wahrnehmung empfinden. Bei vier Probandinnen ist aufgrund identischer Scores zu jeweils zwei Messzeitpunkten keine eindeutige Aussage möglich.

### **Fazit:**

Die Hypothese H3 konnte bestätigt werden.

Der Status hat einen signifikanten Einfluss auf die Beantwortung des Fragebogens und damit auf die subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems. Der Einfluss des Status auf die Eigenwahrnehmung in Hinblick auf zyklusbedingte Stimmveränderungen wird in Kap. 11.2 näher beleuchtet.

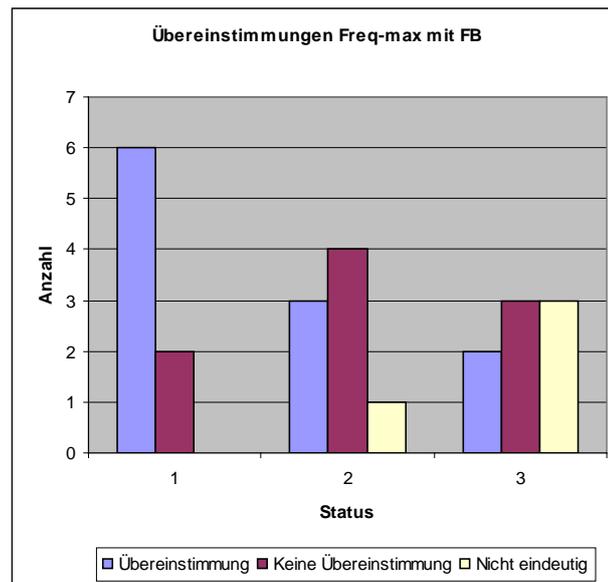
### Ergänzende Folgeuntersuchung

Aus den dargestellten Ergebnissen leitet sich eine Folgefrage ab, auf die an dieser Stelle ergänzend eingegangen wird. Sie betrifft den Zusammenhang zwischen der subjektiven Beurteilung des phonatorischen Systems anhand der Fragebogenscores und den im Stimmfeld erfassten objektiven Messparametern. Es gilt zu überprüfen, ob die subjektive Beurteilung der Stimme mit den Messparametern übereinstimmt, d.h. dass bessere resp. extremere Stimmparameter mit einer geringen Ausprägung von Einschränkungen der Stimme und des laryngealen Empfindens einhergehen. Als Referenz wurden die Stimmparameter gewählt, auf die der Messzeitpunkt und der Status einen signifikanten Einfluss haben. Dies sind die maximale Frequenz und der Stimmumfang. Obgleich der Status mit einem p-Wert von 0.0511 gerade keinen signifikanten Einfluss auf den DSI hat, wurde er dennoch aufgrund seiner Aussagekraft herangezogen. Sofern die besten Werte zu t1 und t3 im Stimmfeld auftraten und hier auch die geringsten Einschränkungen im subjektiven Empfinden bewertet wurden, wurde dies ebenfalls als Übereinstimmung gewertet. Das statistische Vorgehen in Hinblick auf die Rängeverteilung ist Kap. 10.1 zu entnehmen.

Es ist darüber hinaus – wie erläutert – davon auszugehen, dass die subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems durch die Probandinnen des Status 1 mit Gesangsausbildung aufgrund jahrelanger und intensiver Auseinandersetzung mit der Stimme exakter ist als bei den beiden anderen Probandinnengruppen. Die Übereinstimmung der objektiven Messwerte mit der subjektiven Beurteilung müsste im Vergleich höher sein.

Bei den folgenden Diagrammen werden die drei Messzeitpunkte berücksichtigt.

Zieht man die obere Stimmgrenze, d.h. die **maximale Frequenz** als Messparameter heran und erfasst die Übereinstimmungen mit der subjektiven Beurteilung im Fragebogen in Abhängigkeit vom Status, so ergibt sich ein Säulendiagramm, wie es in Abb. 37 dargestellt ist.



**Abb. 37:** Übereinstimmung der maximalen Frequenzen mit den Fragebogenscores unterteilt nach Status (Status 1: elite vocal performers, Status 2: professional voice users, Status 3: non-vocal professionals)

#### Erläuterung<sup>19</sup>:

**Status 1:** sechs eindeutige Übereinstimmungen

**Status 2:** drei eindeutige Übereinstimmungen; bei einer Probandin zeigen sich zu t2 und t3 identische Werte im Fragebogenscore und der maximalen Frequenz

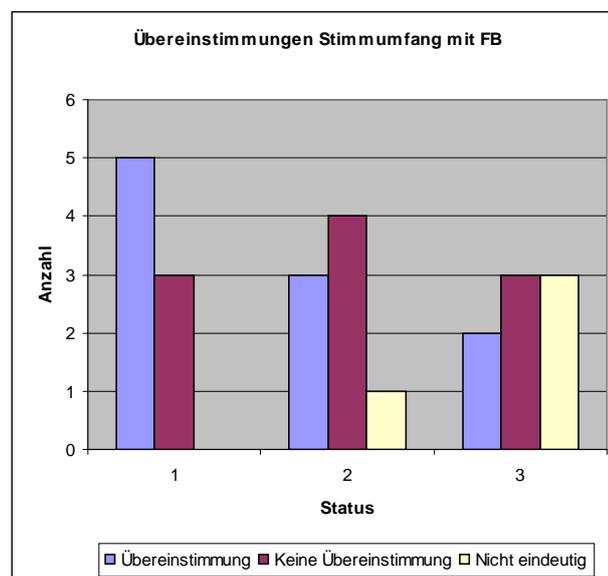
**Status 3:** zwei eindeutige Übereinstimmungen; bei zwei Probandinnen zeigen sich identische Werte bei den Fragebogenscores zu t1 und t2 und bei einer Probandin zu t2 und t3.

Wie erläutert ist eine hohe obere Stimmgrenze als objektives Zeichen der leistungsfähigen Stimme zu werten und sollte mit einem niedrigen Fragebogenscore übereinstimmen. Betrachtet man dies abhängig vom Status, so zeigt sich, dass es bei den Probandinnen vom Status 1 sechs Übereinstimmungen zwischen der maximalen Frequenz und dem Fragebogenscore gibt. Bei drei Berufssprecherinnen (Status 2) und bei zwei Nicht-Berufssprecherinnen

<sup>19</sup> Die Analyse der Daten ergibt, dass die eindeutigen Übereinstimmungen zwischen höchster Frequenz und niedrigstem Score sich bei allen Probandinnen auf den Zeitpunkt t2 beziehen. Bei 12 Probandinnen zeigten sich zu t2 die niedrigsten Fragebogenscores; Abb. 37 zeigt insg. 11 eindeutige Übereinstimmungen. Eine Probandin hatte zu t2 den niedrigsten Score, jedoch erreichte sie zu diesem Zeitpunkt nicht die höchste Frequenz.

(Status 3) bestehen eindeutige Übereinstimmungen. Aus den Werten geht hervor, dass die Probandinnen mit Gesangsausbildung (Status 1) die meisten Übereinstimmungen zwischen der gemessenen maximalen Frequenz und der subjektiven Beurteilung der Stimme aufweisen. Auch unter Berücksichtigung der nicht eindeutigen Werte bei den Teilnehmerinnen von Status 2 und 3 sind die Übereinstimmungen bei den Probandinnen vom Status 1 am höchsten.

Betrachtet man die Übereinstimmungen zwischen **Stimmumfang** und Fragebogenscores, so ergibt sich folgendes Diagramm (Abb. 38).



**Abb. 38:** Übereinstimmung des Stimmumfangs mit den Fragebogenscores unterteilt nach Status (Status: s. Abb. 37)

**Erläuterung<sup>20</sup>:**

**Status 1:** fünf eindeutige Übereinstimmungen,

**Status 2:** drei eindeutige Übereinstimmungen, bei einer Probandin identische Fragebogenscores zu t2 und t3

**Status 3:** zwei eindeutige Übereinstimmungen; bei zwei Probandinnen identische Scores zu t1 und t2; bei einer Probandin identische Scores zu t2 und t3

<sup>20</sup> Die eindeutigen Übereinstimmungen beziehen sich auf t2. Bei einer Probandin des Status 1 und bei einer Probandin des Status 3 stimmen niedrigster Score und größter Stimmumfang nicht überein.

Auch der Stimmumfang gibt für die Probandinnen des Status 1 mehr eindeutige Übereinstimmungen wieder als es bei den Probandinnen vom Status 2 und 3 der Fall ist. Von den acht Probandinnen mit Gesangsausbildung lassen sich bei fünf eindeutige Übereinstimmungen nachweisen, d.h. der Messzeitpunkt mit dem höchsten Stimmumfang stimmt mit den niedrigsten Fragebogenscore überein. Zu diesem Zeitpunkt ist die Leistungsfähigkeit der Stimme hoch und es werden die geringsten Einschränkungen des phonatorischen Systems empfunden, d.h. die Stimme wird als subjektiv gut beurteilt.

Wird als objektiver Stimmparameter der **DSI** herangezogen, so zeigen sich ebenfalls erhebliche Übereinstimmungen zwischen einem hohen DSI-Wert und der subjektiven Beurteilung der Stimme. Abb. 39 gibt die Übereinstimmungen von DSI und Fragebogenscores wieder.

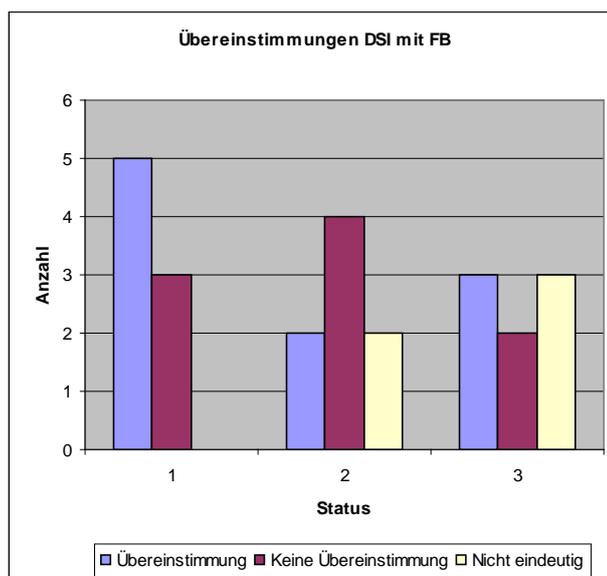


Abb. 39: Übereinstimmung der DSI-Werte mit den Fragebogenscores unterteilt nach Status (Status: s. Abb. 37)

**Erläuterung<sup>21</sup>:****Status 1:** fünf eindeutige Übereinstimmungen**Status 2:** zwei eindeutige Übereinstimmungen; bei einer Probandin ergaben sich identische DSI-Werte zu t1 und t3 und bei einer Probandin identische Fragebogenscores zu t2 und t3**Status 3:** drei eindeutige Übereinstimmungen; bei zwei Probandinnen ergaben sich identische Fragebogenscores zu t1 und t2 und bei einer Probandin identische Fragebogenscores zu t2 und t3

Bei fünf Probandinnen vom Status 1 stimmt die subjektive Einschätzung des Phonationssystems mit den DSI-Werten, die die Stimmqualität widerspiegeln, überein. D.h. die Stimmqualität kann sensibel beurteilt werden. Bei den Teilnehmerinnen vom Status 2 ergeben sich nur zwei und bei denen des Status 3 drei eindeutige Übereinstimmungen.

Festzuhalten ist, dass es sich um eine kleine Stichprobe handelt und die Daten als Tendenzen zu werten sind.

Die Probandinnen vom Status 1 zeigen im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen zu t2 mehr niedrige Fragebogenscores und höhere Übereinstimmungen zwischen subjektiven Beurteilung des phonatorischen Systems und folgenden Stimmparametern: maximale Frequenzen, Stimmumfang und DSI.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass die Berufssprecherinnen und die Nicht-Berufssprecherinnen sich in den eindeutigen Übereinstimmungen nur gering unterscheiden.

Die Erläuterungen hierzu und die Konsequenzen, die sich daraus für die Praxis ableiten, können Kap. 11.2 entnommen werden.

---

<sup>21</sup> Die eindeutigen Übereinstimmungen beziehen sich auf t2. Bei einer Probandin des Status 1 und bei einer des Status 2 stimmen höchster DSI und niedrigster Score nicht überein.

## 11 Interpretation

### 11.1 Stimmparameter als Indikatoren für zyklusbedingte Stimmveränderungen

Zwei Fragen standen im ersten Teil des Projekts im Vordergrund, die ineinander greifen und sich ergänzen. Zum einen sollte der Nachweis erbracht werden, ob zyklusbedingte Stimmveränderungen sich anhand der Stimmfeldmessung erfassen lassen und zum anderen anhand welcher Stimmparameter diese dargestellt, bzw. als aussagefähige Indikatoren verstanden werden können. Der Einfluss des Messzeitpunkts auf die Stimmparameter wurde untersucht und in diesem Zusammenhang die Stimmfeldmessung als akustisches Analyseverfahren auf seine Eignung hinsichtlich der Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen überprüft.

Die Messungen wurden zu drei festgelegten Messzeitpunkten innerhalb verschiedener Zyklusphasen des Menstruationszyklus durchgeführt: zu t1 während der Menstruation, zu t2 im Verlauf der späten Follikelphase bzw. Ovulationsphase und zu t3 im Prämenstrum (s. Kap. 5.2). Direkt im Anschluss an die Stimmfeldmessung füllten die Probandinnen den unter Abb. 27 vorgestellten Fragebogen zur Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen aus, der die subjektive Wahrnehmung des Phonationssystems untersucht. Die Probandinnen wurden in drei Gruppen unterteilt, die sich hinsichtlich des Ausbildungsgrades und der beruflichen Belastung voneinander unterscheiden. Die Einteilung erfolgte – orientiert an Kaufman und Isaacson (1991) sowie Stemple (1993) – in elite vocal performers (professionelle Sängerinnen oder Chorsängerinnen mit Gesangsausbildung, Status 1), professional voice users (Berufssprecherinnen mit und ohne Sprecherausbildung, Status 2) und non-vocal professionals (Nicht-Berufssprecherinnen, Status 3).

Des Weiteren wurde auf Basis der theoretischen Grundgedanken angenommen, dass – im Vergleich zu t1 und t3 – zum Zeitpunkt t2 bessere Werte der Stimmparameter festgestellt werden. Wie ausführlich erläutert, führt besonders im Prämenstrum die Konzentration der Steroidhormone zu strukturellen und muskulären Veränderungen des Phonationsapparates, was sich auf das Schwingungsverhalten der Stimmlippen auswirkt. Ein vergleichbarer Status besteht zu t1, während zu t2 keine Einschränkungen zu beobachten sind, wie im Folgenden ausführlich erläutert wird

Die Stimmfeldmessung wird in das Singstimmprofil und das Sprechstimmprofil aufgegliedert. Einschränkungen der stimmlichen Leistungsfähigkeit sind aufgrund der größeren bzw. extremeren Stimmleistungen im dynamischen und melodischen Bereiche zu erwarten, die im Singstimmprofil erfasst werden. Die Anforderungen an das phonatorische System sind dabei erheblich umfassender als bei der mittleren Sprechstimmlage, die im Sprechstimmfeld erfasst wird. Daher ist davon auszugehen, dass zyklusbedingte Stimmveränderungen im Singstimmprofil und nicht im Sprechstimmprofil nachgewiesen werden können.

Vor diesem Hintergrund werden nun die Ergebnisse betrachtet.

### **Frequenzen**

Als signifikant erweist sich der Einfluss des Messzeitpunkts auf die maximale Frequenz und den Stimmumfang, nicht aber auf die minimale Frequenz.

Aus den Medianwerten geht hervor, dass zum Zeitpunkt t2 in der Mitte des Menstruationszyklus bei allen Probandinnengruppen – auch unabhängig vom Status – die höchsten Frequenzen und der größte Stimmumfang erreicht werden. Auch die values weisen diese Tendenz nach. Die untere Stimmgrenze ist zum Zeitpunkt t2 am niedrigsten, was ebenfalls der Grundannahme entspricht. Im Prämenstrum und während der Menstruation ist die obere Stimmgrenze herabgesetzt und die untere Stimmgrenze erreicht ebenfalls nicht jene tieferen Frequenzen wie zu t2.

Betrachtet man dies in Zusammenhang mit dem physiologischen Status des Phonationssystems, so ist festzustellen, dass zum Zeitpunkt t2 das Schwingungsverhalten der Stimmlippen symmetrisch, der Spannungszustand euton und die Feineinstellung der Stimmlippen flexibel und präzise ist. Die phonatorische Kontrolle ist hoch und differenziert. Das konstante Niveau der Steroidhormone in der ersten Zyklushälfte ist ausschlaggebend für die Eigenschaften des phonatorischen Systems und damit für die Stimmgüte und die Leistungsfähigkeit in dieser Phase. Vor allem der Progesteronwert ist konstant. Das Östrogen, das Veränderungen der Epithelschicht bewirkt, fördert während der Ovulation die Sekretbildung. Auch die maximale Östrogenkonzentration während der Ovulation wirkt sich nicht negativ auf die Phonation aus. Erst das Absinken des Östrogenspiegels im Prämenstrum führt zur Bildung submuköser Ödeme. Die Stimmlippenmasse nimmt zu, was sich wiederum auf die Stimmlippenbeweglichkeit in Hinblick auf die Frequenzhöhe auswirkt. Das Progesteron verändert die tiefer liegenden Schichten der Mukosa und bedingt histologische und strukturelle Veränderungen. In dieser Phase ist der Tonus des M. vocalis reduziert; der glottale Verschluss ist eingeschränkt.

Im mittleren und/oder hinteren Drittel der Stimmlippen, der Pars intermembranacea und/oder Pars intercartilaginea bildet sich während der Phonation ein Glottisspalt. Für die Produktion hoher Töne ist entscheidend und erforderlich, dass die Stimmlippen eine entsprechend hohen Tonus haben. Die Frequenzzunahme erfordert eine muskuläre Feineinstellung im Sinne einer differenzierten Tonussteigerung; diese ist aufgrund von Wassereinlagerungen in den Stimmlippen nur eingeschränkt möglich. Diesen Faktoren bedingen Einschränkungen bei der Bildung höher Töne; die obere Stimmgrenze ist als Folge herabgesetzt. Vor allem für Sängerinnen, die an der Studie teilnahmen, wurde übereinstimmend der Verlust der phonatorischen Kontrolle in Bezug auf die hohen Frequenzen genannt. Zu einem entsprechenden Ergebnis kommt auch die Studie um Davis und Davis (1993), in der der Einfluss des prämenstruellen Syndroms auf das körperliche Befinden im allgemeinen und auf die Stimme im besonderen untersucht wurde. Die erschwerte Produktion hoher Töne im Prämenstrum wurde auch hier von Sängerinnen als eines der Hauptsymptome stimmlicher Einschränkungen genannt. Auch die Studie um Abitbol (1989) stützt die vorliegenden Ergebnisse.

Aus den physiologischen Veränderungen im Menstruationszyklus abgeleitet, zeigt sich, dass das Erreichen einer geringeren Tonhöhe d.h. die Einschränkungen bei der Phonation hoher Frequenzen im Prämenstrum und während der Menstruation im Vergleich zu t2 als ein Indikator für zyklusbedingte Stimmveränderungen gewertet werden kann.

Der Stimmumfang ist einhergehend mit der nach oben gesetzten Tonhöhe zum Zeitpunkt t2 ebenfalls am größten und im Prämenstrum deutlich herabgesetzt. Die Betrachtung dieser beiden Parameter ist zur Beurteilung zyklusbedingter Stimmveränderungen heranzuziehen.

Als weiteres Ergebnis ist festzuhalten, dass zum Zeitpunkt t1 die Stimme eine vergleichbare Tendenz aufweist wie zu t3. Bislang ist aus medizinischer Sicht die Frage nicht geklärt, ob die strukturellen Veränderungen und stimmlichen Effekte des Prämenstrums sich noch bis in die Phase der Menstruation erstrecken und somit eine Folge der prämenstruellen Veränderungen sind oder ob es sich um eine unabhängige, eigenständige Symptomatik handelt. Diesbezüglich werden Veränderungen der Strukturen v.a. im Bereich der Larynxmukosa untersucht. Festzuhalten ist, dass die stimmliche Leistungsfähigkeit zu t1 und t3 in Hinblick auf die Messparameter vergleichbar ist. Durchschnittlich ab dem 3./4. Zyklustag gehen die Wassereinlagerungen und ödematösen Veränderungen zurück, wodurch die obere und die untere Stimmgrenze sich wieder ausdehnen und ihr maximales Ausmaß annehmen.

Wird ergänzend der Einfluss des Stimmstatus hinzugezogen, so zeigt sich, dass dieser für die maximalen Frequenzen und den Stimmumfang signifikant ist, nicht jedoch für die minimalen Frequenzen. Die Medianwerte und insbesondere die values zeigen, dass sich die Werte der Probandinnen des Status 1 von den beiden anderen Gruppen deutlich unterscheiden. Durchschnittlich auf alle drei Messzeitpunkte bezogen, ergeben sich in dieser Gruppe die größten Stimmumfänge und es werden die höchsten Frequenzen erreicht. Diese Ergebnisse decken sich mit der Annahme, dass in folge der Gesangsausbildung, der jahrelangen intensiven Auseinandersetzung mit der Stimme und auch infolge des Einsatzes von Stimmtechniken die Probandinnen des Status 1 im Vergleich die besten Werte erzielen. Die Stimmlippensymmetrie, die für ausgebildete Sängerinnen grundlegend ist, ist hier wiederum von ausschlaggebender Bedeutung. Interessant ist, dass die Probandinnen des Status 3 – jene, die nicht im Sprechberuf sind und auch keine Erfahrung in Stimmbildung/Sprecherziehung haben – bessere Werte erreichen als die Probandinnen des Status 2. Aufgrund der Stichprobengröße ist dies jedoch kritisch zu betrachten und sollte anhand einer größeren Anzahl von Teilnehmerinnen untersucht werden.

## **DSI**

Als weiterer in Bezug auf die Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen aussagefähiger Stimmparameter hat sich der Dysphonia Severity Index herausgestellt. Der Messzeitpunkt hat einen signifikanten Einfluss auf den DSI. Betrachtet man die Mediane und values, so geht daraus wiederum die Tendenz hervor, dass zum Messzeitpunkt t2 der DSI höher ist als im Prämenstrum und während der Menstruation. Zu den letzt genannten Zeitphasen sind die Werte wiederum sehr ähnlich, was auf einen vergleichbaren Stimmstatus hinweist.

Wie erläutert gibt der DSI Aufschluss über das Vorhandensein und die Ausprägungen von Stimmeinschränkungen in Hinblick auf Dysphonien und gibt damit Auskunft über die Stimmgüte. Zum Zeitpunkt t2 ist diese besonders hoch. Die strukturellen Veränderungen der Larynxmukosa und das veränderte Schwingungsverhalten der Stimmlippen, wie sie im Bereich der Frequenzen ausführlich erläutert wurden, beeinflussen also den DSI-Wert erheblich. Zieht man Tab. 6 heran, so zeigt sich zum Zeitpunkt t2 ein Median von 5,56, was nach Nawka et al. (2006) auf eine unauffällige Stimmleistung hindeutet. Zu t1 beträgt der Median 3,49 und zu t3 3,80; diese Werte liegen im Bereich einer leichten Dysphonie, wobei die Werte erheblich in beide Richtungen variieren können. Festzuhalten ist, dass zu t2 die Stimmgüte höher einzustufen ist als zu den Vergleichszeitpunkten.

Aufgrund der Ergebnisse lässt sich festhalten, dass neben der Betrachtung der Frequenzen und des Stimmumfangs auch der DSI-Wert als aussagekräftiger Indikator zur Feststellung zyklusbedingter Stimmveränderungen gewertet werden kann.

Entscheidend jedoch ist die kombinierte Betrachtung dieser Stimmparameter.

In den DSI-Wert fließt wie bereits erläutert auch der Jitter ein. Aufgrund der Störanfälligkeit des Jitters wurde er isoliert nicht betrachtet. Ein weiterer Kritikpunkt an der isolierten Betrachtung des Jitters liegt in der Tatsache, dass er von der Vokalqualität beeinflusst wird; da er üblicherweise anhand des Vokals /a/ erfasst wird, ist auch hier eine mögliche Fehlerquelle vorhanden (van Thiel, 2006).

Innerhalb der vorliegenden Studie konnten – übereinstimmend mit der Untersuchung um Sung (2001) – keine eindeutige Richtung der Jitterwerte festgestellt und damit keine spezifischen Hinweise bzw. Anhaltspunkte auf Stimmveränderungen im Zyklus erkannt werden, da die Werte zu t1 und t2 sehr ähnlich sind. Lediglich im Prämenstrum zeigt sich ein erhöhter Jitterwert (vgl. Chae et al., 2001).

Der Jitter wurde im hier durchgeführten Projekt als Kontrollwert hinzugezogen in Hinblick auf pathologische Auffälligkeiten der Stimme. Wie in Kap. 9.1.2.3 bereits erläutert, kann der Jitter einen Wert von zwischen 0,1% und 1% als Normwert annehmen. Da er Schwingungsirregularitäten widerspiegelt, ist es möglich, Auffälligkeiten, die außerhalb der Normwerte liegen, zu erfassen. Dies ermöglicht es, das Vorliegen von Dysphonien festzustellen. Innerhalb der Studie konnte bei keiner Probandin ein Jitter festgestellt werden, der bei allen drei Messungen über 1% liegt. Lediglich eine Probandin hatte bei einer Messung einen Jitter über diesem Grenzwert. Als Hinweis auf die Schwingungsirregularitäten kann den Medianen entnommen werden, dass bis auf einen Wert von 1,13% nur Normwerte und damit unauffällige Stimmwerte vorlagen.

Folgende Jitterwerte wurden in der Studie erfasst: der Median zum Zeitpunkt t2 beträgt 0,54% (0,47 - 0,74), zum Zeitpunkt t1 0,53% (0,44 - 1,13) und zum Zeitpunkt t3 0,66% (0,43 - 0,90). Der Messzeitpunkt hat in Bezug auf den Jitter – als isoliert betrachteter Messwert – keinen signifikanten Einfluss (p-Wert < 0.0747).

Auch der Status ist mit einem p-Wert von 0.4094 nicht signifikant.

### **Intensitäten**

Wie aus den Ergebnissen hervorgeht, sind die maximale und minimale Intensität sowie die Stimmdynamik keine aussagekräftigen Indikatoren für zyklusbedingte Stimmveränderungen. Der Messzeitpunkt hat auf keinen der drei Stimmparameter einen signifikanten Einfluss. Die Mediane sowie die Extremwerte liegen eng zusammen, so dass keine eindeutige Tendenz zu erkennen ist.

Ein Grund auf physiologischer Ebene hierfür könnte sein, dass nicht wie bei der Tonhöhe der Tonus und die Anzahl der Stimmlippenschwingungen in gleicher Weise entscheidend sind, sondern dass für die Intensität eher aerodynamische Effekte die ausschlaggebenden Faktoren darstellen. Diese bedingen die Schwingungsamplitude, die vom subglottischen Druck und von der Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist. Die Atemform (s. Kap. 2.4.2) spielt hier eine entscheidende Rolle und stellt einen Faktor dar, der sich auf die Intensität auswirkt. Sofern die Atemform im Zyklusverlauf konstant ist – im Idealfall die costo-abdominale Atmung – sind die Auswirkungen auf die Lautstärke gering. Bei einer Veränderung der Atemform meist mit einer Tendenz zu Hochatmung können die Parameter der Intensität, v.a. die maximale Intensität und die Stimmdynamik beeinflusst werden. Abitbol et al. (1989) gelangen in ihrer Studie zu einem ähnlichen Ergebnis; auch hier wurden keine signifikanten Veränderungen der Amplitude im Zyklusverlauf erfasst.

Des Weiteren ist in Bezug auf die dynamischen Stimmparameter die Durchführung der Stimmfeldmessung an sich entscheidend. Die bereits erwähnte Vereinigung der Laryngologen ELS weist ausdrücklich darauf hin, dass der Mund-Mikrofonabstand unbedingt einzuhalten ist, da schon geringfügige Abweichungen während der Tonproduktion die Messwerte verändern. Die Störanfälligkeit in Bezug auf die Messung der Intensität ist groß.

Aus den Messwerten geht hervor, dass der Status einen Einfluss auf die Stimmdynamik und die maximale Intensität hat. Die Medianwerte dieser beiden Stimmparameter zeigen, dass die Probandinnen vom Status 1 durchschnittlich die höchste Stimmdynamik und maximale Intensität produzieren. Dies deutet – wie auch für die Frequenzen zutreffend – darauf hin, dass die jahrelange intensive Auseinandersetzung mit der Stimme durch Gesangsausbildung und regelmäßigem, intensiven Umgang mit der Stimme einen Einfluss auf die dynamischen Aspekte ausübt.

## **Sprechstimmlage**

Auswirkungen der strukturellen Veränderungen der Mukosa und des veränderten Schwingungsverhaltens der Stimmlippen sind im Bezug auf die Sprechmittellage kaum festzustellen. Der Messzeitpunkt hat keinen signifikanten Einfluss auf die mittlere Sprechstimmlage. Wie aus den im Sprechstimmfeld erfassten Daten hervorgeht, ist der Median der Grundfrequenz der mittleren Sprechstimmlage zu den drei Messzeitpunkten bei 220 Hz. Dies entspricht der Tonhöhe a und – wie aus Tab.3 hervorgeht – damit der mittleren Sprechstimmlage des Mezzosoprans. Auch die Whisker umfassen vergleichbare Werte.

Veränderungen des phonatorischen Systems beeinflussen die Sprechstimme in deutlich geringerem Ausmaß als dies bei der Singstimme der Fall ist. Betroffen sind in besonderer Weise die Stimmproduktionen, die eine differenzierte Feineinstellung des Phonationsapparates erfordern und bei denen der Tonus der Stimmlippen eine entscheidende Rolle spielt. Dies ist bei modulatorischen Variationen erforderlich und entscheidend. Auf physiologischer Ebene betrachtet können die Tonusschwankungen der Stimmlippen und auch der eingeschränkte Glottisschluss beim Sprechen besser ausgeglichen werden als beim Singen, da die Anforderungen an die Sprechstimme deutlich geringer sind. Anzunehmen ist auch, dass das Sprechen den physiologischen Gegebenheiten resp. Einschränkungen angeglichen wird, was wiederum die Eigenwahrnehmung beeinflusst. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie decken sich mit der Studie um Meurer (2007); die Autoren konnten in ihrer Untersuchung nur geringe Abweichungen der Grundfrequenz in den verschiedenen Zyklusphasen finden (s. Kap. 7.3).

Vergleicht man die Sprech- und die Singstimme (s. Kap. 3.5), so zeigt sich, dass für die Singstimme Modulationen, Intervallsprünge und Tonlängen vorgegeben sind. Diese erfordern eine differenzierte und exakte Stimmlippenbeweglichkeit. Betrachtet man im Vergleich die Sprechstimme, so gibt es hier keine Vorgaben, d.h. die individuellen Tonhöhenveränderungen und -schwankungen sowie die dynamischen Variationen sind geringer und nicht erforderlich; dies führt dazu, dass Einschränkungen der Stimme – wie im Prämenstrum – leichter ausgeglichen werden können.

Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die Singstimme vokalorientierter ist als die Sprechstimme und Schwingungsirregularitäten vor allem bei der Vokalbildung festgestellt werden. Die Sprechstimme hingegen ist geprägt von kürzerer Vokalbildung und mehr Konsonanten, so dass Schwingungsirregularitäten weniger ins Gewicht fallen. Irregularitäten können beim Singen nicht in der Form ausgeglichen werden, wie dies bei der Sprechstimme der Fall ist.

Hieraus kann gefolgert werden, dass die Veränderungen auch in Hinblick auf die subjektive Wahrnehmung eher beim Singen als beim Sprechen wahrgenommen werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zu dieser Frage werden in Kap. 11.2. behandelt.

In Hinblick auf die Erfassung der Parameter der Frequenz zeigt sich, dass die Stimmfeldmessung ein geeignetes Analyseverfahren darstellt. Hingegen sind die Parameter der Intensität kritisch zu betrachten, sowohl in Hinblick auf ihre Aussagekraft, da bei keinem der drei Parameter eine Signifikanz des Messzeitpunkts nachgewiesen werden konnte, als auch in Bezug auf die Störanfälligkeit bei der Durchführung. Die Erfassung des DSI ist ebenfalls möglich und aussagekräftig. Auch in Hinblick auf die Sprechstimmalge kann diese im Stimmfeld zuverlässig gemessen werden, obgleich sie für die Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen nicht relevant ist.

Das Stimmfeld eignet sich demnach zur Analyse zyklusbedingter Stimmveränderungen, wobei neben der Erfassung der Stimmparameter die qualitative Interpretation entscheidend ist, wie in den folgenden Ausführungen erläutert wird.

### **Inter- und intraindividuelle Vergleich der Stimmfelder**

Intra- und interindividuelle Vergleiche der Stimmfelder in Abhängigkeit vom Status der Probandin geben einen weiteren Aufschluss über die Effekte im Menstruationszyklus.

Beim intraindividuellen Vergleich der Stimmfelder – erstellt zu unterschiedlichen Zykluszeitpunkten – können anhand der Form des Singstimmfeldes Aussagen über Tonabbrüche, Tonverläufe und Registerwechsel getroffen werden, die neben den erhobenen Messdaten die Beurteilung des Stimmfeldes ergänzen und eine differenzierte Interpretation zulassen.

Im Rahmen dieses Projektes ergibt sich die Möglichkeit Stimmfelder von Probandinnen mit Gesangsausbildung (Status 1), von Berufssprecherinnen (Status 2) und Nicht-Berufssprecherinnen (Status 3) in einem interindividuellen Vergleich gegenüber zu stellen. Dieser zeigt zu verschiedenen Zyklusphasen in eindeutiger Weise, dass die zyklusbedingten Stimmveränderungen unabhängig vom Ausbildungsgrad und der Leistungsfähigkeit einer Stimme auftreten. Aus Gesprächen mit den Probandinnen mit Gesangsausbildung, die an

---

dieser Studie teilgenommen haben, geht hervor, dass auch Stimmtechniken nur bis zu einem bestimmten Grad kompensatorisch wirken. Die Stimmfelder, die dem Anhang zu entnehmen sind, veranschaulichen dies.

In den Abbildungen 40 bis 48 werden die Stimmfelder von drei Probandinnen mit unterschiedlichem Status jeweils zu den drei Messzeitpunkten dargestellt. Die Stimmfelder wurden ausgewählt, da die Probandinnen im gleichen Alter sind und die DSI-Werte und die obere Stimmgrenze zum Zeitpunkt t2 maximale Werte erreichen, wodurch ein interindividueller Vergleich ermöglicht wird.

Abb. 40 bis Abb. 42 geben die Stimmfelder einer professionellen Sopranistin (39 J.) zu den drei Messzeitpunkten im Zyklus wieder. Die folgenden Abbildungen (Abb. 43 bis Abb. 45) stellen die Stimmfelder einer Berufssprecherin (38 J.) dar und die Abbildungen 46 bis 48 veranschaulichen die Stimmfelder einer Nicht-Berufssprecherin (40 J.).

Anhang B sind alle Stimmfelder der teilnehmenden Probandinnen zu entnehmen.

Status 1: Elite vocal performer

t1

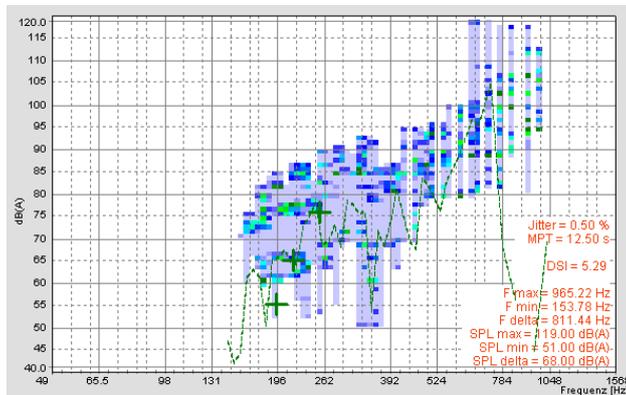


Abb. 40: Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (39 J.) vom Status 1 zu t1 am 3. Zyklustag

t2

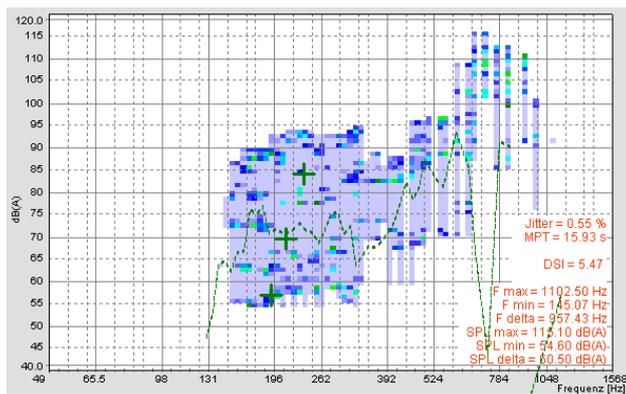


Abb. 41: Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (39 J.) vom Status 1 zu t2 am 16. Zyklustag

t3

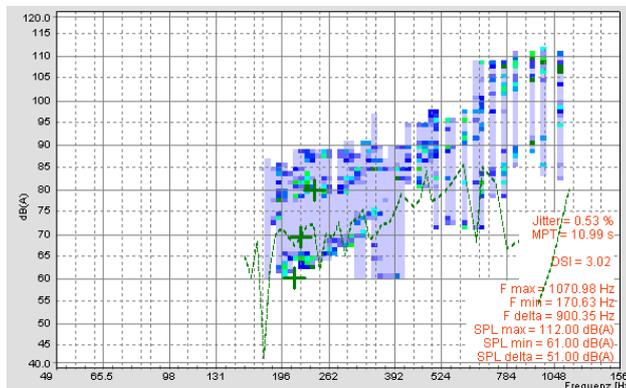


Abb. 42: Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (39 J.) vom Status 1 zu t3 am 24. Zyklustag

Status 2: Professional voice user

t1

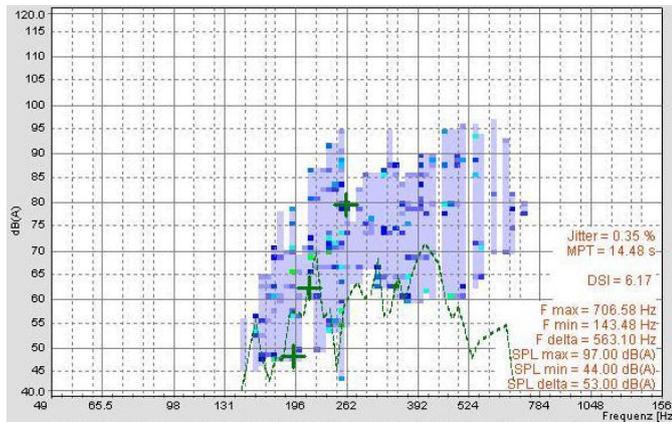


Abb. 43: Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (38 J.) vom Status 2 zu t1 am 2. Zyklustag

t2

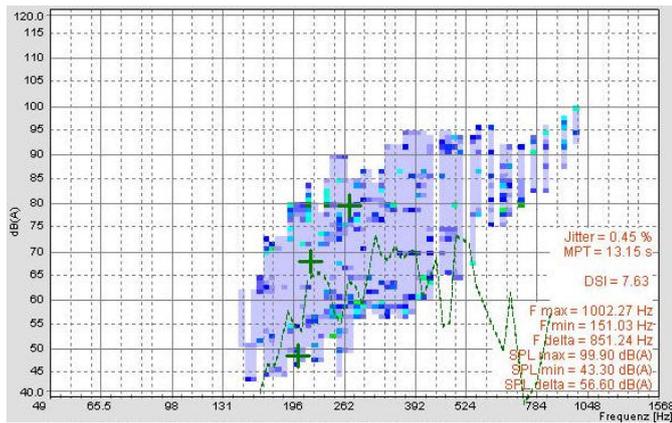


Abb. 44: Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (38 J.) vom Status 2 zu t2 am 16. Zyklustag

t3

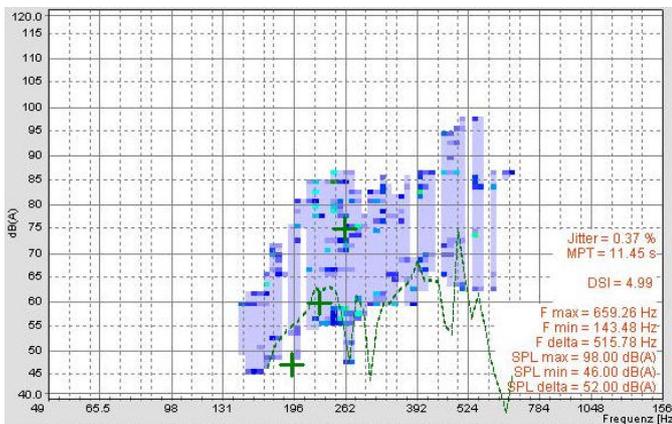


Abb. 45: Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (38 J.) vom Status 2 zu t3 am 25. Zyklustag

Status 3: Non-vocal professional

t1

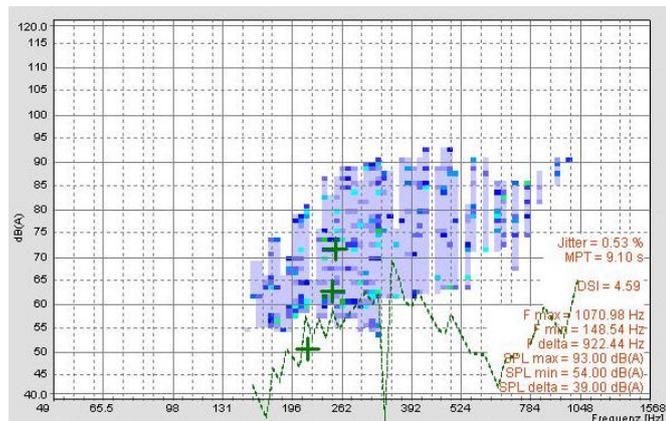


Abb. 46: Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (40 J.) vom Status 3 zu t1 am 2. Zyklustag

t2

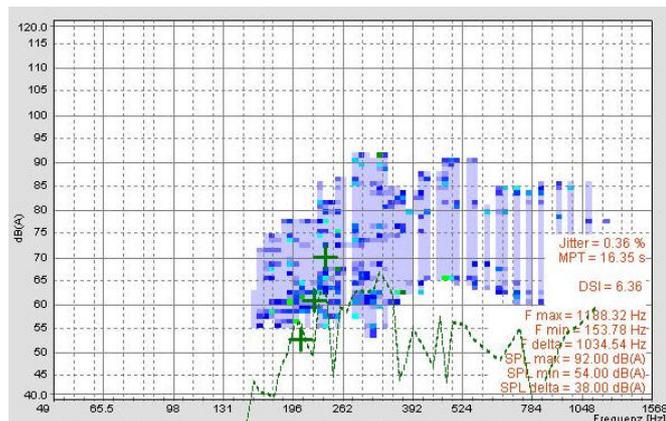


Abb. 47: Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (40 J.) vom Status 3 zu t2 am 16. Zyklustag

t3

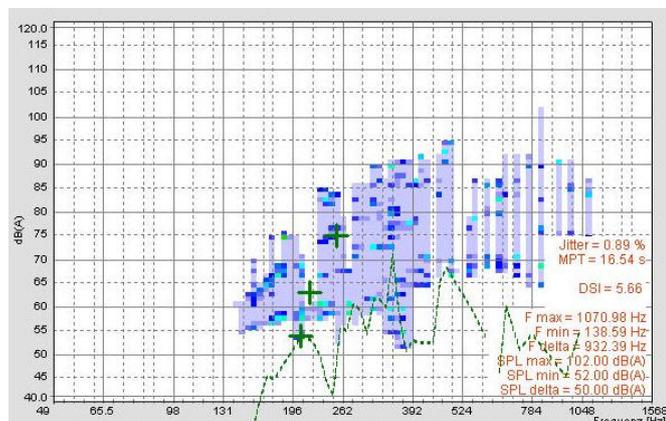


Abb. 48: Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (40 J.) vom Status 3 zu t3 am 26. Zyklustag

Betrachtet man die Stimmfelder der Sängerin (39 J.) unter Abb. 40 bis Abb. 42 im intraindividuellen Vergleich, so zeigen diese in anschaulicher Weise die Unterschiede, die zu den drei Messzeitpunkten offensichtlich werden. Vor allem die Gegenüberstellung des Stimmfeldes zu t2 im Vergleich zu t1/t3 verdeutlicht die Unterschiede.

Wie die Ergebnisse der Stimmfeldauswertung zeigen, unterscheiden sich die Stimmfelder in Stimmumfang und der oberen Stimmgrenze, die zu t2 die höchsten Werte erreichen. Auch der DSI-Wert ist zum Zeitpunkt t2 am höchsten. Die minimale Frequenz ist zu t2 am niedrigsten.

Bei der Interpretation zu berücksichtigen ist zudem beim intraindividuellen Vergleich die Kompaktheit des Stimmfeldes. Im Bereich der mittleren und tiefen Frequenzen zeigt sich ein kompakteres und voluminöseres Stimmfeld zum Zeitpunkt t2. Tonbrüche sind in diesem Bereich nicht festzustellen. Das Tonschwellvermögen, d.h. die Zunahme der Lautstärke und auch die Zunahme der Tonhöhe verlaufen gleitender und fließender als zu t1 und t3.

Stellt man einen Bezug zur Stimmphysiologie bzw. zum gesamten phonatorischen System her, so kann abgeleitet werden, dass aufgrund der ödematösen Veränderungen und der damit verbundenen Volumen- und Gewichtszunahme der Stimmlippen im Prämenstrum der Schwingungsvorgang der Stimmlippen nicht optimal möglich ist. Da insbesondere für die Phonation in höheren Tonlagen ein sehr differenzierter Tonus und auch eine fließende Tonuszunahme erforderlich sind, lassen sich zyklusbedingte Stimm Einschränkungen an der herabgesetzten oberen Stimmgrenze aufzeigen. Der Tonus, den die Produktion hoher Töne in besonderer Weise erfordert, ist aufgrund der strukturellen Veränderungen herabgesetzt und der Glottisschluss ist reduziert. Als Folge kann ein erhöhter Grad der Behauchung auftreten. Einige Autoren (u.a. Higgins & Saxman, 1989) gehen davon aus, dass aufgrund veränderter Transmitterausschüttung die Muskeltätigkeit der Stimmlippen in der Phase des Prämenstrums verändert ist, was ebenfalls die Einschränkungen in Bereichen der Tonhöhe erklären könnte.

Ein weiteres Indiz für die bessere Stimmleistung während der späten Follikelphase bzw. der Ovulation, also dem in der Studie festgelegten Zeitpunkt t2, ist die Tatsache, dass zu diesem Zeitpunkt die mittlere Sprechstimmlage, sowie die Rufstimme (oberes Kreuz) und die leise Sprechstimme (unteres Kreuz) innerhalb der sog. „Stimmniere“ liegen. Dies weist auf eine hohe Stimmgüte hin. Zudem liegen die drei Kreuze des Sprechstimmfeldes auf einer Linie, die idealerweise von links unten nach rechts oben linear ansteigt; dieser Verlauf gibt Hinweise auf die Tonhöhen-Lautstärke-Kopplung. Bei den Stimmfeldern der Sängerin ist dies zu allen drei Messzeitpunkten der Fall, d.h. die Kreuze liegen auf einer Linie. Zu den Zeitpunkten t1 und t3 (Abb. 42) befindet sich das untere Kreuz fast bzw. vollständig außerhalb der Niere. Im

vorliegenden Beispiel ist dies ein Hinweis für Auffälligkeiten im Bereich der minimalen Frequenzen, was sich auch im Singstimmfeld widerspiegelt.

Im intraindividuellen Vergleich zeigt sich zum Zeitpunkt t1 während der Menstruationsphase, dass die obere Stimmgrenze noch herabgesetzt ist, jedoch ist im Bereich der mittleren und tiefen Frequenzen bereits wieder eine Zunahme an Kompaktheit zu beobachten. In Hinblick auf das crescendo, d.h. der Lautstärkenzunahme sowie auf die Tonhöhenzunahme zeigen sich fließendere Übergänge als zu t3. Der Registerbruch ist zu t2 erheblich geringer ausgeprägt als zu t1 und t3. Im Bereich des Sprechstimmfeldes ist festzustellen, dass die leise Sprechstimmlage zu t1 noch außerhalb des Singstimmfeldes liegt.

Die Stimmfelder der Berufssprecherin (Status2) unter Abb. 43 bis Abb. 45 zeigen vergleichbare Tendenzen wie die Stimmfelder der Probandin mit Gesangsausbildung. Zu t2 sind der Stimmumfang, die obere Stimmgrenze und der DSI-Wert am höchsten. Die minimalen Frequenzen sind jedoch zu t1 und t3 niedriger als zu t2.

Auch hier fällt die Kompaktheit des Stimmfeldes zu t2 auf. Darüber hinaus zeigt sich, – wie bei den Sprechstimmfeldern der Probandin des Status1 – dass das untere Kreuz, das die leise Sprechstimme darstellt, zu t2 innerhalb und zu t3 außerhalb der Stimmnieren lokalisiert ist. Die Stimmfelder zu t1 und t3 weisen eine geringere Kompaktheit auf und auch der piano- und forte-Verlauf erfolgen weniger gleitend als zu t2. Besonders auffällig ist die obere Stimmgrenze, die zu t2 erheblich nach oben verlagert ist.

Die Stimmfelder der Probandin des Status 3 (s. Abb. 46 bis Abb. 48) ohne Stimm- und Gesangsausbildung unterscheiden sich im intraindividuellen Vergleich etwas weniger. Betrachtet man die objektiven Messparameter, so sind DSI und die obere Stimmgrenze zu t2 maximal. Die Kompaktheit des Stimmfeldes ist zu t2 am höchsten, zeigt jedoch im interindividuellen Vergleich ein geringeres Volumen. Die leise Sprechstimme ist zu t2 und t3 am Rand der Stimmnieren lokalisiert und zu t1 außerhalb der Stimmnieren. Zu t2 zeigen die drei Kreuze, die für leise, mittlere und laute Sprechstimme stehen, einen linearen Verlauf, während dieser zu t1 und t3 nicht eindeutig ist. Die Stimmdynamik ist im interindividuellen Vergleich erheblich geringer. Zudem zeigen alle drei Stimmfelder die Tendenz zu Tonabbrüchen.

Im interindividuellen Vergleich der Singstimmfelder sind bei den Probandinnen des Status 2 und 3 Registerbrüche zu sehen. Dies deckt sich mit der Studie von Richter et al. (2005), die

feststellten, dass der Registerübergang bei Sängerinnen erheblich weniger ausgeprägt ist, was auf das differenziertere Stimmlippenverhalten in Hinblick auf Frequenz und Amplitude zurückzuführen ist.

Aus dem interindividuellen Vergleich der Stimmfelder ist abzuleiten, dass unabhängig vom Status der Probandin, d.h. unabhängig vom Ausbildungsgrad der Stimme die Stimmfelder vergleichbare Tendenzen aufweisen. Dabei zeigt sich bei den drei Probandinnen, dass sich die Stimmfelder zum Zeitpunkt t2 durch höhere Kompaktheit und einen fließenderen Tonhöhen- und Lautstärkeverlauf auszeichnen. Betrachtet man zusätzlich die Sprechstimmfelder in Kombination mit dem Singstimmfeld, so ist feststellen, dass bei leiser Sprechstimmlage die Kreuze bei den Probandinnen mit Status 1 und 2 zum Zeitpunkt t2 innerhalb der Stimmnieren lokalisiert sind. Zu den Zeitpunkten t1 und t3 liegen die Kreuze außerhalb oder am Rand der Stimmnieren, was auf stimmliche Unsicherheiten der piano-Produktion im Bereich der unteren Stimmgrenze hindeutet.

Der interindividuelle Vergleich zeigt die Tendenz, dass die Stimmgüte zu t2 am besten ist.

Bei der Interpretation der Stimmfelder ist anzumerken, dass Tonlücken zwischen gesungenen Tönen dennoch produziert werden. Nawka et al. (2006) weisen darauf, dass dies beispielsweise nicht für Patienten mit Paresen oder Stimmlippenpolypen gilt. Da die Probandinnen an keinen organischen Veränderungen litten, ist davon auszugehen, dass nicht erfasste Töne im Stimmfeld dennoch gesungen werden können. Dies konnte in stichprobenartigen Messwiederholungen auch bestätigt werden

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bei der Beurteilung der Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen die kombinierte Betrachtung des DSI zusammen mit den maximal produzierten Frequenzen und dem Stimmumfang und ergänzend auch den minimalen Frequenzen als Indikatoren für physiologische zyklusbedingte Veränderungen gewertet werden können. Darüber hinaus kann jedoch auf die qualitative Interpretation der Stimmfelder nicht verzichtet werden.

Welche Konsequenzen lassen sich aus den Ergebnissen bezüglich der Interpretation der objektiven Stimmparameter – erfasst im Stimmfeld – für die Diagnostik bzw. Stimmbeurteilung ableiten?

Ausgehend von dem Umstand, dass eine Frau keine hormonellen Präparate einnimmt – und nur auf diesem Hintergrund sind die folgenden Konsequenzen zu betrachten – sind in jedem Fall Vergleichsstimmfelder zu unterschiedlichen Zykluszeitpunkten erforderlich. Anhand von Vergleichsstimmfeldern können objektive und differenzierte Aussagen über die Beurteilung einer Stimme, bzw. über die Relevanz einer Stimmbehandlung und/oder über die Erfolge einer Stimmausbildung getroffen werden. Sofern ein Stimmfeld ausschließlich im Prämenstrum oder während der Menstruation durchgeführt wird, ist eine genaue Beurteilung nicht möglich. Die Stimmparameter spiegeln zu diesen Zeitpunkten nicht die Güte und stimmlichen Eigenschaften wider, die der Stimme im Sinne einer objektiven Beurteilung entsprechen. Für die Diagnostik ist daher für Frauen, die keine Hormonpräparate einnehmen, die Angabe des Zyklustages, an dem eine Stimmfeldmessung erfolgt, entscheidend, damit die Effekte zyklusbedingter Stimmveränderungen berücksichtigt werden können. Von entscheidender Bedeutung für die Stimmdiagnostik und die Verlaufskontrolle im Bereich der Stimmbildung ist daher, dass Stimmfelder stets innerhalb der Follikelphase bzw. Ovulationsphase durchgeführt werden sollten. Während des Prämenstrums und der Menstruationsphase ist die Stimme aufgrund der strukturellen und histologischen Veränderungen in Hinblick auf die Leistungsfähigkeit und Stimmgüte eingeschränkt.

Zunehmend im Gespräch sind stimmliche Eignungsprüfungen für Sprechberufe, wie sie im Bereich der Gesangsausbildung bereits etabliert sind. Von Bedeutung sind ein objektives Ergebnis und eine aussagekräftige Beurteilung der stimmlichen Eignung. Dies setzt jedoch voraus, dass der Zeitpunkt der Messung berücksichtigt wird, da sich die Leistungsfähigkeit darin widerspiegelt. Auch für die Verlaufskontrolle ist entscheidend, dass Stimmfelder stets innerhalb der gleichen Zyklusphase durchgeführt werden. Im Idealfall sollten Testwiederholungen wiederum außerhalb der prämenstruellen und menstruellen Phase stattfinden.

Die Untersuchung und die Datenanalyse konnten zeigen, dass die Stimmfeldmessung als akustisches Analyseverfahren geeignet ist, um zyklusbedingte Stimmveränderungen zu erfassen. Die kombinierte Betrachtung der Stimmparameter und die qualitative Interpretation der Stimmfelder sind dazu erforderlich. Dennoch ist es entscheidend, die Stimmfeldmessung kritisch zu beleuchten.

Ein Kritikpunkt zeigt sich dahingehend, dass es für unmusikalische Probanden/Patienten oft schwierig ist, eine Tonvorgabe abzunehmen, wenn diese vom Untersucher gewünscht wird. In

der vorliegenden Untersuchung wurde daher ohne Tonvorgabe gearbeitet, d.h. den Probandinnen wurde überlassen, von welcher Tonhöhe aus sie zur oberen und unteren Stimmgrenze phonieren. Entscheidend für die Erstellung eines korrekten Stimmfeldes ist, dass die Probanden/Patienten vorab über den Ablauf und die geforderten Stimmleistung in Kenntnis gesetzt werden und wenn möglich im Vorfeld eine Testdurchführung oder eine kurze Übungsphase stattfinden. Unsicherheit bezüglich des Procederes der Stimmfeldmessung bzw. Hemmungen der Probanden/Patienten bei der Produktion extremer Stimmanforderungen können zu verfälschten Ergebnissen führen.

Kritisch zu betrachten ist auch der Aspekt des Stimmumfangs. Obgleich der physiologische Stimmumfang erfasst werden soll, wird in manchen Fällen nur der musikalische ermittelt. Vor allem elite vocal performers beschränken sich oft auf den musikalischen Stimmumfang, was zum einen bedeutet, dass nicht erfasst wird, was erfasst werden soll, nämlich der physiologische Stimmumfang und zudem den intra- und interindividuellen Vergleich erschwert.

Nach Airainer & Klingholz (1991) stellt das Stimmfeld eine Momentaufnahme der stimmlichen Leistungsfähigkeit dar und spiegelt die Güte der Stimme zu einem bestimmten Zeitpunkt wider. Auch aus diesem Grund ist die wiederholte Durchführung des Messverfahrens sowohl im Bereich der Stimmausbildung als auch der Stimmtherapie erforderlich, um eine objektive Beurteilung der Stimme zu erhalten. Nach Reker und Wesselmann (1994) können ästhetische Aspekte der Stimme wie Schönheit und Ausdrucksstärke durch diese Form der Messung nicht vollständig erfasst werden. Die Autoren führen weiter aus: „Ein gewisser Anteil des ästhetisch Positiven kann als Regelmäßigkeit definiert und damit auch objektiv erfasst werden. Die ästhetisch oft erwünschte leichte Unregelmäßigkeit entzieht sich dagegen der naturwissenschaftlichen Betrachtung“ (S. 120).

## 11.2 Subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems

Untersucht wurde als zweiter Schwerpunkt die subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems in Bezug auf zyklusbedingte Stimmveränderungen. Ausgehend von dem Umstand, dass sich aufgrund der zyklischen Hormonschwankungen der Status des Stimmlippenverhaltens und der Larynxmukosa verändern, wurde vermutet, dass dadurch auch die subjektive Wahrnehmung beeinflusst wird. Anhand eines Fragebogens, den die Probandinnen im Anschluss an die Stimmfeldmessung zu den drei Messzeitpunkten ausfüllten, wurden verschiedene Wahrnehmungsbereiche erfragt. Die 13 Items des Fragebogens erfassen sowohl Aspekte der Stimme, als auch des laryngealen Empfindens. Im Mittelpunkt stand dabei die

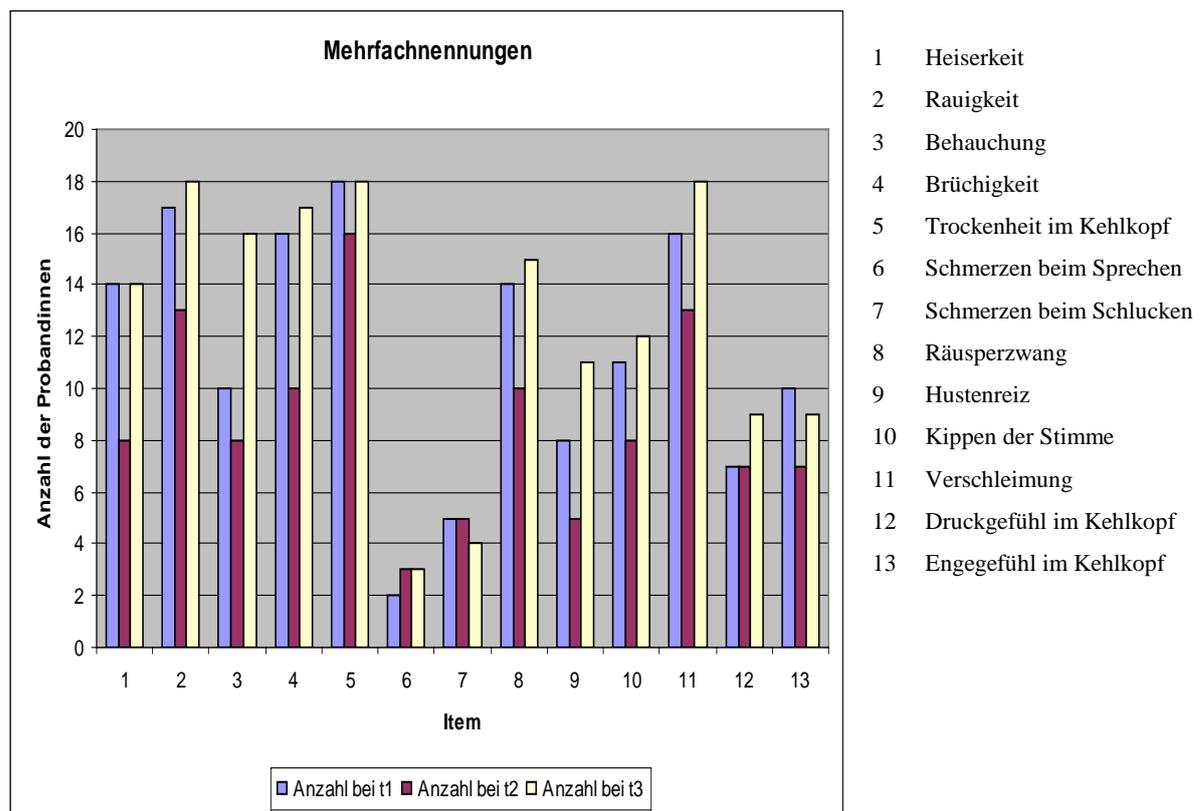
Frage, ob der Status der Probandinnen einen Einfluss auf die subjektive Beurteilung des Phonationssystems ausübt. Dies konnte bestätigt werden, d.h. die Wahrnehmung für das phonatorische System ist durch den Status der Probandin beeinflusst (s. Kap. 10.2). Führt man die statusorientierte Analyse weiter, so zeigt sich, dass die Probandinnen des Status 1 über eine differenziertere Wahrnehmung verfügen als die Probandinnen des Status 2 und 3. Im direkten Vergleich der beiden letzt genannten Gruppen ergeben sich geringere Unterschiede in der subjektiven Beurteilung resp. der Wahrnehmungsfähigkeit für die Stimme.

Der Messzeitpunkt hingegen ist mit einem p-Wert von 0.0576 nicht signifikant. Die Analyse der Daten weist jedoch eine Tendenz dahingehend auf, dass bei zwölf Probandinnen zum Zeitpunkt t2 – in der späten Follikel- bzw. Ovulationsphase – die niedrigsten Scores erzielt werden und damit das Phonationssystem als besser eingestuft wird als zu t1, der Menstruationsphase, und zu t3, dem Prämenstrum

Zur Ergänzung wurden Übereinstimmungen zwischen subjektiver Beurteilung der Stimme und objektiven Stimmparametern untersucht. Als vergleichende Stimmparameter wurden die maximalen Frequenzen, der Stimmumfang sowie der DSI herangezogen. Bei den erstgenannten Stimmparameter sind sowohl der Status, als auch der Messzeitpunkt signifikant; beim DSI ist der Messzeitpunkt signifikant, der Status jedoch nicht. Da es sich um einen sehr aussagekräftigen Wert handelt, der vier Messwerte beinhaltet, wurde er dennoch untersucht. Im Vergleich zeigen sich mehr Übereinstimmungen bei den Probandinnen vom Status 1. So wurde zum Zeitpunkt der besten, resp. höchsten objektiven Werte der niedrigste Fragebogenscore angegeben, d.h. zum Zeitpunkt der besten Stimmgüte und Stimmleistung wurden die geringsten Einschränkungen des phonatorischen Systems empfunden. Aus den Ergebnissen ergibt sich auch hier, dass die Probandinnen des Status 2 und 3 vergleichbare Werte erzielen.

Darüber hinaus soll noch der Frage nachgegangen werden, welche Items die zyklusbedingten Veränderungen in besonderer Weise erfassen und als aussagekräftig betrachtet werden können.

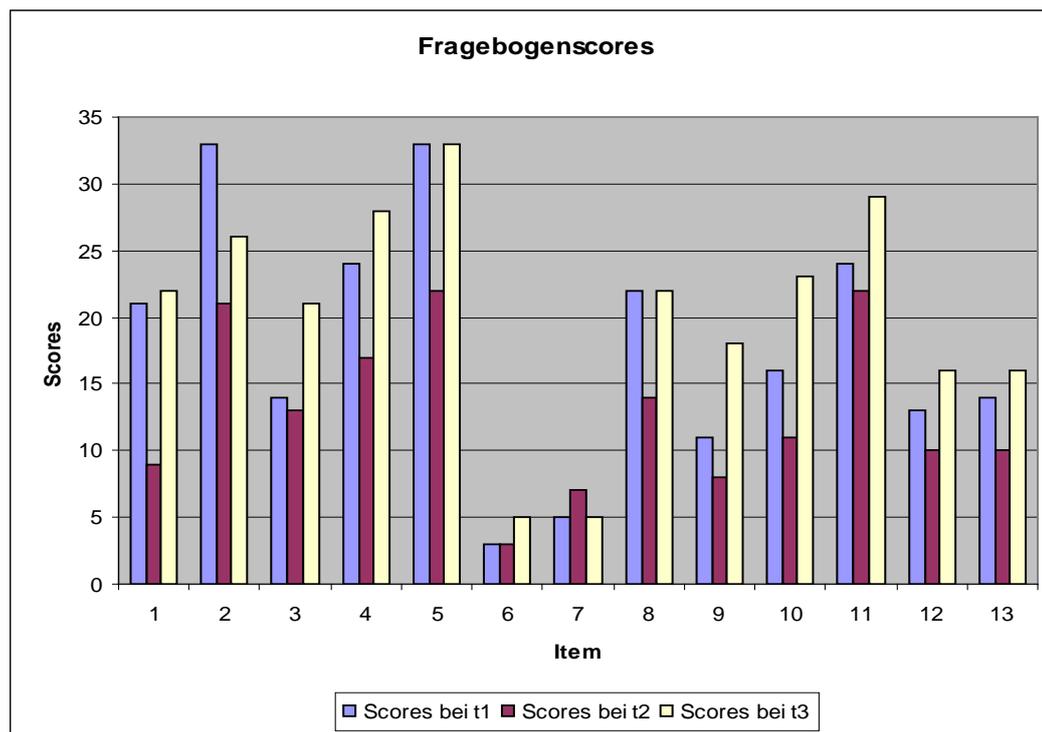
In Abb. 49 gibt die Horizontalachse die 13 Items des Fragebogens wieder. Dargestellt ist auf der Vertikalachse die Anzahl der Probandinnen, die die Fragen mit den Antwortalternativen 1 bis 4 beantwortet haben – unabhängig davon, welche Antwortalternative für die Beantwortung gewählt wurde. Die Probandinnen (insgesamt 24), die die Frage mit „0 = keine Auffälligkeit“ beantwortet haben, sind nicht aufgeführt.



**Abb. 49:** Anzahl der Nennungen der 13 Items durch die Probandinnen zu den drei Messzeitpunkten

Aus Abb. 49 geht hervor, dass zum Zeitpunkt t2 (dunkelrote Säule) die Anzahl der Probandinnen, die Auffälligkeiten des phonatorischen Systems wahrgenommen haben, erheblich geringer ist als zu den Vergleichszeitpunkten. Dies gilt für beinahe alle Items mit Ausnahme der Items 6, 7 und 12. Schmerzen beim Sprechen und Schlucken scheinen in Bezug auf zyklusbedingte Veränderungen und Missempfindungen keine ausschlaggebende Rolle zu spielen. Die Tatsache, dass Item 12, Druckgefühl im Kehlkopf, keine eindeutige Tendenz aufweist, deckt sich mit den Erfahrungen aus dem stimmtherapeutischen Alltag nicht.

Wesentlich aussagekräftiger ist die folgende Betrachtung in Abb. 50, die die Ausprägungen der genannten Items darstellt. Die Scores wurden addiert und können nun zu den drei Messzeitpunkten hinsichtlich ihrer Ausprägung verglichen werden. Aus dem Säulendiagramm geht hervor, dass die Ausprägungen zu t2 am niedrigsten sind, was auf die geringsten stimmlichen Einschränkungen zu diesem Zeitpunkt hinweist.



**Abb. 50:** Addierte Scores der 13 Items zu den drei Messzeitpunkten

Aus der Darstellung der Scores geht explizit hervor, welche Items von den Probandinnen in besonderer Weise wahrgenommen und beurteilt werden. Für eine genauere Analyse werden die Items in die Bereiche Stimme (1-4, 10) und laryngo-pharyngeale Wahrnehmung (5-9, 11-13) unterteilt. Die Veränderungen der Stimme werden von den Probandinnen sehr deutlich wahrgenommen. Besonders das Empfinden für Rauigkeit (2) und Brüchigkeit (4) der Stimme dominieren unabhängig vom Status der Probandin. Heiserkeit (1) wird zu t2 kaum empfunden, zu t1 und t3 ist die Ausprägung dieses Symptoms erheblich verstärkt.

Betrachtet man den zweiten Teilbereich, so bestimmen vor allem Trockenheit (5), Räusperzwang (8) und Verschleimung (11) die subjektive Empfindung. Hingegen sind Schmerzen beim Sprechen und Schlucken (6 und 7) nicht relevant und hinsichtlich der Thematik als nicht aussagekräftig zu betrachten. Die Tatsache, dass Item 13, Engegefühl im Kehlkopf, von wenigen Probandinnen genannt wurde, deckt sich mit den Erfahrungen aus dem stimmtherapeutischen Alltag nicht.

Die subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems erfolgt sowohl über die stimmliche Komponente, als auch über das Empfinden innerhalb der Kehlkopfregion. Zieht man die zu Grunde liegenden physiologischen resp. hormonellen Faktoren heran, wie sie in Kap. 5 und 7

dargestellt wurden, so ergeben sich hieraus Erklärungsansätze für die subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems. Da aufgrund der Veränderungen der Steroidhormone die Schleimhautstruktur und die Drüsenausschüttung schwanken, sind Trockenheit und Verschleimung, die meist mit einem Räuspergefühl einhergeht, dominante Merkmale der Wahrnehmung. Im Prämenstrum treten wie erläutert Wassereinlagerungen und Rötungen der Stimmlippen auf. Das Progesteron bedingt den Wasserentzug und führt damit zur Trockenheit in der Kehlkopfregion. Das Östrogen bewirkt die Tendenz zur Verschleimung, was mit einem starken Räuspergefühl bis hin zu Räusperzwang einhergeht. Diese Ergebnisse decken sich mit den Erfahrungen aus der Stimmdiagnostik und -therapie und der Stimmausbildung. Auch im Bereich funktioneller Dysphonien werden insbesondere Trockenheit und Verschleimung im Kehlkopfbereich als entscheidende Symptome genannt.

Festzuhalten ist, dass zum Zeitpunkt t1 und t3 die Scores sehr ähnlich sind – das subjektive Empfinden sich in der Intensität annähernd gleicht. Wie einleitend erwähnt ist bislang nicht geklärt, ob es sich bei den menstruellen Symptomen um eine Fortführung der prämenstruellen Symptomatik oder um eine eigene Form der Auffälligkeit handelt.

Die Ergebnisse dieser Auswertung entsprechen größtenteils den Erfahrungen aus der stimmtherapeutischen Tätigkeit. In einem kleinen Teil der Studien, die sich mit dem Schwerpunkt Stimmveränderungen im Zyklus auseinandersetzt – wie auch innerhalb der vorliegenden Studie – konnte festgestellt werden, dass die Probandinnen Stimmveränderungen vor allem in der prämenstruellen und menstruellen Phase wahrnehmen. Die Studienteilnehmerinnen, die sich professionell mit Gesang beschäftigen, kommen zu übereinstimmenden Aussagen. Nach Auskunft vieler Probandinnen wurde insbesondere die eingeschränkte Fähigkeit hohe Töne zu produzieren zu t1 und t3 als entscheidendes Symptom wahrgenommen. Die Probandinnen des Status 1 gaben an, dass sie in diesen Phasen schneller an ihre Grenzen stoßen, was die obere, aber auch die untere Stimmgrenze betrifft. Des Weiteren wurden die eingeschränkte Stimmstabilität und die Unsicherheit in der Intonation in hervorragender Weise als Einschränkung empfunden. Dieser Aspekt der reduzierten Stimmstabilität deckt sich mit der Studie um Sung (2001), die zu übereinstimmenden Ergebnissen gelangt.

Die stimmlichen Einschränkungen stellen sich in Form von schnellerer Stimmermüdung und geringerer Belastbarkeit in stimmfordernden Situationen dar. Vor allem Heiserkeit, die infolge einer Stimmbelastung frühzeitig auftritt und sich in massiverer Ausprägung darstellt, wird

von Berufssprecherinnen und Sängerinnen angegeben. Darüber hinaus wird berichtet, dass es bei der Produktion hoher Töne zu Schwankungen kommt, die trotz des Einsatzes ausgefeilter Stimmtechniken nur schwer auszugleichen sind. Aus dem zur vorliegenden Studie geführten Gespräch mit einer Hochschuldozentin ging hervor, dass sie während der prämenstruellen Phase nach ca. 1-1,5 Stunden, in denen sie Vorlesungen hält, massive Heiserkeit und Trockenheit verspürt. Ansonsten werden erste Anzeichen von Heiserkeit in leichter Form erst nach ca. 4-5 Stunden wahrgenommen. Dies deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen von Abitbol (1989). In die gleiche Richtung gehen Aussagen von Probandinnen der vorliegenden Studie, die sich professionell oder regelmäßig mit Gesang beschäftigen. So erläutert eine Chorsängerin, dass während des Prämenstrums die Stimmeinsätze spürbar verzögert und gepresst erfolgen. Eine weitere Teilnehmerin der Studie, eine professionelle Sopranistin, gibt an, dass die Stimmeinsätze vor allem beim Piano-Singen sehr schwer und ungenau anzubilden sind; eine eingeschränkte Kontrolle der phonatorischen Systems wird von den Sängerinnen übereinstimmend angegeben. Besonders häufig wird auch eine subjektiv veränderte Klangfarbe wahrgenommen. Die Stimmgebung wird insgesamt als anstrengend empfunden. Nach Aussage einer Berufssprecherin treten Unregelmäßigkeiten und Unflüssigkeiten im Sprechablauf während der menstruellen und prämenstruellen Phase auf.

Neben den Stimmveränderungen werden Auffälligkeiten wie Mundtrockenheit und Trockenheitsgefühl im Kehlkopf genannt, das häufig auch mit Verschleimung einhergeht. Die Schwankungen in der Sekretbildung der laryngealen Drüsenzellen sind hierfür ausschlaggebend. Folge ist vor allem bei Berufssprechern und Sängerinnen die Zunahme eines Räuspergefühls bis hin zu Räusperzwang. Die Wassereinlagerungen wirken sich unmittelbar auf die Schwingungsrate und die Schwingungsverhältnisse der Stimmlippen aus. Der Stimmumfang ist von diesen Einschränkungen betroffen. Wie in Kap. 3.4.2 und 3.4.3 erläutert spielt die Einschwingrate eine entscheidende Rolle für die Güte der Stimme und bestimmt den Modus des Stimmeinsatzes.

Bereits in den 40er-Jahren wurde Sängerinnen an einigen Opernhäusern sog. „*grace days*“ gewährt; dies bedeutete, dass die Sängerinnen in der prämenstruellen und menstruellen Phase keine Auftritte wahrnehmen mussten, um ihre Stimmen schonen zu können.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich aus den Daten und den Aussagen der Probandinnen – unter Berücksichtigung der Stichprobenzahl – Tendenzen abzeichnen.

Die subjektive Wahrnehmung des Phonationssystems verändert sich im Zyklusverlauf. Dabei weisen die Werte in die Richtung, dass zum Zeitpunkt  $t_2$  die Stimme als qualitativ besser und damit die Stimmgüte höher eingeschätzt wird als zu den Vergleichszeitpunkten. Das gleiche Bild zeigt sich im Bereich der Wahrnehmung der Kehlkopfregion.

Des Weiteren konnte dargelegt werden, dass die Probandinnen vom Status 1 über eine differenzierte Wahrnehmung verfügen. Dies gibt darüber Aufschluss, dass die intensive Auseinandersetzung mit der eigenen Stimme, wie es durch eine Gesangsausbildung geschieht und in jahrelanger Stimmbildung kultiviert wird, die Wahrnehmung und die Beurteilung der eigenen Stimme fördert. Die Daten weisen zudem darauf hin, dass zwischen den Berufssprecherinnen und den Nicht-Berufssprecherinnen kaum Unterschiede in der Beurteilung und Wahrnehmung des phonatorischen Systems festzustellen sind. Die entscheidenden Veränderungen der Stimmparameter lassen sich nur im Singstimmfeld bei extremen Stimmleistungen erfassen. Im Sprechstimmfeld sind diese Veränderungen nicht nachzuweisen. Auch dies unterstützt die Annahme, dass die Probandinnen des Status 1 über eine bessere subjektive Wahrnehmung verfügen, da sie der Produktionen extremer Stimmleistung konstant ausgesetzt sind und u.U. diese auch durch den Einsatz von Stimmtechniken entsprechend kompensieren müssen.

Die Berufssprecherinnen weichen in ihren Werten kaum von den Nicht-Berufssprecherinnen ab, obgleich sie zum Teil eine Sprechausbildung absolviert haben, zumindest aber im Sprechberuf tätig sind und täglich einer Stimmbelastung von mehreren Stunden ausgesetzt sind. Dies lässt an die vorangegangenen Ergebnisse anknüpfen, aus denen eine bessere und intensivere Stimm- und Sprechausbildung für Berufssprecher abgeleitet wurde. Als entscheidende Konsequenz sollten Aspekte der Gesangsausbildung in die Ausbildung für Berufssprecher aufgenommen werden, da hier eine weitere qualitative Komponente hinzukommt, die zum einen die Stimme an sich schult und trainiert und zum anderen die Eigenwahrnehmung verbessert.

Innerhalb der Stimm- und Sprech-, aber auch der Gesangsausbildung ist die Berücksichtigung resp. die Bewusstmachung zyklusbedingter Stimmveränderungen zu thematisieren. Insbesondere in den Bereich der Stimmhygiene ist dieser Aspekt aufzunehmen, der bislang weder in der Stimmausbildung noch in der Stimmtherapie ausreichend behandelt wird. Dabei sollte sowohl auf entsprechende Auffälligkeiten der Stimme hingewiesen werden als auch die dominanten Symptome angesprochen werden. Im Sinne der Prophylaxe von Stimmstörungen ist die Bewusstmachung zyklusbedingter Stimmveränderungen und vor allem der stimmlichen

Einschränkungen zu bestimmten Zyklusphasen grundlegend. Ein bewusster und vor allem schonender Umgang mit der Stimme zu den entsprechenden Zyklusphasen ist hier zu nennen. Insbesondere für Sängerinnen ist dies von entscheidender Bedeutung.

## **12 Zusammenfassung und Ausblick**

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Einfluss der Hormone auf die weibliche Stimme beleuchtet, wobei im Vordergrund der theoretischen Ausführungen sowie der Studie der Einfluss der Steroidhormone auf das Phonationssystem im Menstruationszyklus stand. In diesem Zusammenhang wurde die Stimmfeldmessung als akustisches Analyseverfahren zur Erfassung jener Stimmparameter herangezogen, die in eindeutiger Weise diese Veränderungen nachweisen. Ein signifikanter Einfluss des Messzeitpunkts konnte auf die maximalen Frequenzen, den Stimmumfang und den DSI-Wert nachgewiesen werden. Auch die minimalen Frequenzen sollten berücksichtigt werden, obgleich keine Signifikanz des Messzeitpunkts gezeigt werden konnte. Die Intensität hingegen ist kritisch zu betrachten, da sie in allen Ausprägungen nur gering variiert und sehr vom Messvorgang abhängt. In Bezug auf die Intensität konnte kein signifikanter Einfluss des Messzeitpunkts nachgewiesen werden, ebenso wenig wie auf die mittlere Sprechstimmlage.

Es zeigt sich, dass zyklischbedingte Stimmveränderungen im Singstimmfeld, nicht aber im Sprechstimmfeld nachzuweisen sind, wobei im Sinne einer umfassenden und aussagekräftigen Interpretation die kombinierte Betrachtung beider Stimmfelder sowie deren qualitative Interpretation entscheidend und sinnvoll ist.

Qualitativ konnte anhand intra- und interindividueller Vergleichsstimmfelder von Probandinnen aller drei vorgestellten Status gezeigt werden, dass die Formen der Stimmfelder zu den Zyklusphasen die gleiche Tendenz aufweisen. Sowohl die quantitative, als auch die qualitative Analyse ergeben, dass die Stimme zum Zeitpunkt der späten Follikel- und/oder Ovulationsphase die besten Werte aufweist und die höchste Güte besitzt. Während der prämenstruellen und menstruellen Phase sind die Stimmparameter weniger ausgeprägt und die Stimmqualität und Stimmgüte herabgesetzt.

Neben der objektiven Erfassung der Stimmparameter stand anhand einer Fragebogenerhebung auch die subjektive Wahrnehmung für zyklusbedingte Stimmveränderungen im Vordergrund.

Es konnte nachgewiesen werden, dass der Status der Probandinnen einen Einfluss auf die subjektive Beurteilung ausübt. Anhand einer statusorientierten Analyse konnte diese Tendenz verdeutlicht werden. Die Probandinnen mit Gesangsausbildung verfügen über eine bessere subjektive Wahrnehmung ihrer Stimme als die beiden Vergleichsgruppen, die sich in den Werten sehr ähnlich sind. Dieses Ergebnis wurde auch im Vergleich objektiver Stimmparameter und subjektiver Beurteilung gestützt.

Der Einfluss des Messzeitpunkts auf die subjektive Beurteilung des phonatorischen Systems hingegen ist nicht signifikant, obgleich auch hier festgestellt werden konnte, dass sich zu den drei Messzeitpunkten Tendenzen innerhalb der subjektiven Wahrnehmung abzeichnen.

Des Weiteren wurden verschiedene Symptome in Hinblick auf zyklusbedingte Veränderungen des phonatorischen Systems erfasst. Dabei kristallisierten sich sowohl im stimmlichen, als auch laryngo-pharyngealen Bereich dominierende Symptome heraus.

Als Konsequenzen aus der Studie ist abzuleiten, dass sich die Stimmfeldmessung als Analyseverfahren in Hinblick auf zyklusbedingte Stimmveränderungen eignet. Jedoch ist die kombinierte Betrachtung der Stimmparameter mit der qualitativen Analyse des Sprech- und Singstimmfeldes unabdingbar. Sowohl in Hinblick auf die Stimmdiagnostik als auch auf die Stimmausbildung sind zu einer umfassenden Beurteilung der Stimme Vergleichsstimmfelder erforderlich. Darüber hinaus ist der Messzeitpunkt bei Frauen, die keine Hormonpräparate einnehmen, unbedingt zu berücksichtigen. Nur auf dieser Grundlage lässt sich eine stimmige und aussagekräftige Beurteilung der Stimme abgeben.

Des Weiteren ergibt sich aus den Untersuchungsergebnissen, dass im Bereich der Sprechausbildung von Berufssprechern Aspekte der Gesangsausbildung berücksichtigt werden sollten. Dies betrifft sowohl die Stimmbildung an sich als auch die Verbesserung der Eigenwahrnehmung. Die Thematisierung zyklusbedingter Stimmveränderungen sowie der dominierenden Symptome der laryngealen Wahrnehmung in der Stimmtherapie bzw. Stimmausbildung sind entscheidend und sollten in den Katalog stimmhygienischer Schwerpunkte aufgenommen werden. Zudem sollte dieser Aspekt in Hinblick auf die Prophylaxe von Dysphonien diskutiert werden. Für den Bereich der Sprechberufe wird zunehmend die Forderung nach stimmlichen Eignungstests laut, da die Zahl der Berufssprecher, die eine Stimmstörung entwickeln, konstant zunimmt. Für die Diagnostiker ist die Berücksichtigung zyklusbedingter Stimmveränderung in diesem Zusammenhang entscheidend. Gleiches gilt auch für die Bestimmung einer Therapierelevanz bei funktionellen

Dysphonien. Nur anhand von Vergleichsstimmfeldern und der Berücksichtigung des Messzeitpunkts sind eindeutige und objektive Beurteilungen der Stimme möglich.

In Bezug auf den therapeutischen Alltag ist es auch innerhalb der Stimmtherapie sowie der Stimmausbildung und in besonderer Weise auch in der Gesangsausbildung grundlegend für Stimmtherapeuten sowie für Gesangslehrer und Sprecherzieher sich dieser Thematik bewusst zu sein und entsprechend in die therapeutische Arbeit einfließen zu lassen.

Als Folge der bisherigen Ergebnisse ist es sinnvoll, entsprechende Untersuchungen an größeren Stichproben durchzuführen. Ein besonderer Schwerpunkt sollte dabei auf den Bereich der funktionellen und organischen Dysphonien gelegt werden, da hierzu bislang keine Daten vorliegen. Insbesondere bei funktionellen Dysphonien, bzw. Belastungsdysphonien sind entsprechende zyklusbedingte Veränderungen zu untersuchen, um diese entsprechend in einer umfassende Stimmdiagnostik zu berücksichtigen.

Eine weitere Forschungsfrage betrifft den Einfluss der Alterseffekte. Bislang liegen auch aus dem medizinischen Bereich kaum Untersuchungen in Bezug auf physiologische Veränderungen des phonatorischen Systems bei Frauen vor. Bislang durchgeführte Studien beziehen sich schwerpunktmäßig auf Stimmveränderungen im Klimakterium, beleuchten aber nicht den natürlichen Alterungsprozess der weiblichen Stimme.

Eine weitere Frage lässt sich aus den bisherigen Daten ableiten, deren Inhalt zu Beginn der Arbeit bereits thematisiert wurde. Die weibliche Stimme verändert sich – sofern keine Hormonpräparate eingenommen werden – im Menstruationszyklus auf mehreren Ebenen. Betrachtet man die Stimme als System, wie aus Abb. 1 hervorgeht, so stehen die zyklusbedingten Stimmveränderungen nicht isoliert, sondern beeinflussen weitere Aspekte dieses Systems und werden durch sie beeinflusst. Vor diesem Hintergrund sind die zyklusbedingten Stimmveränderungen zu betrachten. Ein entscheidender Aspekt betrifft dabei die Wirkung der Stimme bzw. der Sprecherin, die es unter Berücksichtigung dieser Thematik zu untersuchen gilt.

Aufgrund der Erfahrungen und dank der Anregung vieler Patientinnen in der Stimmtherapie und Stimmausbildung, galt es, dieses wenig behandelte Thema, das Frauen jedoch ständig begleitet, aus mehreren Blickwinkeln zu beleuchten. Die Thematik betrifft all jene, die in der Stimmtherapie und Stimmausbildung tätig sind, insbesondere aber alle jene Frauen, die

kontinuierlichen stimmlichen Anforderungen ausgesetzt sind, wie Berufssprecherinnen und Sängerinnen.

Die Thematik sollte zukünftig einen festen Platz in der Stimmhygiene und der Prophylaxe von Stimmstörungen einnehmen. Weitere Studien – wie sie bereits genannt wurden – sind erforderlich, um diesen Themenkomplex vor allem in den geisteswissenschaftlichen Disziplinen weiter zu etablieren.

*„Die Stimme ist das schönste Instrument, das dem Menschen gegeben wurde. Ein Instrument, das es möglich macht, innere Schwingungen nach außen zu bringen, Kontakt mit unserem Ich und der Welt aufzunehmen, Worte zu formulieren, einen eigenen, ganz persönlichen Klang zu schaffen“.*

Annette Cramer

## 13 Verzeichnisse

### 13.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übersicht über die stimmbeeinflussenden Faktoren (aus Hammer, 2003, S. 48).....	3
Abb. 2:	Darstellung des Thorax und der Lage des Zwerchfells von ventral (aus Habermann, 1986, S. 9) .....	9
Abb. 3:	Bewegungen des Zwerchfells (aus Schünke et al., 2007, S. 32) .....	9
Abb. 4:	Darstellung der an der Atmung beteiligten Muskulatur (aus Wirth, 1995, S. 25).....	10
Abb. 5:	Oberflächenanatomie der Lunge (aus Ehrenberg, 2001, S. 32).....	11
Abb. 6:	Schematische Darstellung von äußerer und innerer Atmung verbunden durch den Blutkreislauf (aus Ehrenberg, 2001, S. 58).....	12
Abb. 7:	Überblick über die Atemvolumina (aus Birbaumer & Schmidt, 1991, S. 98).....	17
Abb. 8:	Schrägensicht des Kehlkopfgerüsts von links-ventral (aus Schünke et al., 2007, S. 14).....	20
Abb. 9:	Dorsale Ansicht des Kehlkopfgerüsts (aus Schünke et al., 2007, S. 14).....	20
Abb. 10:	Laterale Ansicht des Kehlkopfinneren (aus Boenninghaus & Lenarz, 2007, S. 245).....	21
Abb. 11:	Zugrichtungen der inneren Kehlkopfmuskeln (aus Schünke et al., 2007, S. 19).....	23
Abb. 12:	Darstellung des strukturellen Aufbaus der Stimmlippen (aus Lürßen et al., 2005, S. 36).....	26
Abb. 13:	Darstellung der horizontalen und vertikalen Stimmlippenbewegungen (aus Wirth, 1995, S. 92, nach Schönhärl, 1960) .....	26
Abb. 14:	Darstellung der Randkantenverschiebung (aus Wirth, 1995, S. 92, nach Schönhärl, 1960) .....	26
Abb. 15:	Stimmumfänge von Durchschnittsstimmen (obere Blöcke) und Sängern (untere Blöcke) (aus Böhme, 1997, S. 113, zitiert nach Frank & Sparber, 1970).....	35
Abb. 16:	Darstellung der vertikalen Lageveränderung des Larynx über die Lebensspanne (aus Arnold & Aronson, 1990, S. 40) .....	37
Abb. 17:	Vergleichende Darstellung der laryngealen Größenverhältnisse des kindlichen und des erwachsenen Kehlkopfs; E: Epiglottis, VF: vocal folds, A: Region der Cc. arytenoidei (aus Keilmann, A., 2004, S. 27) .....	38

Abb. 18: Überblick über die Entwicklung der Stimmumfänge ab dem Alter von 3 Jahren bis zur Pubertät (aus Böhme, 1997, S. 112; zitiert nach Frank & Tesarek, 1980).....	43
Abb. 19: Darstellung der Entwicklung des physiologischen und musikalischen Stimmumfangs (aus Arnold & Aronson, 1990, S. 43; zitiert nach van Oordt, H.W.A. & Drost, H.A., 1963).....	46
Abb. 20: Darstellung des Regulationsmechanismus der Hypothalamus-Hypophysen-Ovar-Achse (aus Kaiser & Pfeleiderer, 1989, S. 69).....	54
Abb. 21: Das limbische System mit den Verbindungen zwischen Hypothalamus, Thalamus, Amygdala und Hippocampus (aus Gertz, 2003, S. 107).....	55
Abb. 22: Hormonkonzentration der adenohipophysären Hormone und der Steroidhormone während einer Zyklusphase (aus Breckwoldt & Keck, 2003, S. 14).....	62
Abb. 23: Schematische Darstellung der Zyklusphasen, incl. der Hormonveränderungen, der Zyklusphasen und der Veränderungen des Endometriums (aus Breckwoldt & Keck, 2003, S. 26).....	62
Abb. 24: Altersverteilung der Probandinnen .....	95
Abb. 25: Normstimmfeld einer weiblichen Stimme (aus Schultz-Coulon, 1990, S. 15).....	106
Abb. 26: Stimmfeld einer stimmgesunden Frau (aus Nawka et al. 2006, S. 16) ..	108
Abb. 27: Fragebogen zur Erfassung zyklusbedingter Stimmveränderungen .....	118
Abb. 28: Vergleich der maximalen Frequenzen zu den drei Messzeitpunkten .....	122
Abb. 29: Vergleich der minimalen Frequenzen zu den drei Messzeitpunkten .....	124
Abb. 30: Vergleich des Stimmumfangs zu den drei Messzeitpunkten .....	126
Abb. 31: Vergleich der maximalen Intensität zu den drei Messzeitpunkten.....	129
Abb. 32: Vergleich der minimalen Intensität zu den drei Messzeitpunkten.....	131
Abb. 33: Vergleich der Stimmdynamik in Bezug zu den drei Messzeitpunkten ...	132
Abb. 34: Vergleich der DSI-Werte zu den drei Messzeitpunkten.....	134
Abb. 35: Vergleich der mittleren Sprechstimmlage zu den drei Messzeitpunkten .....	137
Abb. 36: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Fragebogenscores, Messzeitpunkt und Status (Status 1: elite vocal performers, Status 2: professional voice users, Status 3: non-vocal professionals).....	139
Abb. 37: Übereinstimmung der maximalen Frequenzen mit den Fragebogenscores unterteilt nach Status (Status 1: elite vocal performers, Status 2: professional voice users, Status 3: non-vocal professionals).....	142
Abb. 38: Übereinstimmung des Stimmumfangs mit den Fragebogenscores unterteilt nach Status (Status: s. Abb. 37).....	143
Abb. 39: Übereinstimmung der DSI-Werte mit den Fragebogenscores unterteilt nach Status (Status: s. Abb. 37).....	144

---

Abb. 40:	Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (39 J.) vom Status 1 zu t1 am 3. Zyklustag .....	155
Abb. 41:	Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (39 J.) vom Status 1 zu t2 am 16. Zyklustag .....	155
Abb. 42:	Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (39 J.) vom Status 1 zu t3 am 24. Zyklustag .....	155
Abb. 43:	Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (38 J.) vom Status 2 zu t1 am 2. Zyklustag .....	156
Abb. 44:	Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (38 J.) vom Status 2 zu t2 am 16. Zyklustag .....	156
Abb. 45:	Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (38 J.) vom Status 2 zu t3 am 25. Zyklustag .....	156
Abb. 46:	Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (40 J.) vom Status 3 zu t1 am 2. Zyklustag .....	157
Abb. 47:	Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (40 J.) vom Status 3 zu t2 am 16. Zyklustag .....	157
Abb. 48:	Darstellung des Stimmfeldes einer Probandin (40 J.) vom Status 3 zu t3 am 26. Zyklustag .....	157
Abb. 49:	Anzahl der Nennungen der 13 Items durch die Probandinnen zu den drei Messzeitpunkten .....	164
Abb. 50:	Addierte Scores der 13 Items zu den drei Messzeitpunkten .....	165

## 13.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Überblick über die Haupt- und Hilfsmuskulatur der Atmung (n. Wirth, 1995) .....	10
Tab. 2:	Übersicht über die Funktionen der äußeren Kehlkopfmuskulatur .....	22
Tab. 3:	Darstellung der Stimmgattung und der durchschnittlichen Sprechstimmlage.....	50
Tab. 4:	Überblick über die Hormone des weiblichen Funktionszyklus .....	58
Tab. 5:	Zeitplan für die Stimmfeldmessungen .....	92
Tab. 6:	Darstellung der Ausprägung des DSI (modifiziert nach Nawka et al., 2006) .....	104
Tab. 7:	Mediane der maximalen Frequenzen zu den drei Messzeitpunkten .....	122
Tab. 8:	output des gemischten Modells: maximale Frequenzen – factor_messung + factor_status .....	123
Tab. 9:	Mediane der maximalen Frequenzen nach Status unterteilt .....	123
Tab. 10:	Mediane der minimalen Frequenzen zu den drei Messzeitpunkten .....	125
Tab. 11:	output des gemischten Modells: minimale Frequenzen – factor_messung+factor_status .....	125
Tab. 12:	Mediane des Stimmumfangs zu den drei Messzeitpunkten .....	126
Tab. 13:	output des gemischten Modells: Stimmumfang – factor_messung+factor_status .....	127
Tab. 14:	Mediane des Stimmumfangs nach Status unterteilt .....	127
Tab. 15:	Mediane der maximalen Intensität zu den drei Messzeitpunkten .....	128
Tab. 16:	output des gemischten Modells: maximale Intensität – factor_messung+factor_status .....	129
Tab. 17:	Mediane der maximalen Intensität nach Status unterteilt.....	130
Tab. 18:	Mediane der minimalen Intensität zu den drei Messzeitpunkten.....	130
Tab. 19:	Mediane des Dynamikumfangs zu den drei Messzeitpunkten.....	132
Tab. 20:	output des gemischten Modells: Dynamikumfang – factor_messung + factor_status.....	132
Tab. 21:	Mediane der Stimmdynamik nach Status unterteilt .....	133
Tab. 22:	Mediane des DSI zu den drei Messzeitpunkten .....	134
Tab. 23:	output aus dem gemischten Modell: DSI – factor_messung+factor_status.....	135
Tab. 24:	Mediane der mittleren Sprechstimmlage zu den drei Messzeitpunkten .....	136

### 13.3 Literaturverzeichnis

- Abitbol, J., Abitbol, P., Abitbol, B. (1999): Sex Hormones and the Female Voice. In: Journal of Voice, Vol. 13, No. 3, pp. 424-446. Singular Publishing Group, Inc.
- Abitbol, J., de Brux, J., Millot, G., Masson, M-F., Languille Mimoun, O., Pau, H., Abitbol, B. (1989): Does a Hormonal Cord Cycle Exist in Women? Study of Vocal Premenstrual Syndrome in Voice Performers by Videostroboskopy-Glottography and Cytology on 38 Women. In: Journal of Voice, Vol. 3, No.2, pp 157 – 162. New York: Raven Press, Ltd.
- Airainer, R., Klingholz, F. (1991): Computergestützte Stimmfeldauswertung als Diagnostikhilfe bei funktionellen Dysphonien. In: Laryngo-Rhino-Otol. 70, S. 362-366. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Amir, O., Biron-Shental, T. Muchnik, C., Kishon-Rabin, L (2003): Do Oral Contraceptives Improve Vocal Quality? Limited Trial on Low-Dose Formulations. S. 773-777. In: Obstetrics and Gynecology. Verfügbar unter: <http://www.greenjournal.org/cgi/content/full/101/4/773> (Datum der Recherche: 28.03.2008)
- Amir, O., Kishon-Rabin, L., Muchnik, Ch. (2002): The Effect of Oral Contraceptives on Voice: Preliminary Observations. S. 267-273. In: Journal of Voice, Vol. 16, Nr. 2. The Voice Foundation
- Arnold, E., Aronson, Ph.D. (1990): Clinical voice disorders. An interdisciplinary Approach. (Third edition). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Bauer, H. (1994): Zur Bedeutung der ätiologischen Abklärung bei Stimmstörungen. In: Grohnfeldt, M. (Hrsg.) Handbuch der Sprachtherapie. Band 7. Stimmstörungen. Berlin: Edition Marhold im Wissenschaftsverlag Volker Spiess GmbH
- Becker, W., Naumann, H.H., Pfaltz, C.R. (1989). Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde (4. überarbeitete Aufl.). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Bergauer, U. (1998): Praxis der Stimmtherapie. Logopädische Behandlungsvorschläge und Übungsmaterialien. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- Beushausen, U., Haug, C. (2003): Kindliche Stimmstörungen. Mehrdimensionale Diagnostik und Therapie. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag
- Birbaumer, N., Schmidt, R.F. (1991): Biologische Psychologie (2. korr. Auflage). Berlin, Heidelberg, New York, London, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest: Springer-Verlag
- Böhme, G. (1997): Sprach- Sprech- und Stimmstörungen. Band 1, (3. Aufl.) Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm: Gustav Fischer Verlag
- Boenninghaus, H.-G. (1990): Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde (8. Aufl.) Berlin, Heidelberg, New York, London Paris Tokio, Hong Kong: Springer-Verlag

- Boenninghaus, H.-G., Lenarz, T. (2007): HNO (13.Aufl.). Heidelberg: Springer Medizin Verlag
- Bortz, J., Lienert, G.A. (2003). Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung. (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag
- Breckwoldt, M., Keck, C. (2003). Physiologie der Ovarialfunktion. In: Dudenhausen, J.W., Schneider, H.P.G., Bastert, G. Frauenheilkunde und Geburtshilfe (Hrsg., 2. Aufl.). Berlin, New York: Walter de Gruyter
- Brohammer, C., Kämpfer, A. (2004): Therapie kindlicher Stimmstörungen. München: Ernst-Reinhardt Verlag
- Calvet J., Malhiac, G. (1952): Courbes vocales et mue de la voix. In: J Franc Otorhinolaygol 1, pp 115-124
- Chae, S.W., Choi, G., Kang, H.J., Choi, J.O., Jin, S.M. (2001): Clinical Analysis of Voice Change as a Parameter of Premenstrual Syndrome. S. 278-283. In: Journal of Voice. Vol. 15, Nr. 2. The Voice Foundation.
- Coleman, R., Mott, J.B. (1978): Fundamental frequency and sound pressure level profiles of young female singers. Folia Phoniatr 30, pp 85-160
- Cramer, A. (1998): Das Buch von der Stimme. Zürich, Düsseldorf: Walter Verlag
- Davis, C.B., Davis, M.L. (1993). The Effects of Premenstrual Syndrome (PMS) on the Female Singer. In: Journal of Voice, Vol. 7, No. 4, pp. 337-353. New York: Raven Press, Ltd.
- Dejonckere, Ph., Bradley, P., Clemente, P., Cornut, G., Crevier-Buchman, L., Friedrich, G., van de Heyning, P., Remacle, M., Woissard, V. (2001): A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for evaluation of efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. In: Eur Arch Otorhinolaryngol 258; pp 77 – 82
- Diedrich, K., Holzgreve, W., Jonat, W., Schultze-Mosgau, A., Schneider, K.-T., Weiss, J. (Hrsg.) (2007): Gynäkologie und Geburtshilfe (2. Aufl.). Heidelberg: Springer Medizin Verlag
- Echternach, M., Richter, B. (2008): Was versteht man unter Randkantenverschiebung. In: Sprache-Stimme-Gehör 32, S. 141. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Eckert, H., Laver, J. (1994): Menschen und ihre Stimmen. Aspekte der vokalen Kommunikation. Weinheim: PVU/Beltz
- Ehrenberg, H. (2001): Atemtherapie in der Physiotherapie/Krankengymnastik. Anatomische, physiologische, pathologische Grundlagen. Atemwegs- und Lungenkrankheiten. Atmung und Psyche. Atem- und Bewegungstechniken (2. überarbeitete Auflage). München, Bad Kissingen, Berlin, Düsseldorf, Heidelberg: Richard Pflaum Verlag GmbH und Co. KG

- Eysholdt, U., Toy, H., Lohscheller, J., Rosanowski, F. (2005): Heiserkeit durch irreguläre Stimmlippenschwingungen – von der theoretischen Vorhersage bis zum klinischen Nachweis. In: Sprache-Stimme-Gehör, 29. S. 15-22. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag KG
- Fahrmeir, L., Künstler, R., Piegot, I., Tutz, G. (2005): Statistik (5. Aufl.). Springer-Verlag: Stuttgart, Heidelberg
- Faulstich, G. (2000): Die Sängeratmung. In: Stimme-Sprache-Gehör 1, 24 Jahrgang, S. 25-33. Stuttgart, New York: Georg-Thieme-Verlag
- Ferguson, C. (1977). Baby talk as simplified register. In: Snow, C., Ferguson, C. (Eds.), Talking to children: Language input and acquisition. Cambridge: Cambridge University Press
- Frank, F. (1993): Sprech- und Singstimmbewertung über stimmliche Parameter. In: Stimme-Sprache-Gehör 17, S. 43-46. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Frank, F. (1997): Die alternde Sängerstimme. In: Sprache-Stimme-Gehör 3, 21. Jahrgang, S. 127-129. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Frank, F., Sparber, M. (1970). Stimmumfänge bei Erwachsenen aus neuer Sicht. In: Folia phoniat. 22, 403-412
- Frank, F., Tesarek, L. (1980): Neue Erkenntnisse über Stimmumfänge bei sechsjährigen Knaben. In: Stimme-Sprache-Gehör 4. S. 147-149
- Friedrich, G. (2006): Basisprotokoll für die Stimmdiagnostik – Richtlinien der European Laryngological Society (ELS). In: Forum Logopädie, Heft 4 (20). S. 6-12
- Friedrich, G., Bigenzahn, W., Zorowka, P. (1998): Phoniatrie und Pädaudiologie. (3. Aufl.). Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber
- Friedrich, G., Dejonckere, P.H. (2005): Das Stimmdiagnostik-Protokoll der European Laryngological Society (ELS) – erste Erfahrungen im Rahmen einer Multizenterstudie. In: Laryngo-Rhino-Otol; 84: S. 744-752
- Gertz, S. D. (2003): Basiswissen Neuroanatomie (4. unveränderte Aufl.). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag,
- Habermann, Günther (1986): Stimme und Sprechen. Stuttgart, New York: Thieme Verlag
- Hammer, Sabine (2003): Stimmtherapie mit Erwachsenen. In: Monika Thiel (Hrsg.), Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag
- Heidelbach, J.-G. (1994). Stimmprobleme bei stimmintensiven Berufen. In: Grohnfeldt, M. (Hrsg). Handbuch der Sprachtherapie. Band 7. Stimmstörungen. Berlin: Edition Marhold im Wissenschaftsverlag Volker Spiess GmbH

- Hermann-Röttgen, M., Miethe E. (1993): Wenn die Stimme nicht stimmt... Symptome, Ursachen, Therapie. Bedingungen und Wirkungen der Stimme. Die Stimme im Beruf. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Higgins, M., Saxman, J. (1989): Variations in Vocal Frequency Perturbation Across the Menstrual Cycle. In: Journal of Voice. Vol. 3, No. 3, pp 233-243. New York: Raven Press, Ltd.
- Hirano, M. (1981): Clinical examination of voice. New York: Springer Verlag.
- Hirschberg, J., Szende, T. (1985): Pathologische Schreistimme, Stridor und Hustenton im Säuglingsalter. In: Akademiak Kiado, Budapest. Stuttgart: G. Fischer-Verlag.
- Jürgens, U. (2003): Zum stimmlichen Ausdruck emotionaler Zustände. Eine vergleichende verhaltens- und neurobiologische Untersuchung. In Sprache-Stimme-Gehör. 27, S. 71-74. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Kaiser, H. (1992) (Hrsg.): Anatomie des Menschen. Klagenfurt: Neuer Kaiser Verlag-Buch und Welt
- Kaiser, R., Pfeleiderer, A. (1989): Lehrbuch der Gynäkologie (16. neubearbeitete Aufl.) Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Kasper, H-J. (2008): Singen und Flugzeuge. Stimmhygiene und Stimmregeneration mit dem Bernoulli-Effekt. Otzenhausen: Verlag Burr
- Kaufman, J., Isaacson, G. (1991): Voice disorders. The Otorhinolaryngologic Clinics of North America. Philadelphia: Saunders
- Kegel, Gerd (1987): Sprache und Sprechen des Kindes (3. Aufl.). Opladen: Westdeutscher Verlag GmbH
- Keilmann, A. (2004): Stimmtherapieforschung auf phoniatischer Sicht. In: Zimmermann, Susanne; Iven, Claudia; Maihack, Volker. Hauptsache Stimme. Köln: ProLog Therapie- und Lernmittel OHG
- Klingholz, F. (1986): Die Akustik der gestörten Stimme. Stuttgart, New York. Georg Thieme Verlag
- Klingholz, F. (1991): Jitter. In: Sprache-Stimme-Gehör 15, S. 79-85. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Kötter, H.U., Klingholz, F. (1996): Veränderungen von Phonationsparametern nach Stimmbelastung. In: Stimme-Sprache-Gehör 20, S. 134-140. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Kröger, J. (1997): Zur artikulatorischen Realisierung von Phonationstypen mittels eines selbstschwingenden Glottismodells. In: Sprache-Stimme-Gehör, 21, S. 102-105. Stuttgart, New York: Georg-Thieme Verlag

- LingCom (2004): Das lingWaves Stimmfeld Handbuch. Deutsch Version1.x. LingCom GmbH The Speech Technology Center-Germany. Verfügbar unter: <http://www.lingcom.de>
- Luchsinger, R., Arnold, G.E. (1970): Handbuch der Stimm- und Sprachheilkunde. Die Stimme und ihre Störungen. Band 1 (3. Aufl.). Wien, New York: Springer-Verlag
- Lüerßen, K., Lubatschowski, H., Gasse, H., Koch, R., Kuranov, R., Ptok, M. (2005): Charakterisierung von Stimmlippen mittels optischer Kohärenztomographie. In: Stimme-Sprache-Gehör, 1, 29. Jahrgang, S.35-39. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag KG
- Meurer, E., Garcez, V., Eye Corleta von, H., Capp, E. (2007): Menstrual Cycle Influences on Voice and Speech in Adolescent Females. In: Journal of Voice. The Voice Foundation
- Meuser, J., Müller, K.W., Zabiega, J. (1997): Meßsystem zur Differenzierung von Stimmstörungen. In: Sprache-Stimme-Gehör 3, 21. Jahrgang, S. 106-110. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Morris, R., Gorham-Rowan M., Herring, K. (2007): Voice Onset Time in Women as a Function of Oral Contraceptive Use. In: Journal of Voice. The Voice Foundation
- Nawka, T. (1999): Der Begriff „Material“ für das Singen. In: Sprache-Stimme-Gehör 2, 23. Jahrgang, S. 83-87. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Nawka, T. (2006): Stimmfeldmessung in der Praxis. Auf der Suche nach dem verlorenen Ton. In: HNO-Nachrichten 2, S. 28-33
- Nawka, T., Franke, I., Galkin, E. (2006): Objektive Messverfahren in der Stimmdiagnostik. In: Forum Logopädie, Heft 4 (20), S. 14-21
- Newman, S.-R., Butler, J., Hammond, E., Gray, S. (2000): Preliminary Report on Hormone Receptors in the Human Vocal Fold. In: Journal of Voice, Vol. 14, Nr. 1, pp 72-81. Singular Publishing Group
- Newport, E. (1977): Motherese: the speech of mothers to young children. In: Castellan, N. Pisoni, D., Potts, G. (eds.). Cognitive theory Vol. 2, Hillsdale, N.J: Erlbaum
- Oordt, H.W.A., Drost, H.A. (1963): Development of the frequency range of the voice in children. In: Folia Phoniatic., 15: 289-298.
- Pipitone, N., Gallup, G. (2008). Women's voice attractiveness varies across the menstrual cycle. In: Evolution and Human Behaviour, 29, Issue 4, pp 268-274. Verfügbar unter: [http://www.ehbonline.org/article/S1090-5138\(08\)00026-3/abstract](http://www.ehbonline.org/article/S1090-5138(08)00026-3/abstract) bzw. <http://www.ehbonline.org/article/PIIS10905138080000263/fulltext> (Datum der Recherche: 22.02.09)
- Ptok, M. (2004). Statistik und Versuchsplanung. In: Stimme-Sprache-Gehör. 28. Jg. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag KG

- Ptok, M., Iven, C., Jessen, M., Schwemmler, C. (2006): Objektiv gemessene Stimmlippen-schwingungsirregularität vs. subjektiver Eindruck der Rauigkeit. In: HNO, 54, S. 132-138. Springer Medizin Verlag
- Reker, U., Wesselmann, U. (1994): Ansätze und Probleme der objektiven Stimm diagnostik. In: Grohnfeldt, M. (Hrsg). Handbuch der Sprachtherapie. Band 7. Stimmstörungen. Berlin: Edition Marhold im Wissenschaftsverlag Volker Spiess GmbH
- Richter, B., Wittenberg, T., Dippold, S., Löhle, E., Tigges, M. (2005): Praktische Anwendung der Hochgeschwindigkeitsglottographie bei Sängern. In: Stimme-Sprache-Gehör 29, S. 23-28. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag KG
- Ryan, M., Kenny, D. (2007): Perceived Effects of the Menstrual Cycle on Young Female Singers in the Western Classical Tradition. In: Journal of Voice. The Voice Foundation
- Schade, G. (2005): Doppelbelichtungsstroboskopie. In: Stimme-Sprache-Gehör, 29. S. 3-8. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag KG
- Schandry, R. (1988): Lehrbuch Psychophysiologie (2. überarbeitete und erweiterte Auflage). Weinheim: Psychologie Verlags Union
- Schneider, B., Bigenzahn, W. (2002): Ergebnisse videostroboskopischer Untersuchungen an stimmlich beschwerdefreien Bewerbern für Sprechberufe. In: Laryngo-Rhino-Otol 81, S. 894-899. Stuttgart, New York: Georg-Thieme-Verlag
- Schneider, B., Bigenzahn, W. (2007): Stimm diagnostik. Ein Leitfaden für die Praxis. Wien, New York: Springer-Verlag.
- Schneider, B., Cohen, E., Stani, J., Kolbus, A. Rudas, M., Horvat, R., Trotsenburg van, M. (2007): Towards the Expression of Sex Hormons Receptors in the Human Vocal Fold. In: Journal of Voice, Vol. 21, No. 4, pp 502-507. The Voice Foundation.
- Schönhärl, E. (1960): Die Stroboskopie in der praktischen Laryngologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Schönweiler, R., Pahn, J., Müller, R., Spiecker-Henke, M., Rosanowski, R., Nawka, T. (2004): Neue Wege in der Behandlung chronischer Stimmkrankheiten. In: Logos Interdisziplinär, Jg. 12, Ausg. 2, S. 106-113
- Schünke, M. Schulte, D., Schumacher, U. (2007): Anatomische Grundlagen zur Stimm-, Sprach- und Dysphagietherapie. In: Sprache-Stimme-Gehör 1, 31. Jahrgang. Stuttgart, New York Georg Thieme Verlag KG
- Schultz-Coulon, H.-J. (1990): Stimmfeldmessung. Heidelberg: Springer-Verlag
- Schultz-Coulon, H.-J. (2000): Ventilatorische und phonatorische Atmungsfunktionen. In: Sprache-Stimme-Gehör 1, 24. Jahrgang, S. 1-17. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag

- Schultz-Coulon, H.-J., Asche, S. (1988): Das „Normstimmfeld“ – ein Vorschlag. In: Sprache-Stimme-Gehör. S. 5-8. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Schultz von Thun, F. (2004): Miteinander Reden 1. Störungen und Klärungen (39. Aufl.) Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag
- Schulze, J. (2002): Stimmstörungen im Kindes- und Jugendalter. Idstein: Verlag: Schulz-Kirchner
- Snow, C.E. (1977): Mothers` speech research: From input to interaction. In: Snow C.E., Ferguson, C.A. (Eds.), Talking to children: Language input and acquisition. Cambridge: Cambridge University Press
- Spiecker-Henke, M. (1997): Leitlinien der Stimmtherapie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Spital, H. (2004): Stimmstörungen im Kindesalter. Ursachen, Diagnose, Therapiemöglichkeiten. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Stemple, JC (1993): Voice therapy: a clinical study. St. Luis: Mosby Year Book
- Stengel, I., Strauch, T. (1996). Stimme und Person. Stuttgart: Klett-Cotta
- Stennert, E., Eckel, H.E. (1994). Medizinische Grundlagen. In: Grohnfeldt, M. (Hrsg.). Handbuch der Sprachtherapie. Band 7. Stimmstörungen. Berlin: Edition Marhold im Wissenschaftsverlag Volker Spiess GmbH
- Sung, W. Ch., Geon, Ch., Hee, J. K., Jong, O. Ch., S. M. J. (2001): Clinical Analysis of Voice Change as a Parameter of Premenstrual Syndrome. In: Journal of Voice Vol. 15, No. 2, pp. 278-283
- Szagan, G. (1991): Sprachentwicklung beim Kind: eine Einführung. München: Psychologie Verlags Union
- Thompson, R. (1990): Das Gehirn. Von der Nervenzelle zur Verhaltenssteuerung. Heidelberg: Dt. Ausgabe Spektrum-der-WissenschaftVerlagsgesellschaft mbH.
- Tigges, M., Wittenberg, Th., Pröschel, U., Rosanowski, F., Eysholdt, U. (1996): Hochgeschwindigkeitsglottographie des Einschwingvorgangs bei verschiedenen Stimmeinsatzmethoden. In Stimme-Sprache-Gehör, 20, S. 128-133. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Van Thiel, Irmela (2006). Stimmbeurteilung – ein Vergleich zwischen einer objektiven Messung und der subjektiven Einschätzung durch Patient und Therapeut. Magisterarbeit Ludwig-Maximilians-Universität München
- Waar, Ch., Damste, Ph. (1968): Het fonetogram. In: Logop Foniat 40, pp 198 - 201
- Wasz-Höckert, O., Lind, J., Vuorenkoski, V., Partenen, T., Valanne, E. (1968): The Infant Cry. London: William Heineman Medical Books,

- Watzlawick, P., Beaven, J.H. (1969): *Menschliche Kommunikation*. Bern/Stuttgart.
- Wedel, H. von, Wedel, U.-C. von (1994). *Stimmbildungstheorien*. In: Grohnfeldt, M. (Hrsg). *Handbuch der Sprachtherapie*. Band 7. *Stimmstörungen*. Berlin: Edition Marhold im Wissenschaftsverlag Volker Spiess GmbH
- Wendlandt, W. (1992): *Sprachstörungen im Kindesalter*. In: Hrsg. Springer L & Schrey-Dern, D. *Materialien zur Früherkennung und Beratung*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag
- Wendler, J., Rauhut, A. & Krüger, H. (1986): *Classification of voice qualities*. In: *Journal Phonet* 14, pp 483-488
- Wirth, Günther (1995): *Stimmstörungen* (4. Aufl.). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Wuyts, F.L., De Bodt, M.S., Molenberghs, G., Remacle, M., Heylen, L., Millet, B., Van Lierde, K., Raes, J., Van de Heyning, P.H. (2000): *The Dysphonia Severity Index: An Objective Measure of Vocal Quality Based on a Multiparameter Approach*. In: *Journal of Speech, Language and Hearing Research*. Vol. 43, S. 796-809. American Speech-Language-Hearing Association

**Anhang**

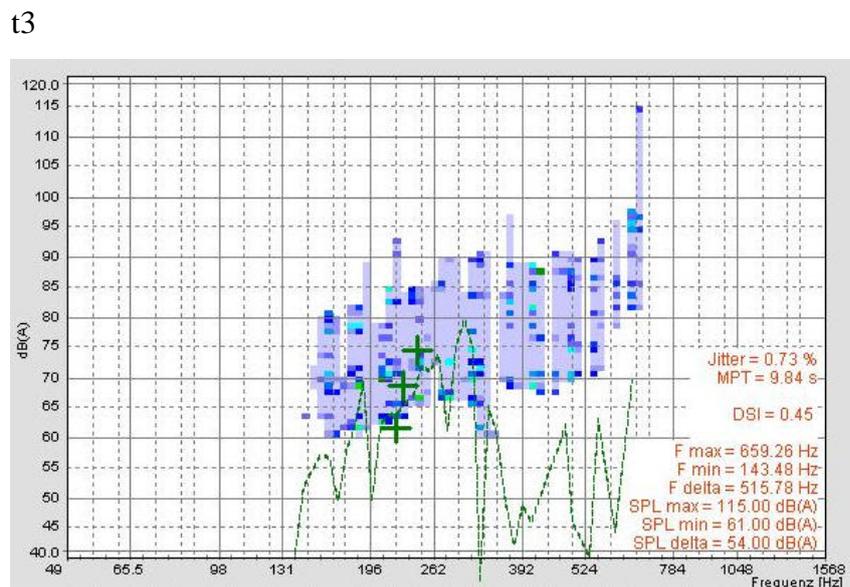
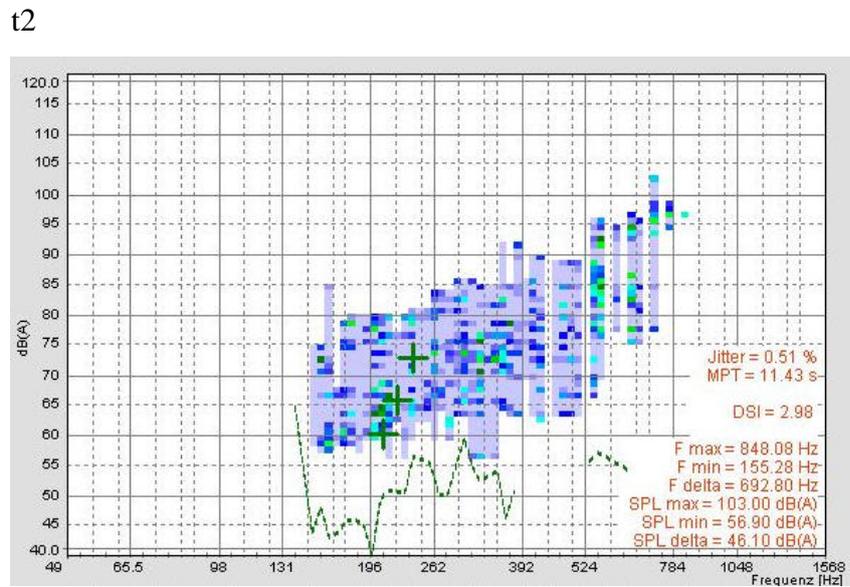
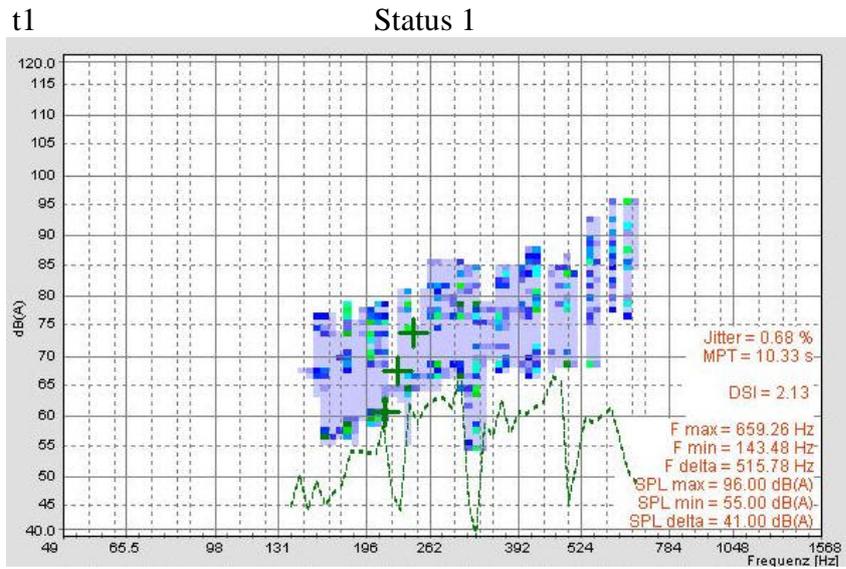
## A: Text für die Stimmfeldmessung

## Der Nordwind und die Sonne

Einst stritten sich Nordwind und Sonne, wer von ihnen beiden wohl der Stärkere wäre, als ein Wanderer, der in einen warmen Mantel gehüllt war, des Weges kam. Sie wurden einig, dass derjenige als der Stärkere gelten sollte, der den Wanderer zwingen würde, seinen Mantel abzulegen. Der Nordwind blies mit aller Macht, aber je mehr er blies, desto fester hüllte sich der Wanderer in seinen Mantel ein. Endlich gab der Nordwind den Kampf auf. Nun erwärmte die Sonne die Luft mit ihren freundlichen Strahlen, und schon nach wenigen Augenblicken zog der Wanderer seinen Mantel aus. Da musste der Nordwind zugeben, dass die Sonne von ihnen beiden der Stärkere war.

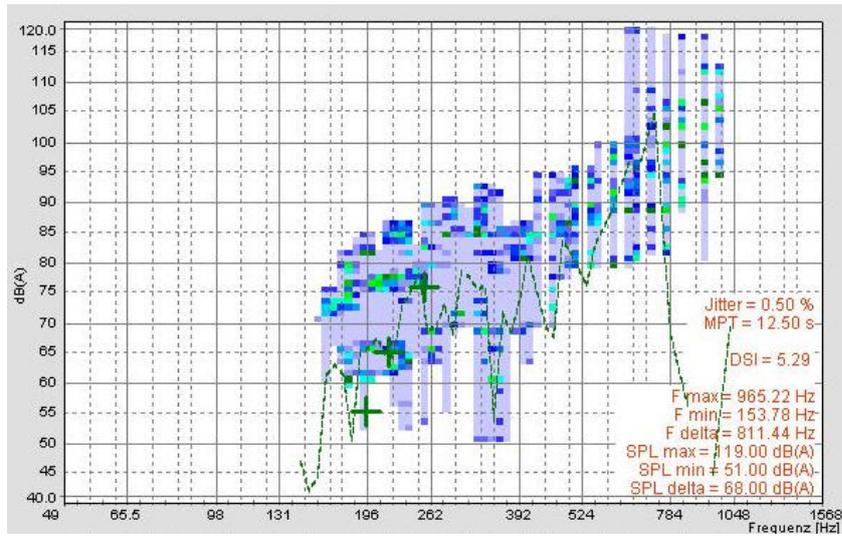
Äsop (600 v. Chr.)

B: Stimmfelder

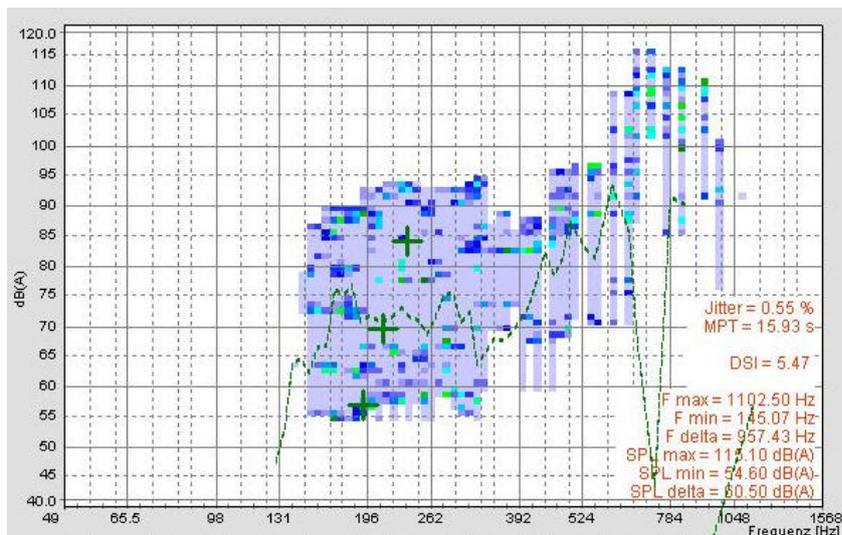


Status 1

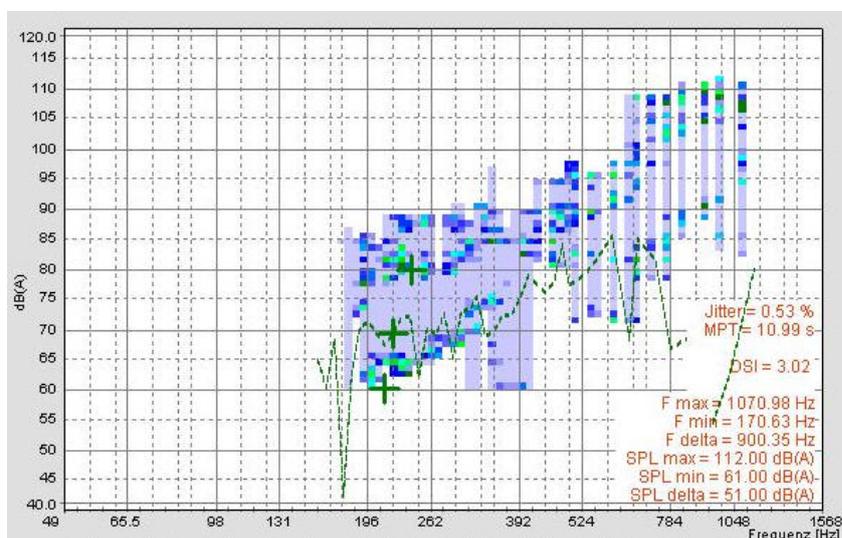
t1



t2

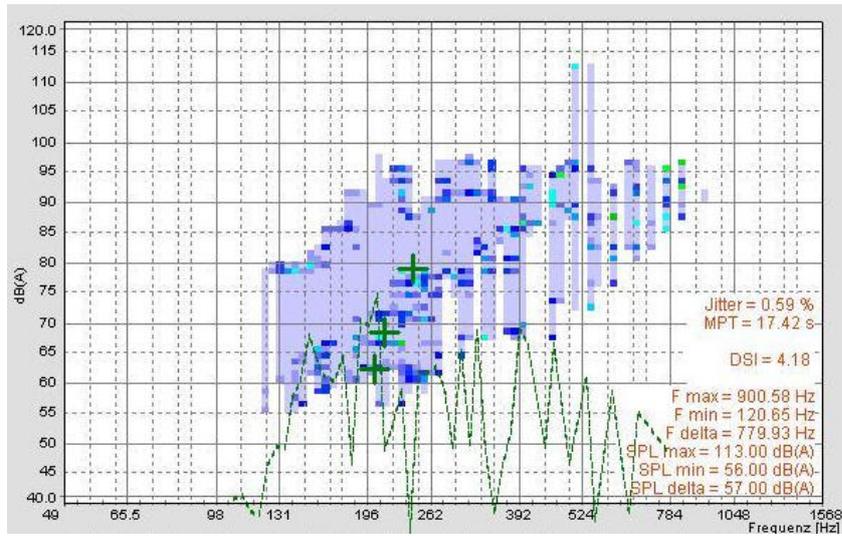


t3

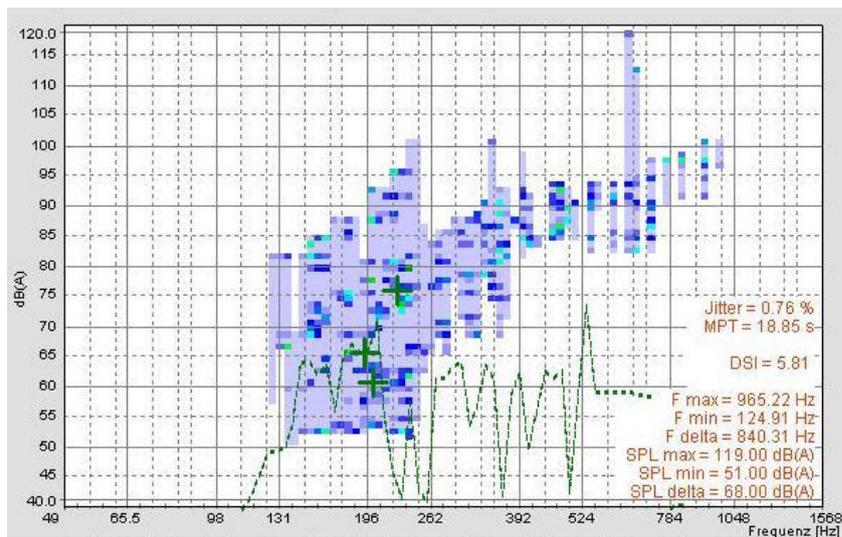


Status 1

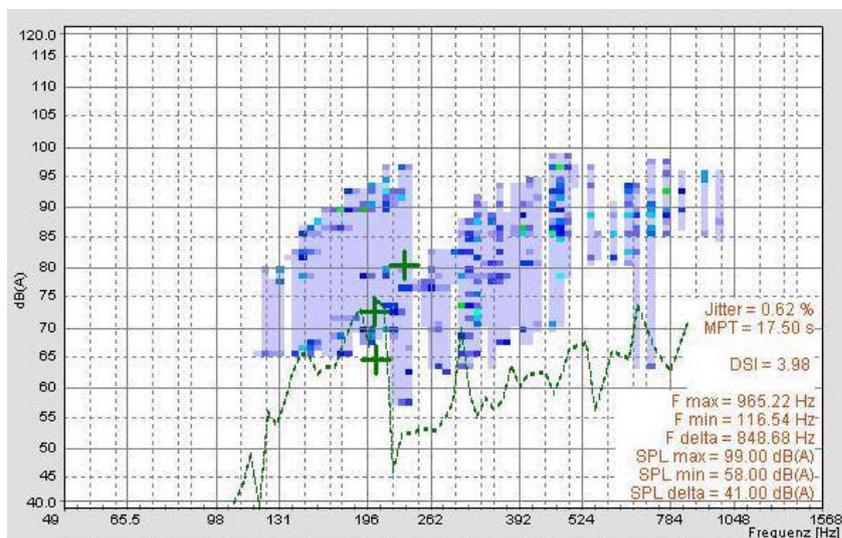
t1



t2

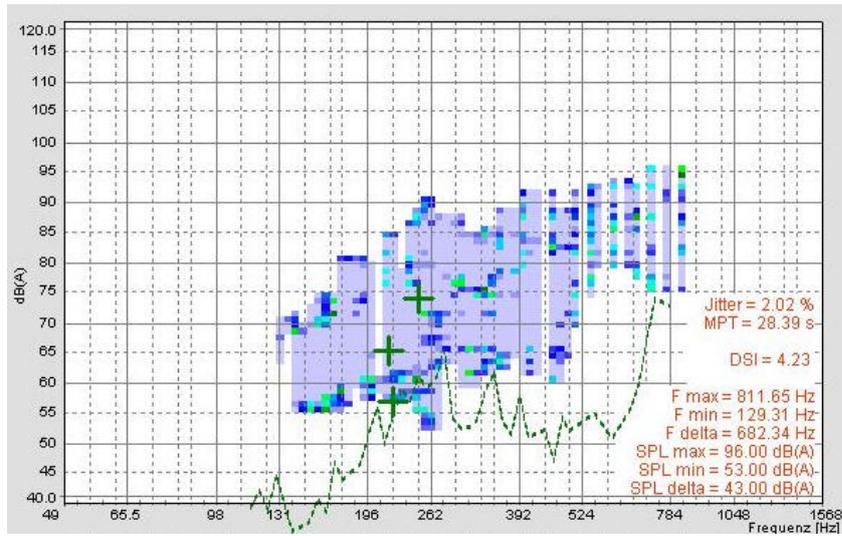


t3

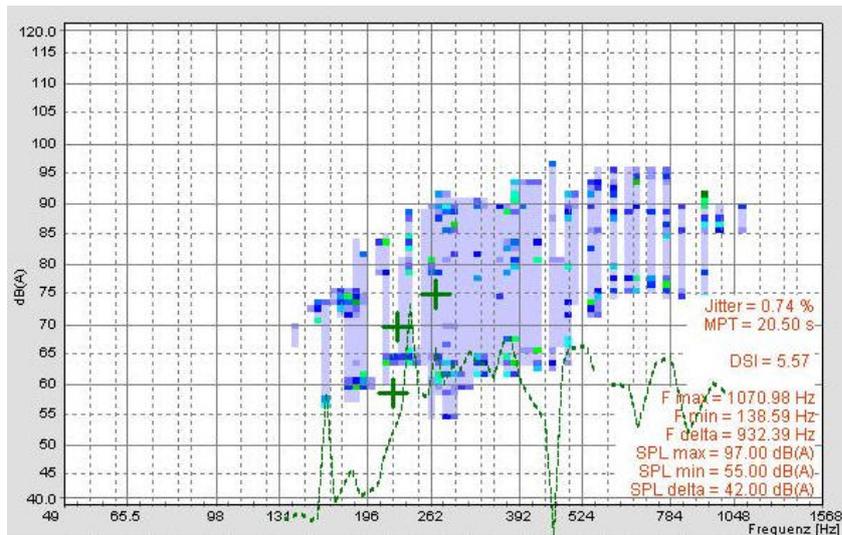


Status 1

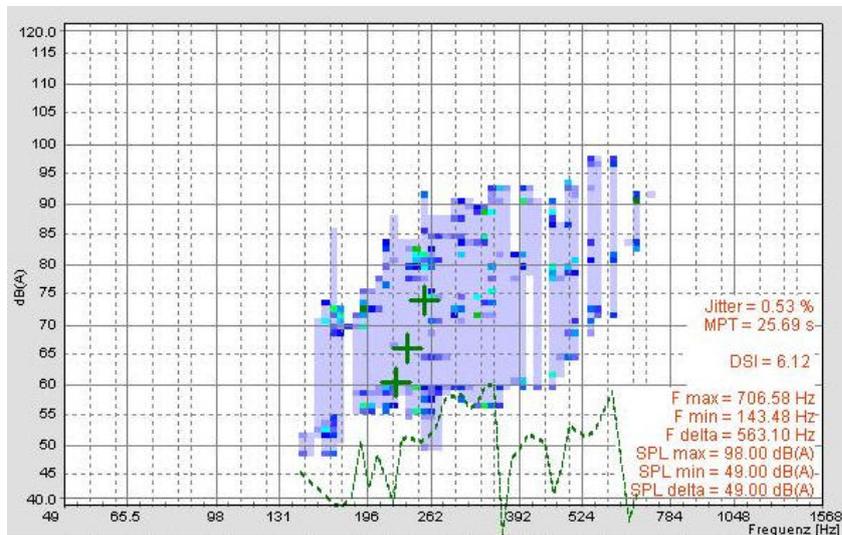
t1



t2

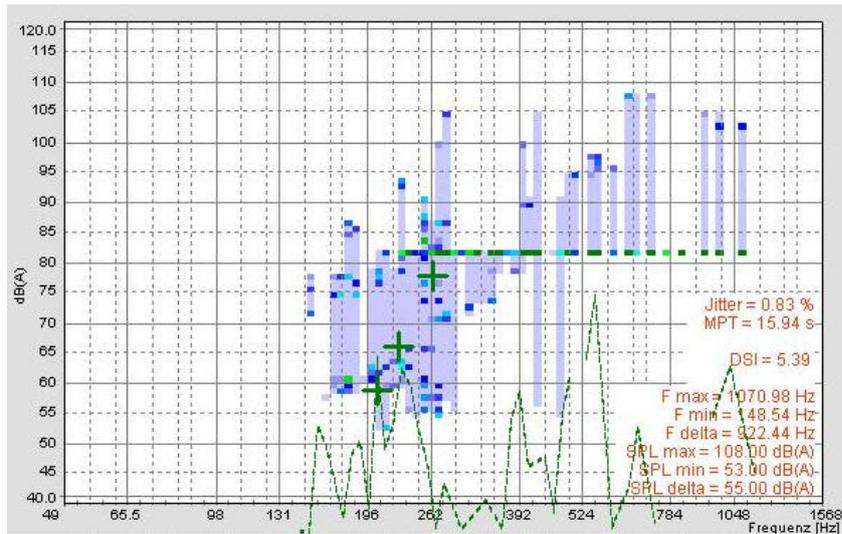


t3

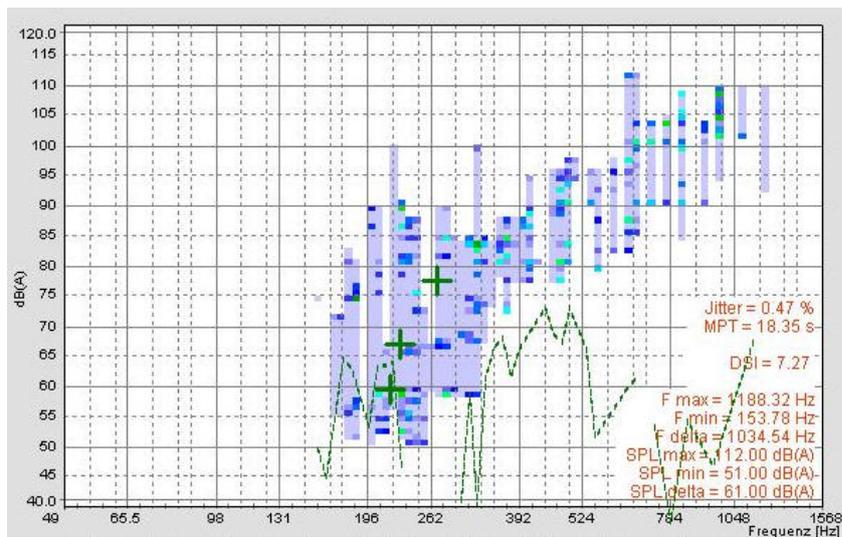


Status 1

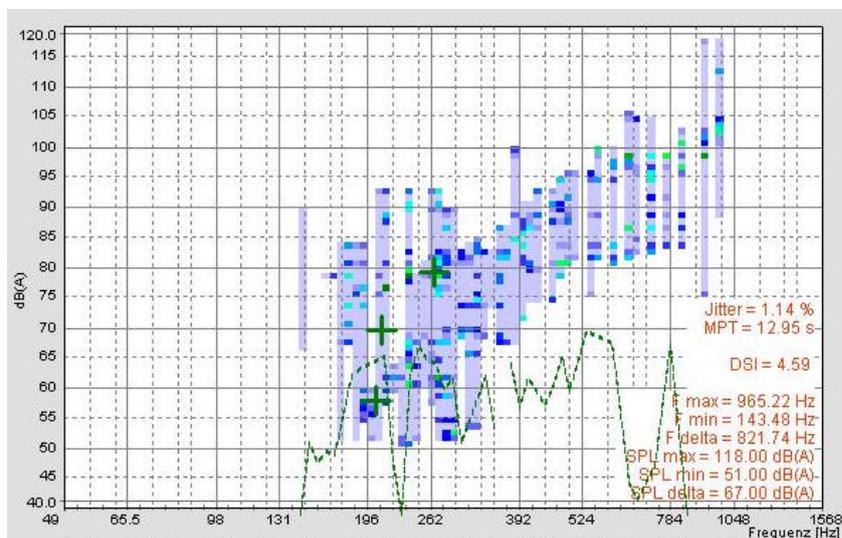
t1



t2

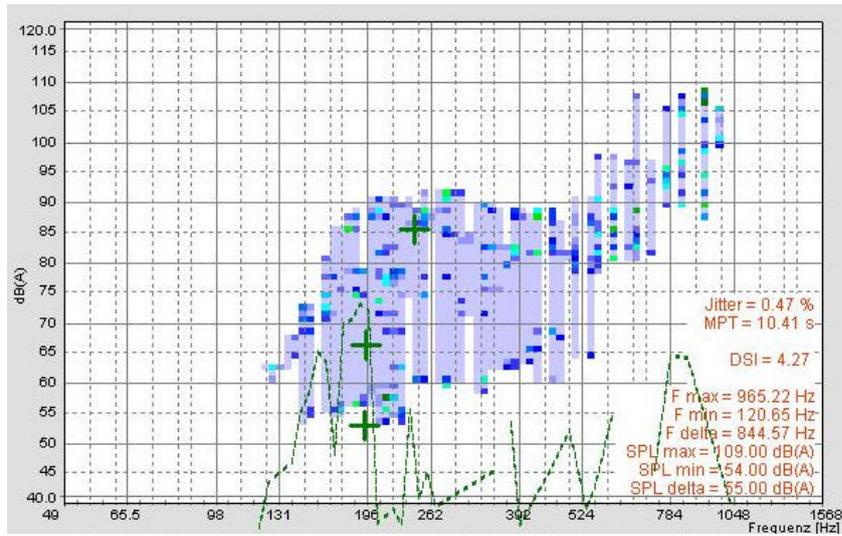


t3

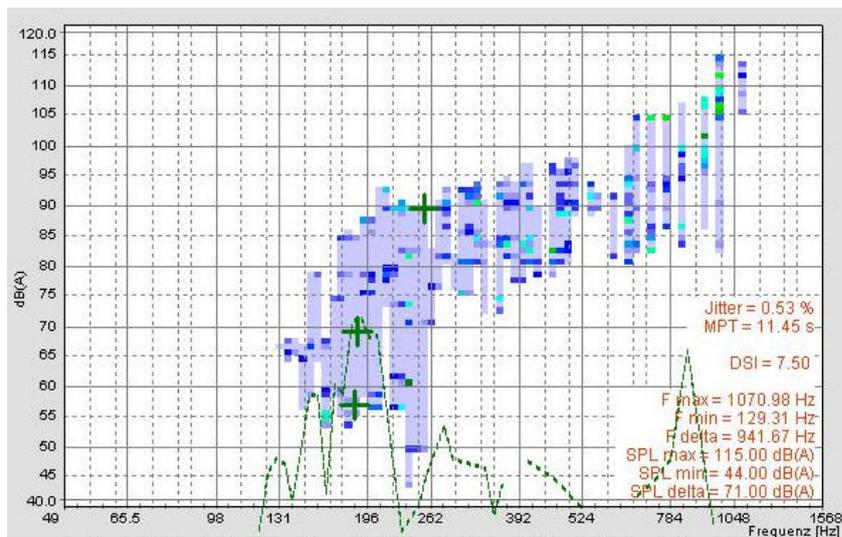


Status 1

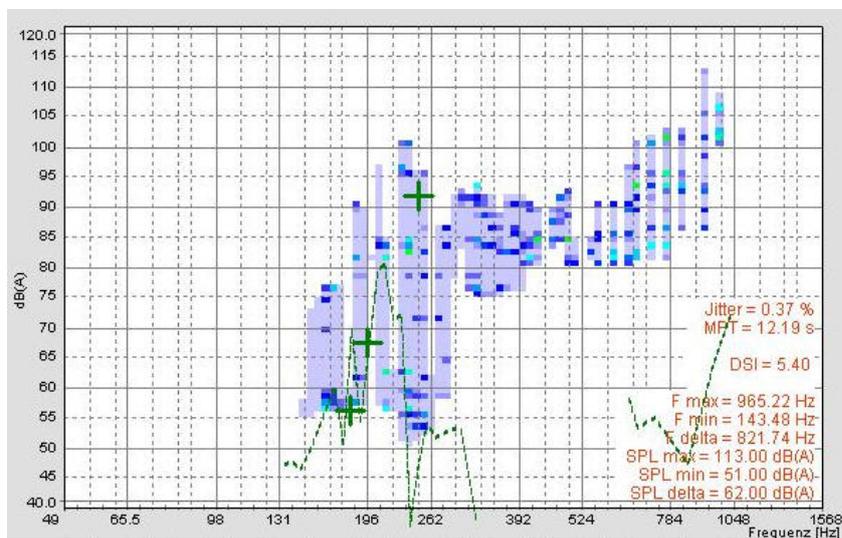
t1



t2

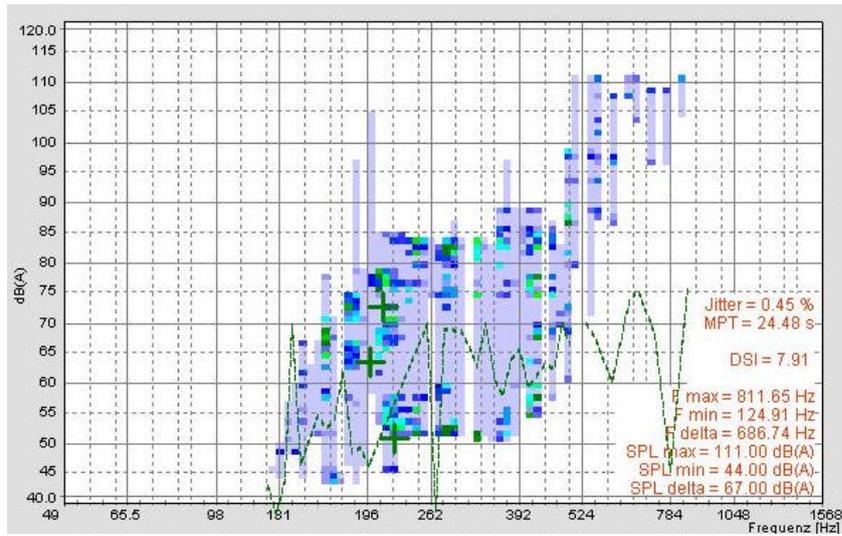


t3

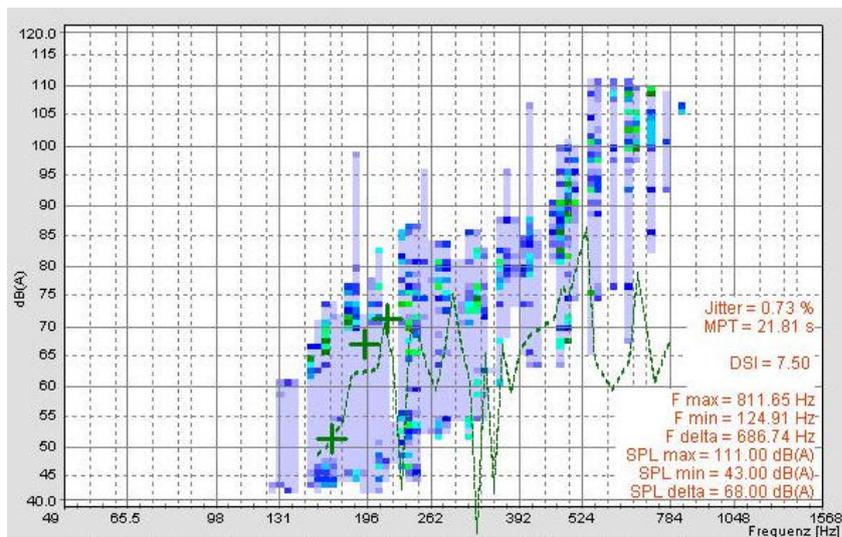


Status 1

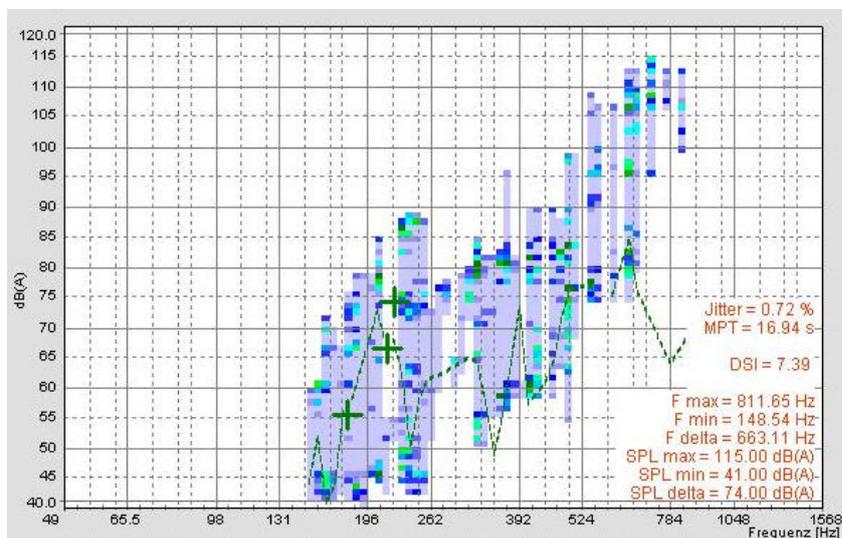
t1



t2

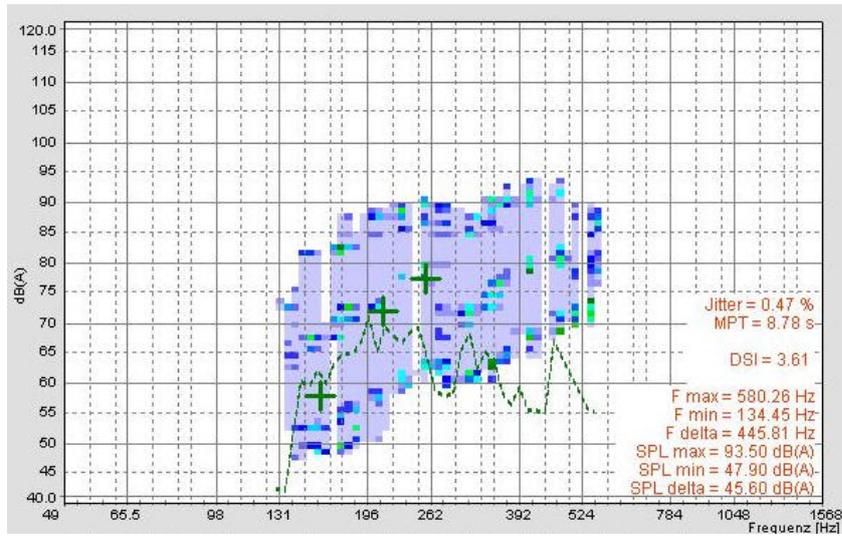


t3

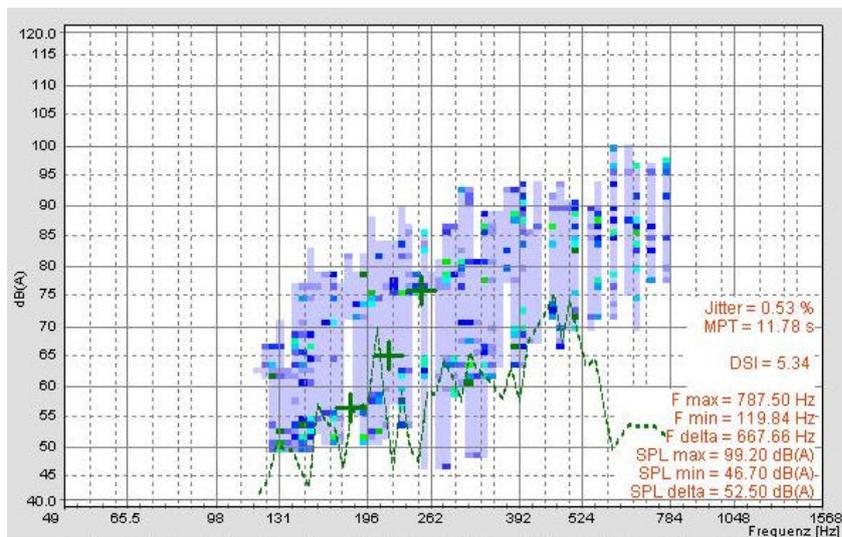


Status 1

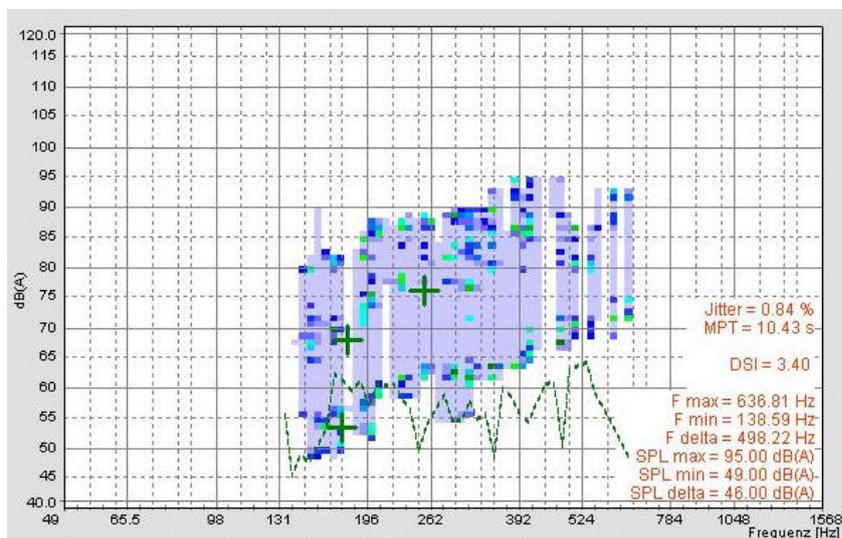
t1



t2

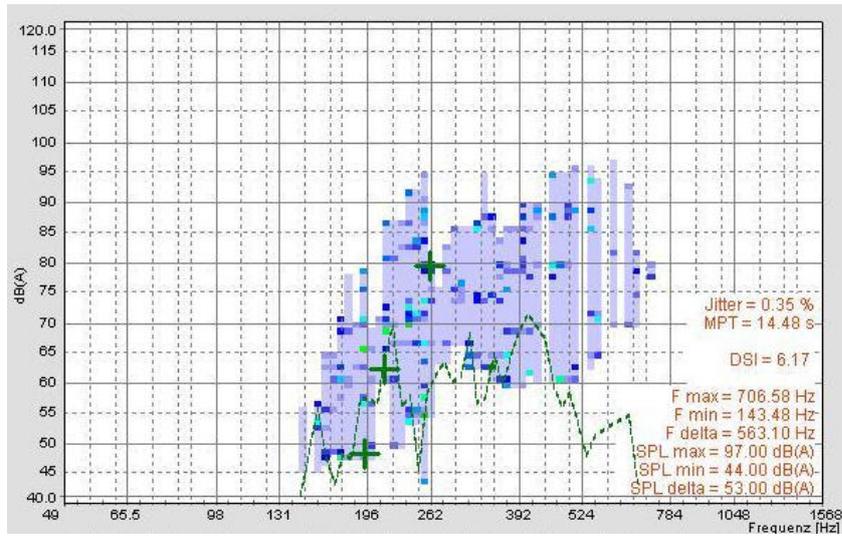


t3

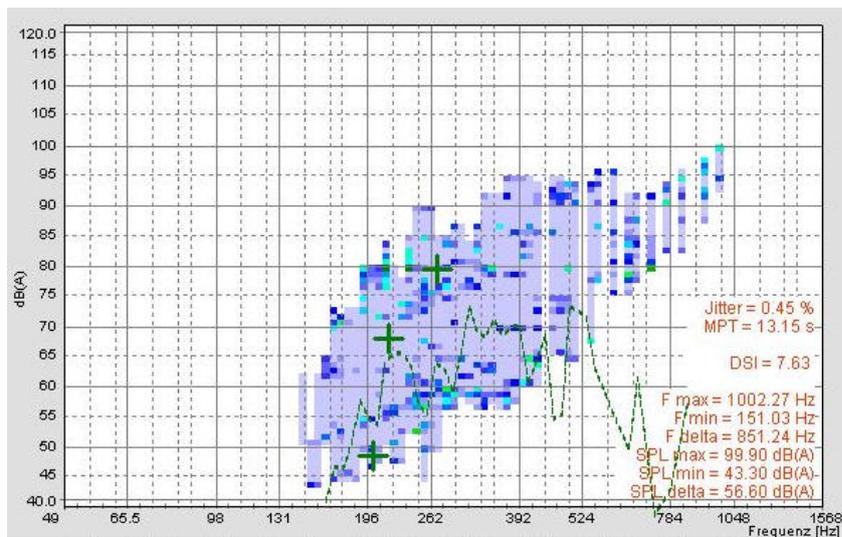


Status 2

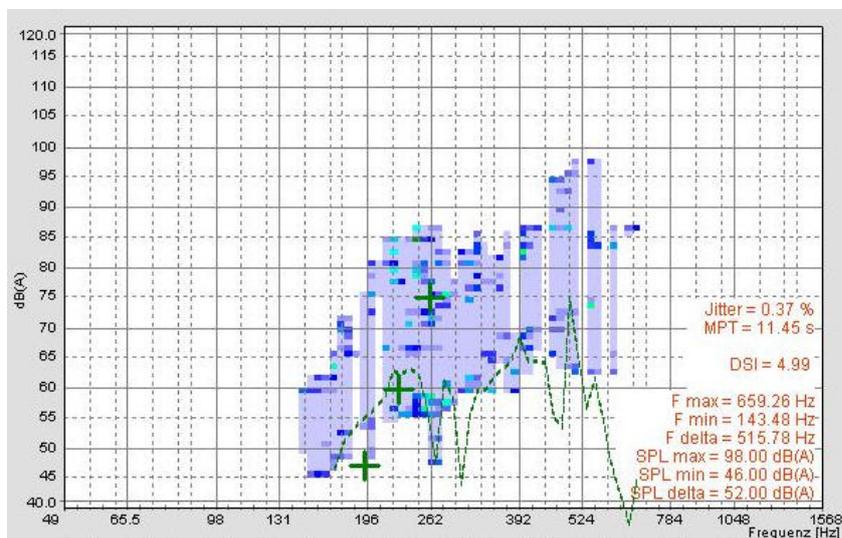
t1



t2

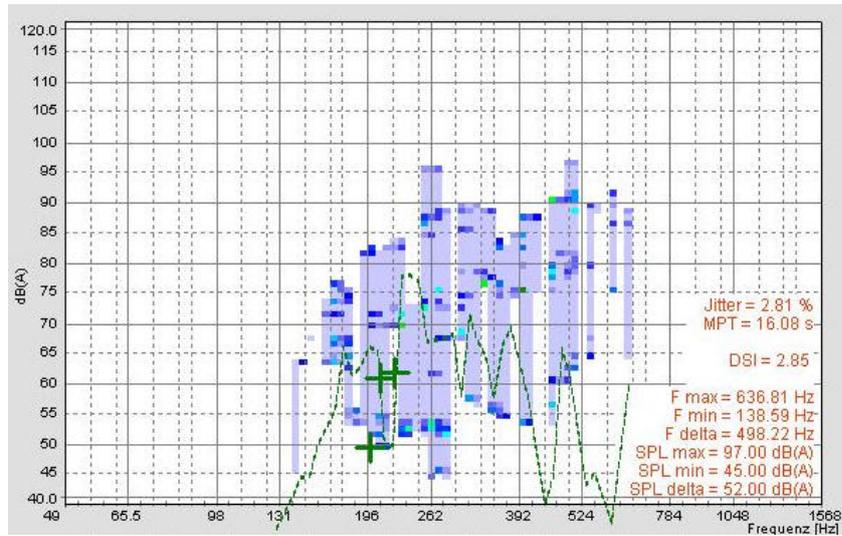


t3

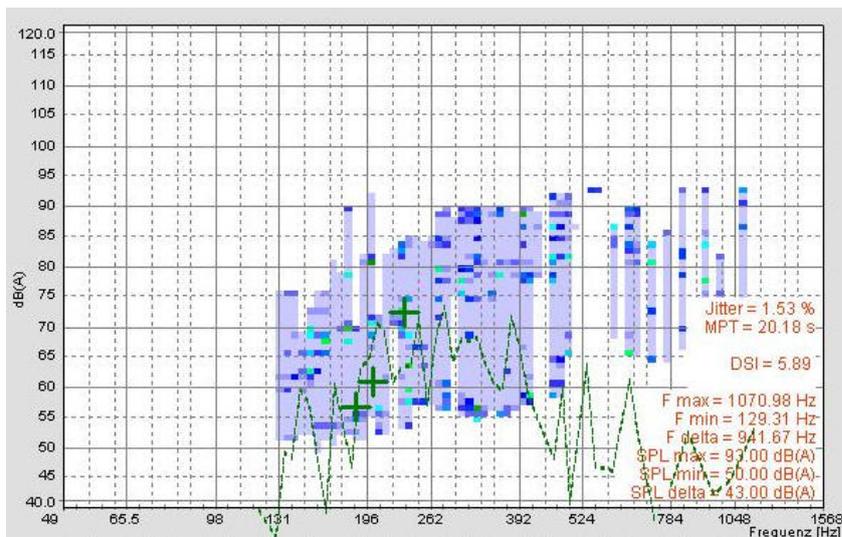


Status 2

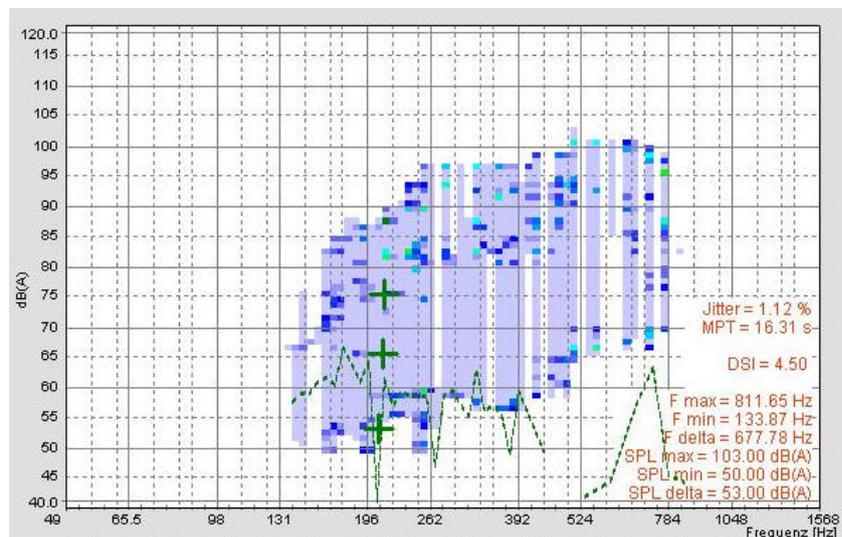
t1



t2

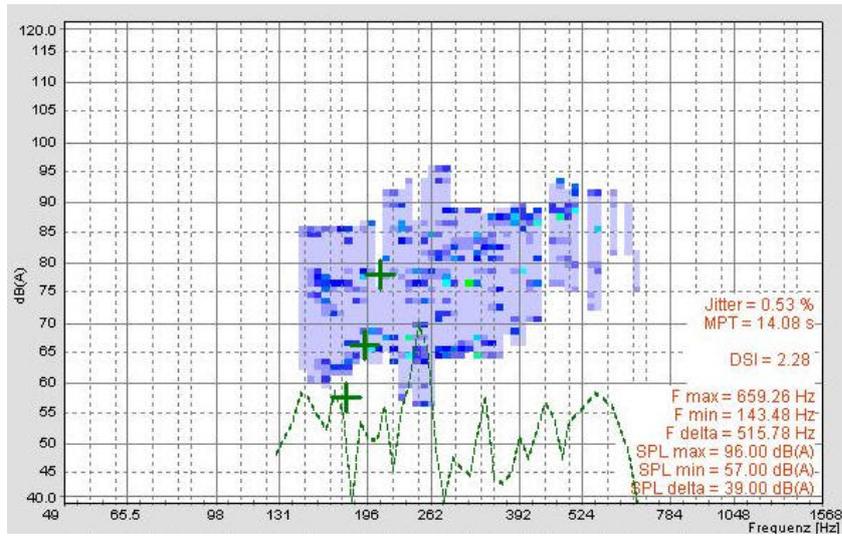


t3

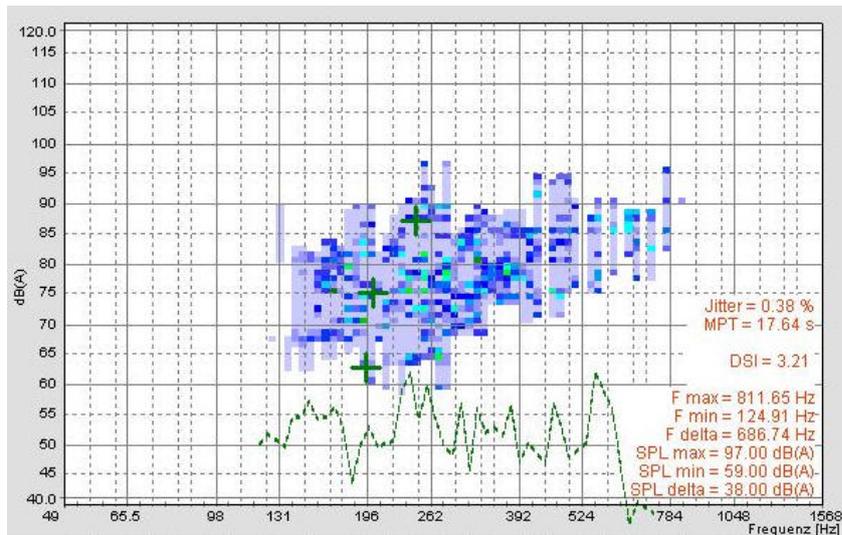


Status 2

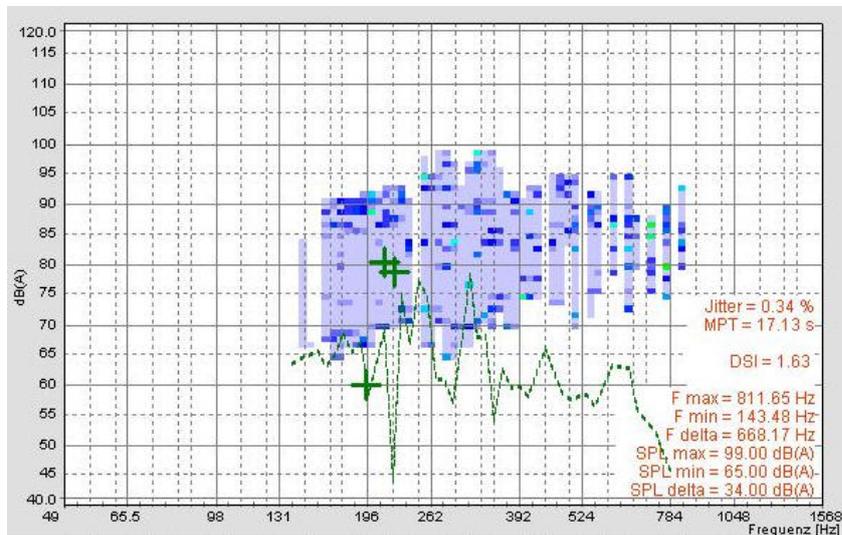
t1



t2

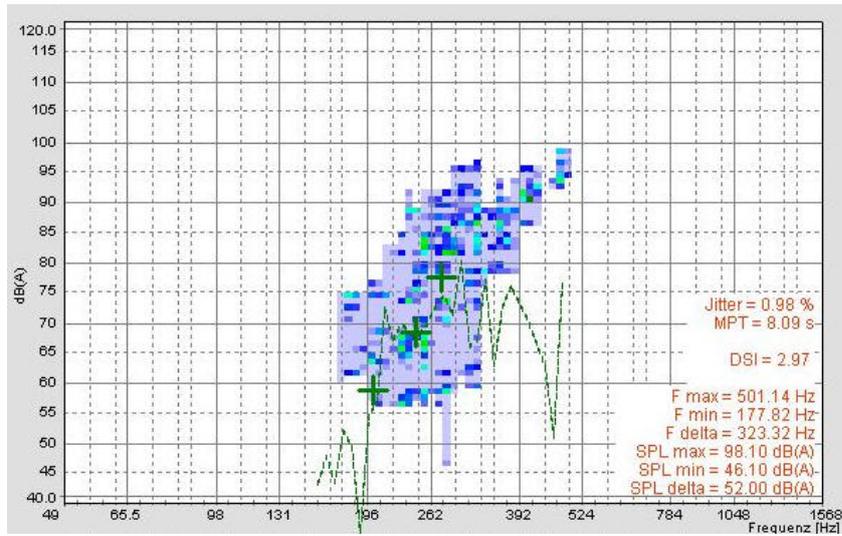


t3

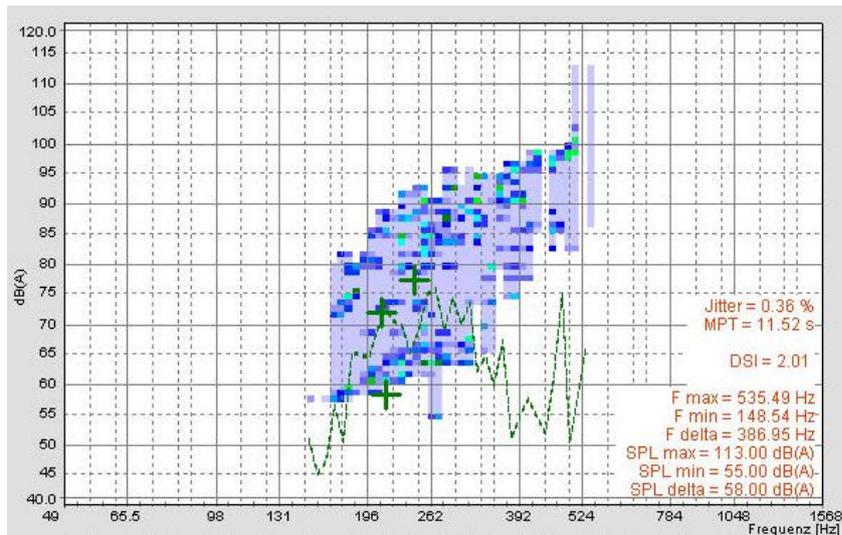


Status 2

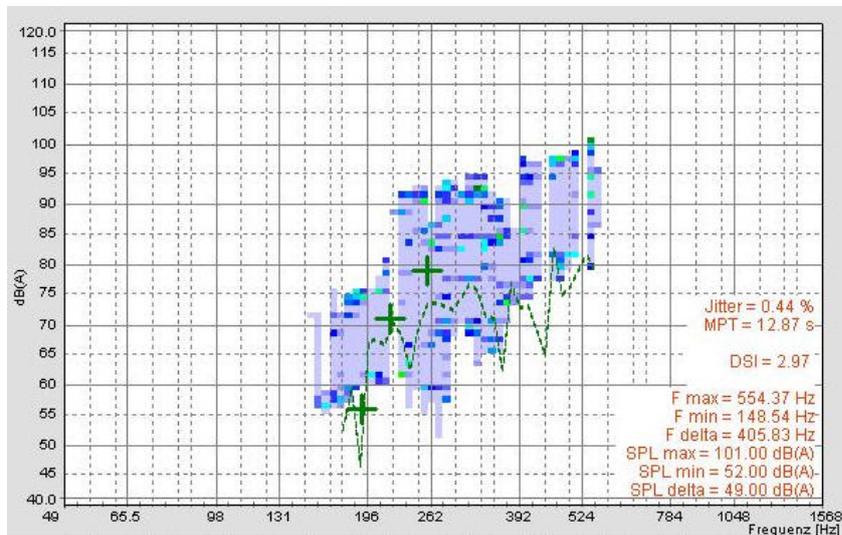
t2



t2

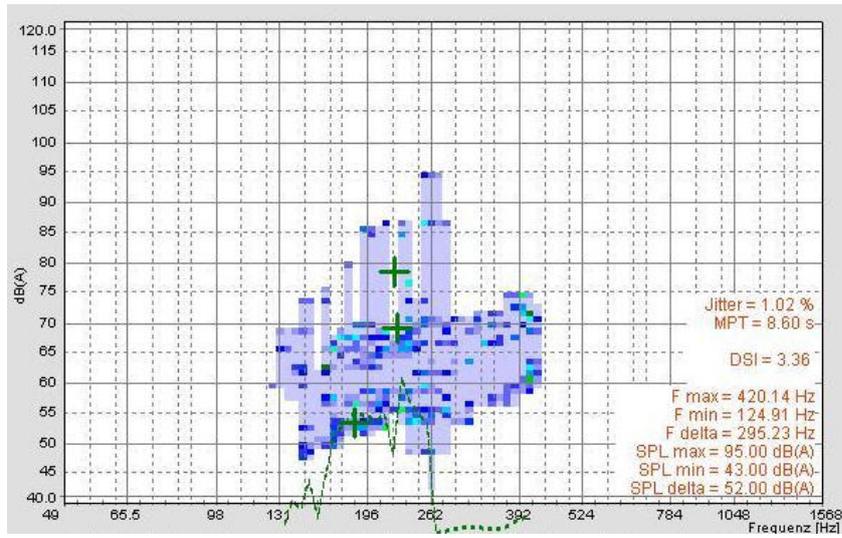


t3

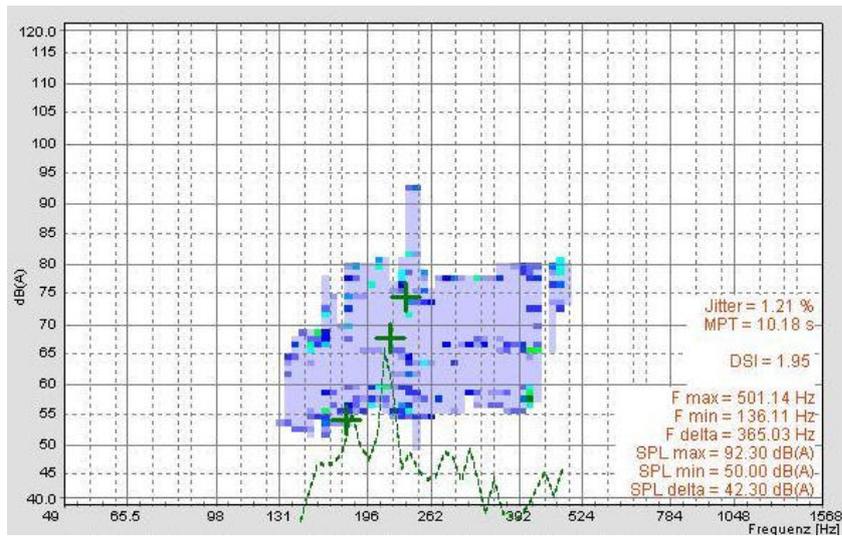


Status 2

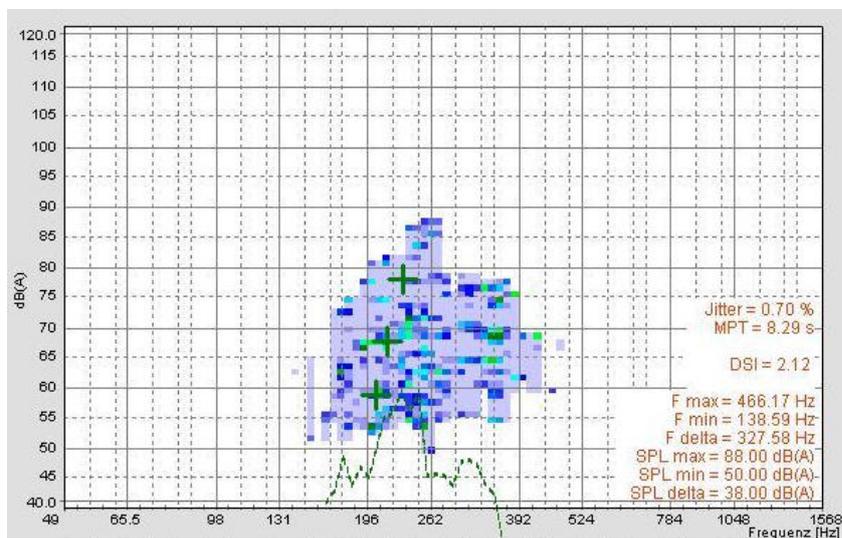
t1



t2

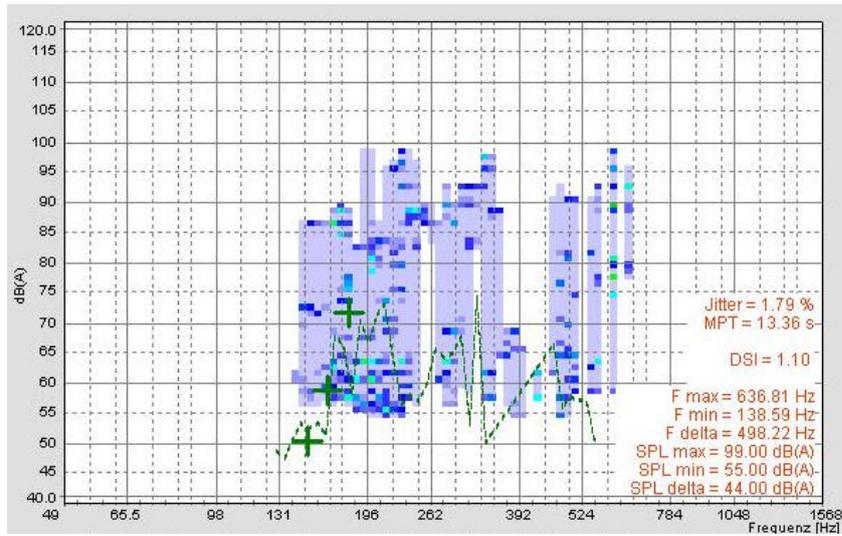


t3

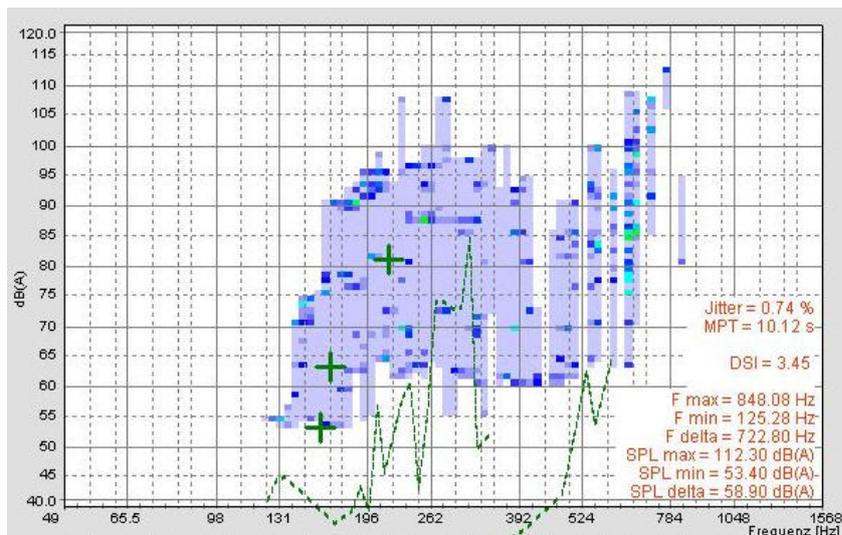


Status 2

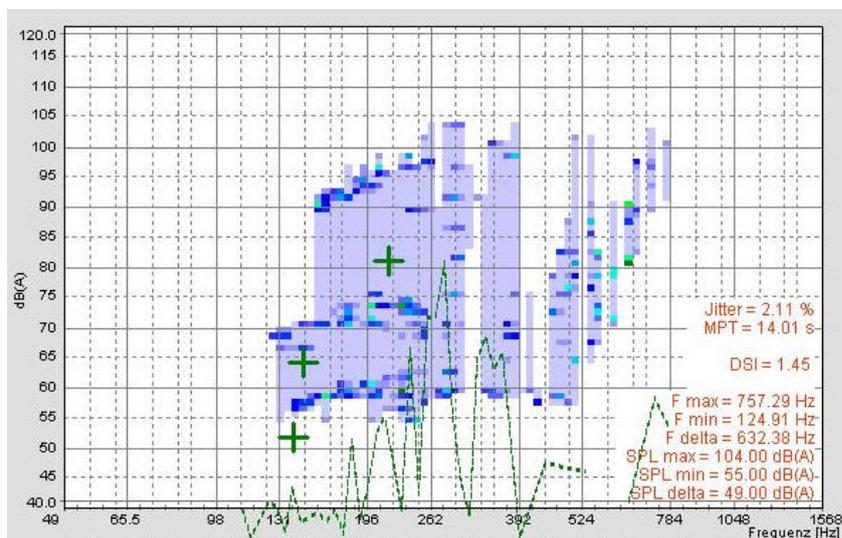
t1



t2

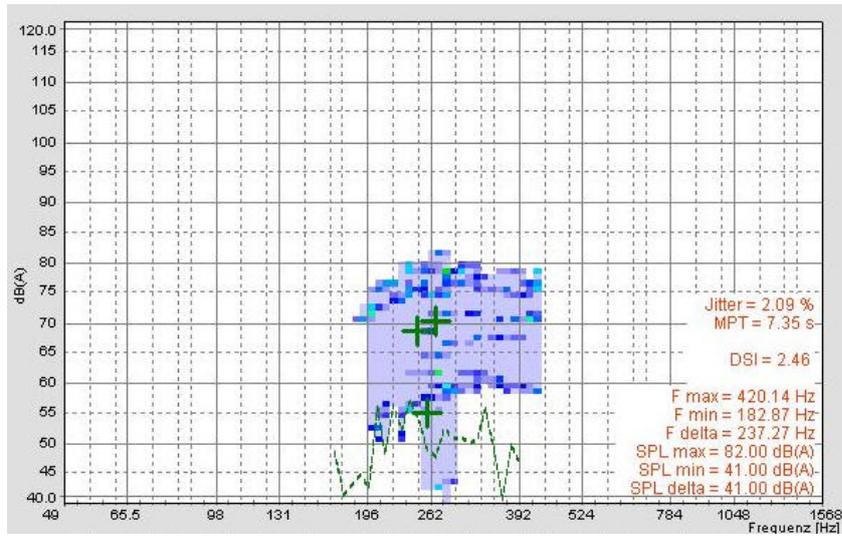


t3

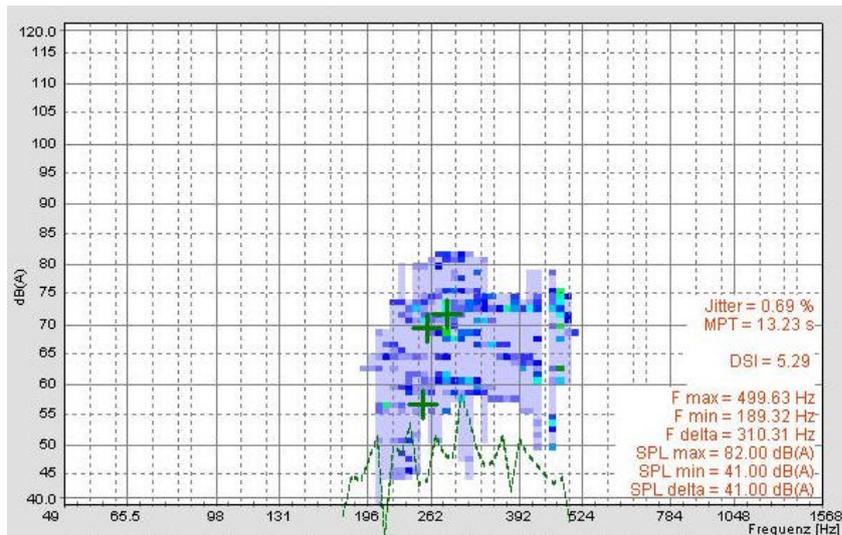


Status 2

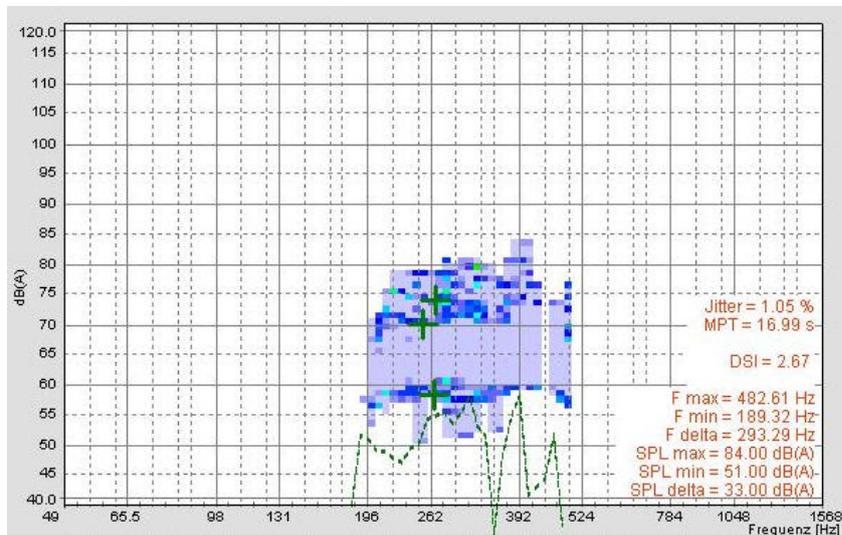
t1



t2

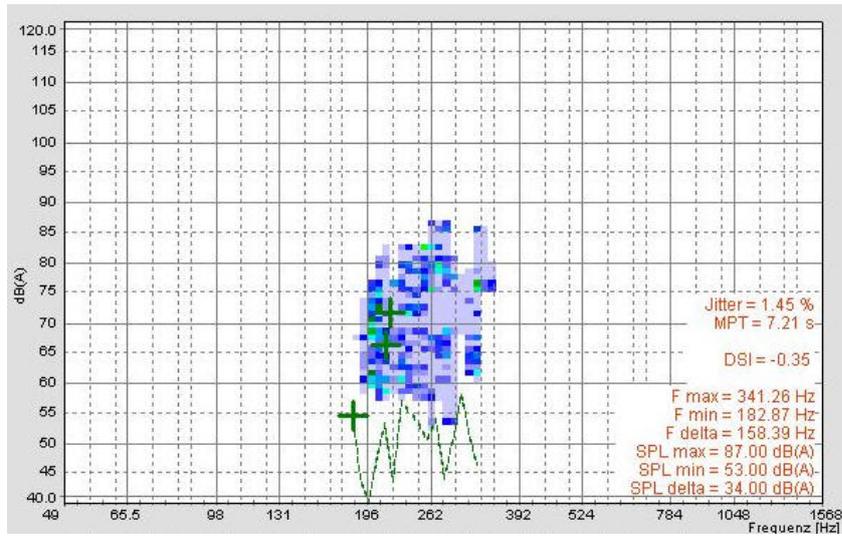


t3

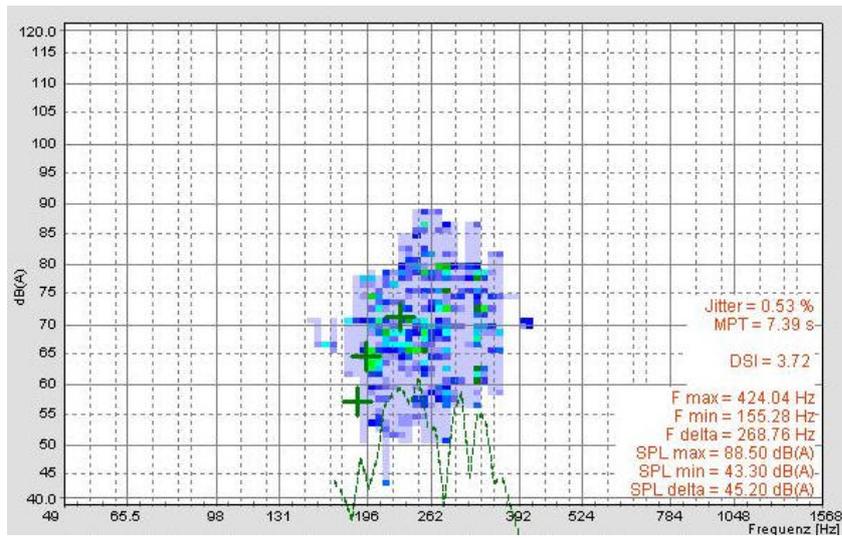


Status 2

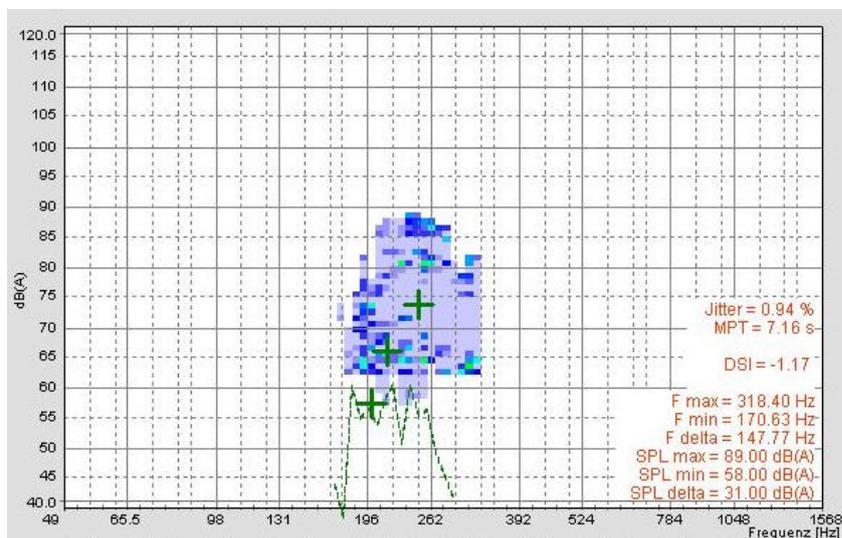
t1



t2

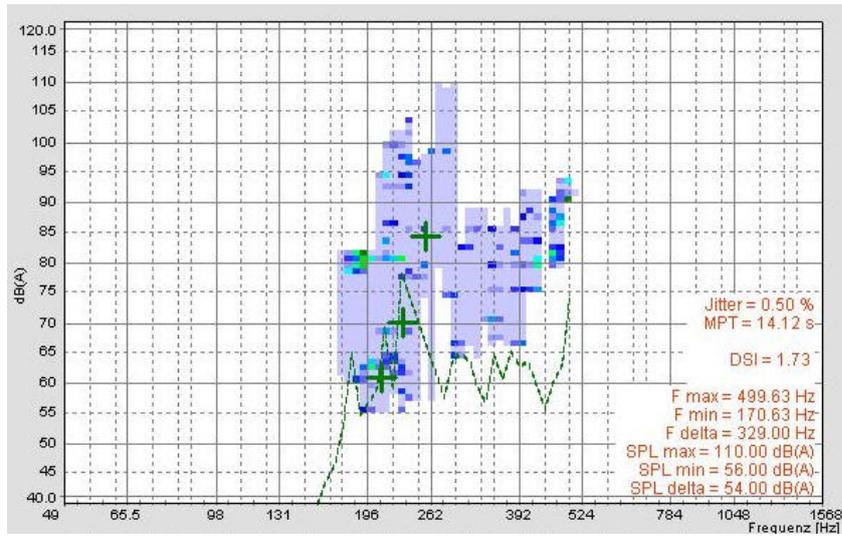


t3

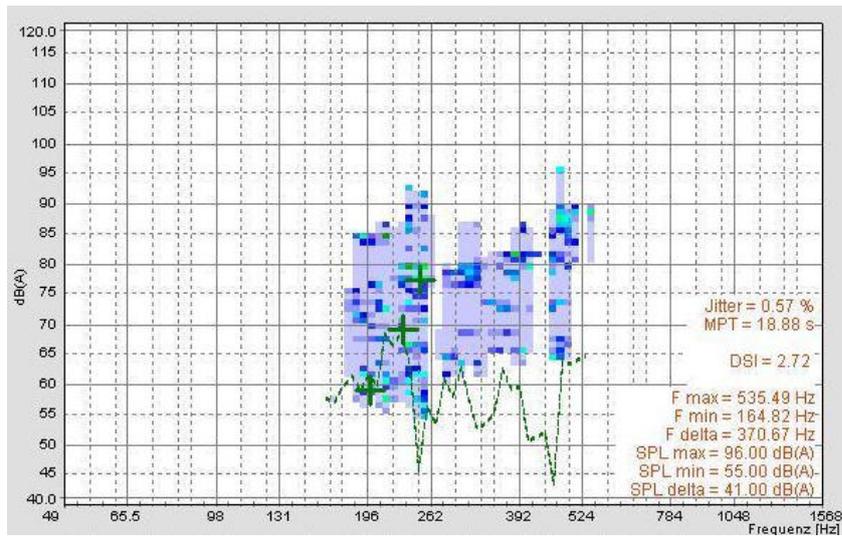


Status 3

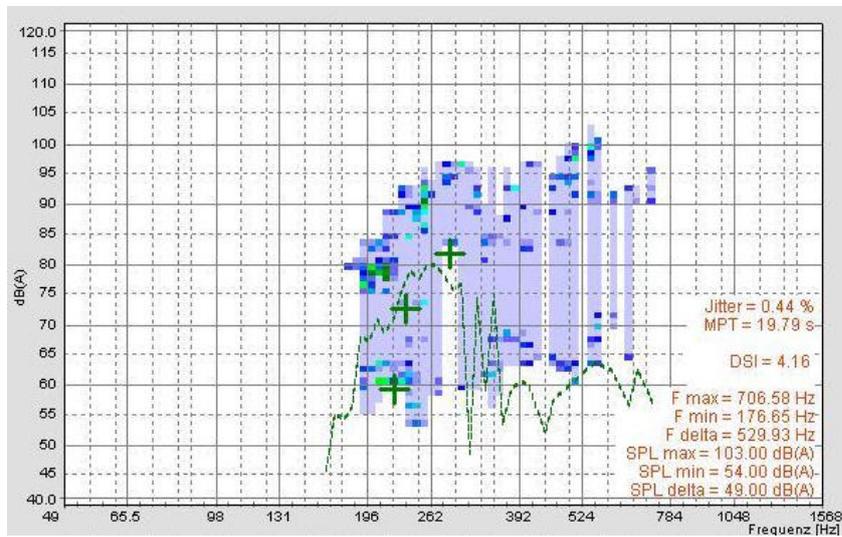
t1



t2

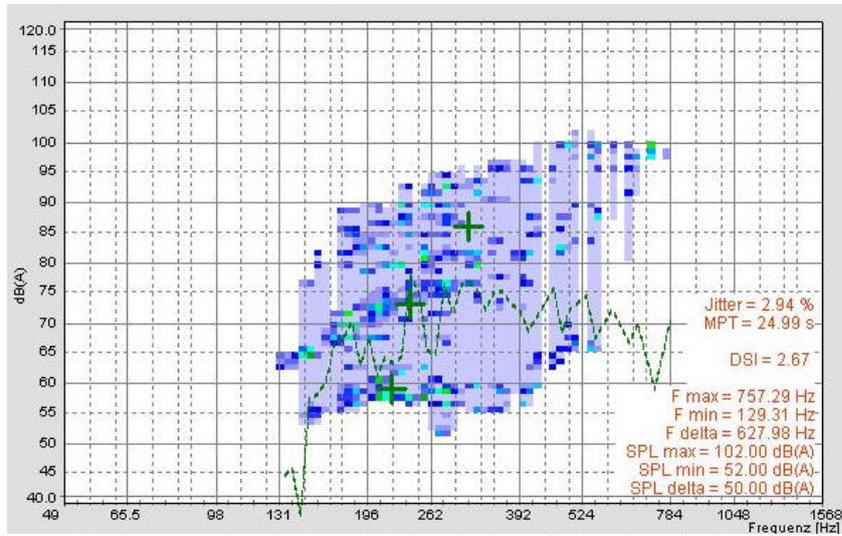


t3

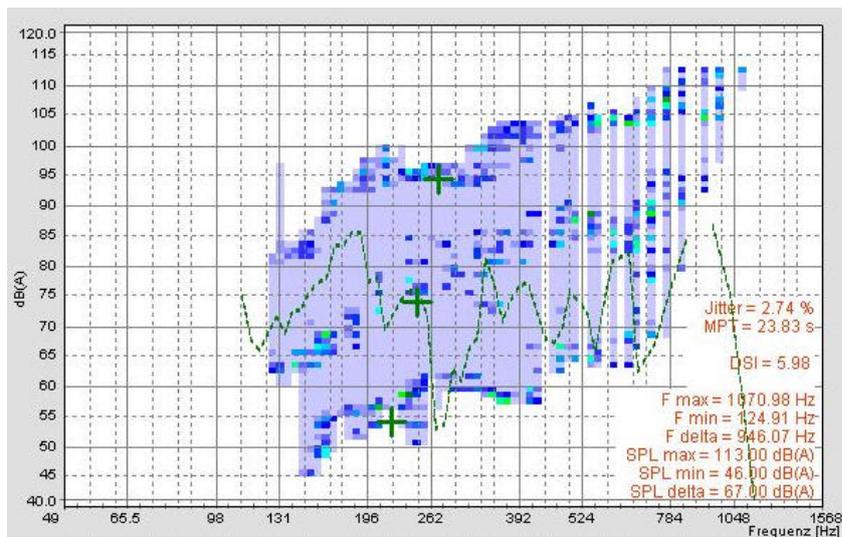


Status 3

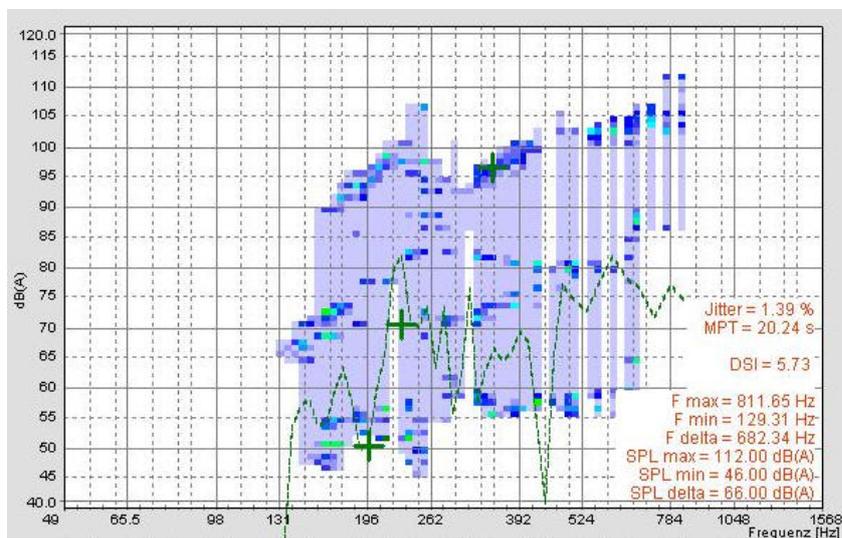
t1



t2

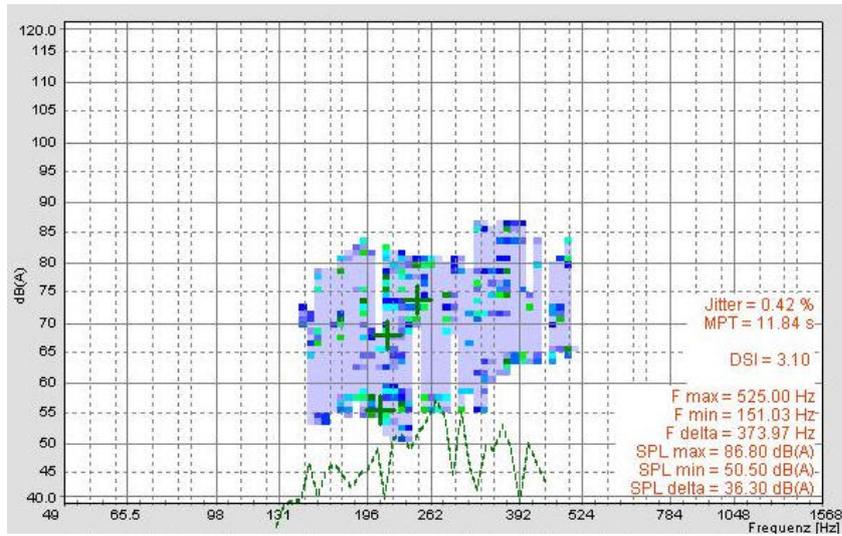


t3

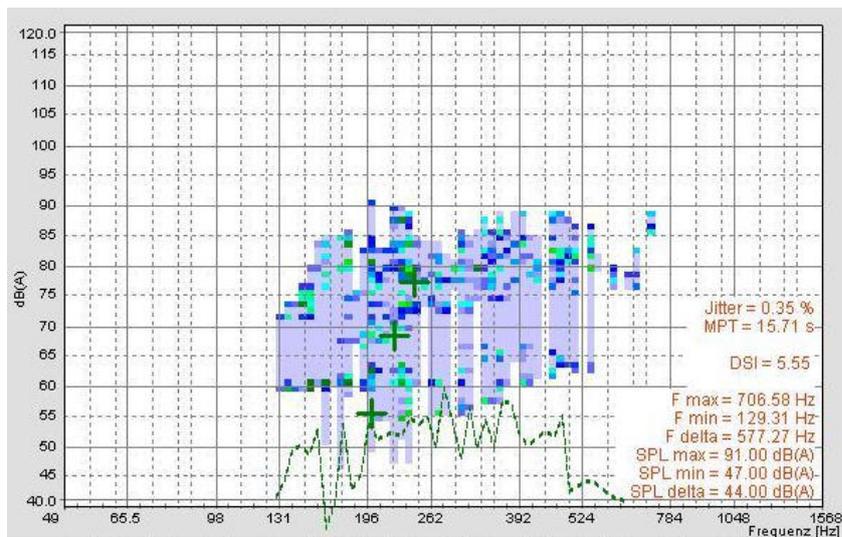


Status 3

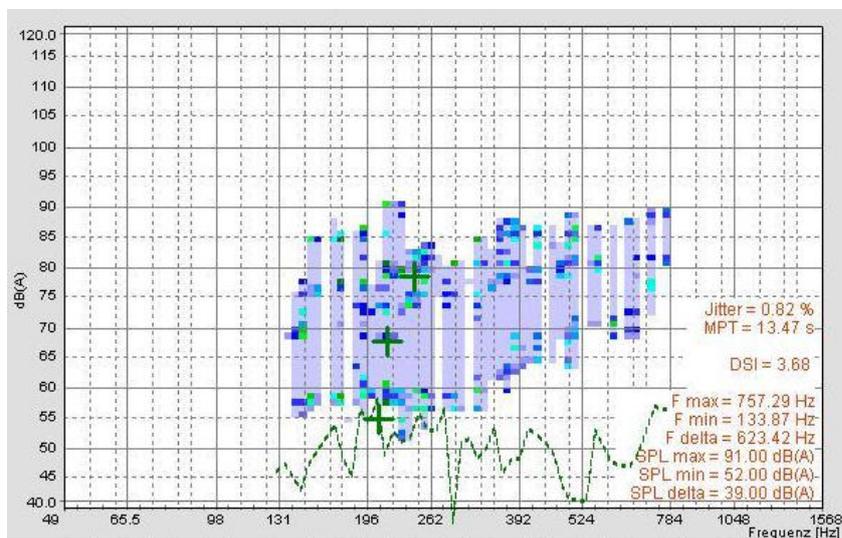
t1



t2

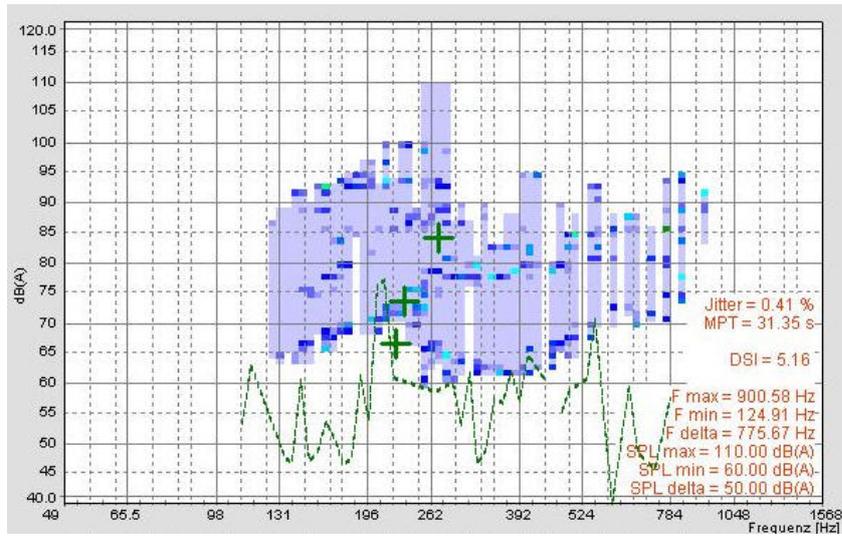


t3

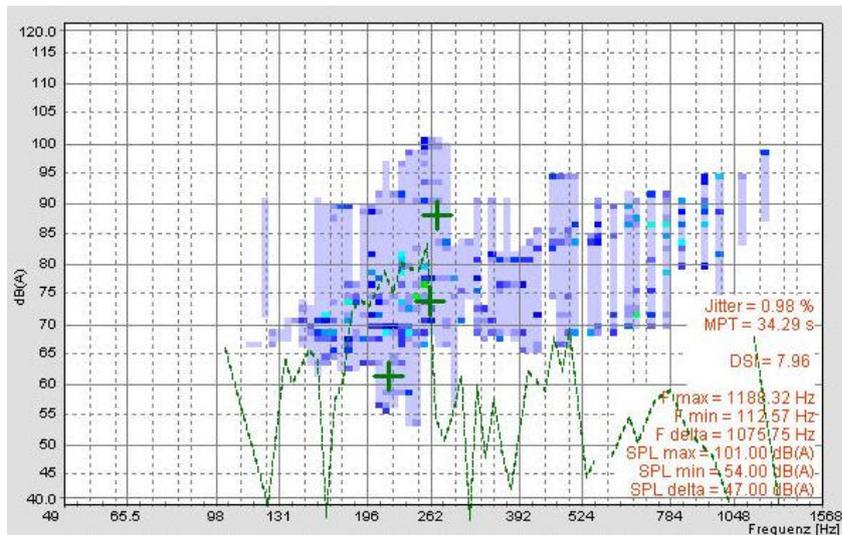


Status 3

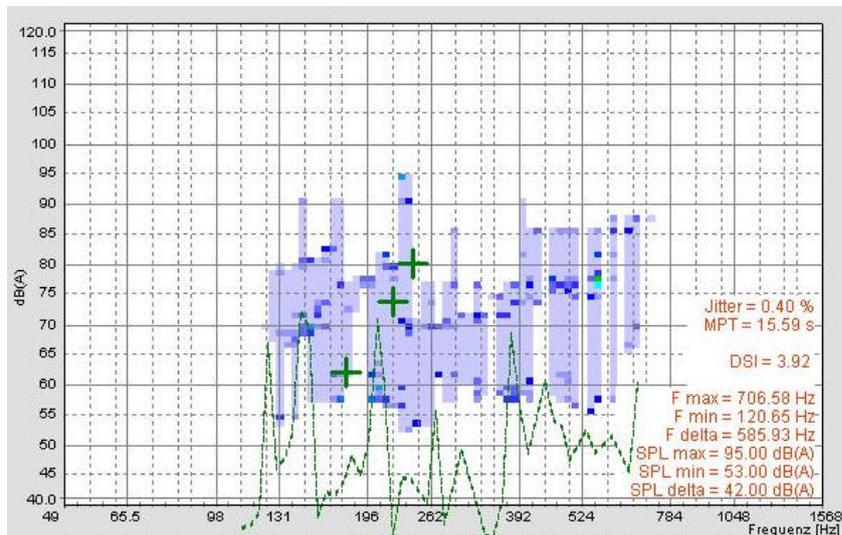
t1



t2

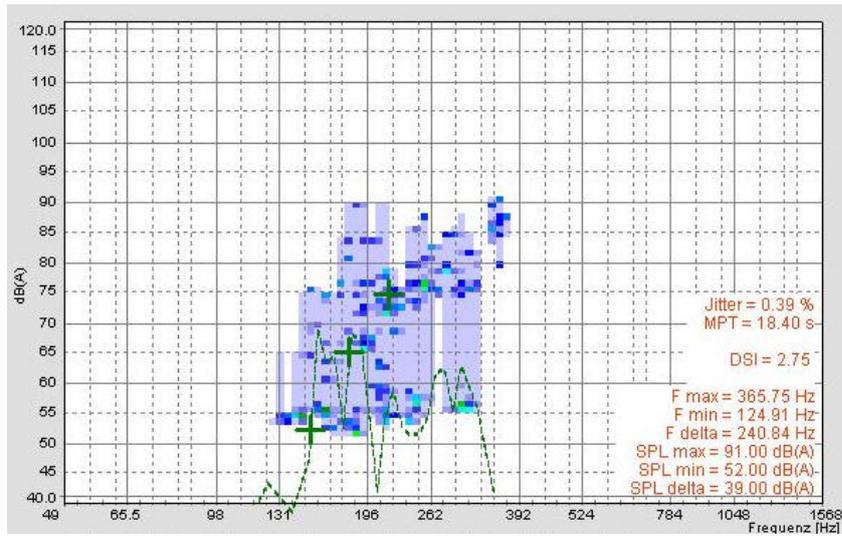


t3

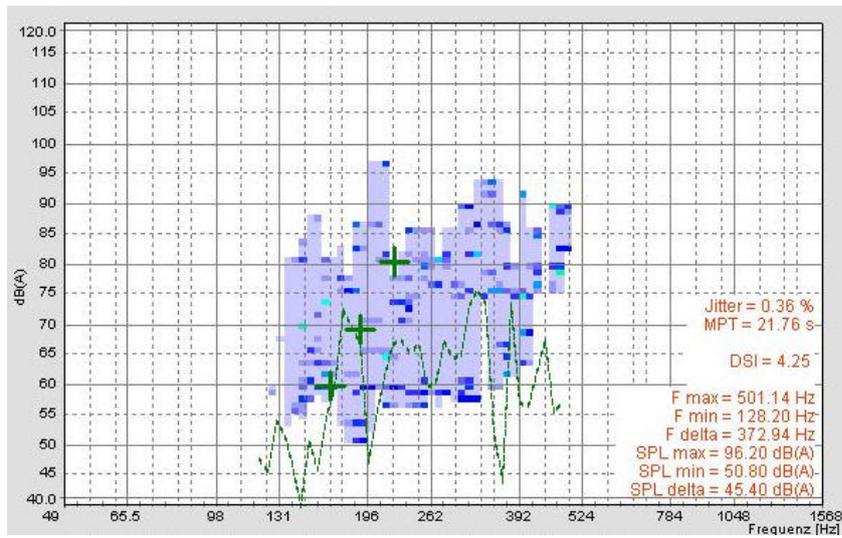


Status 3

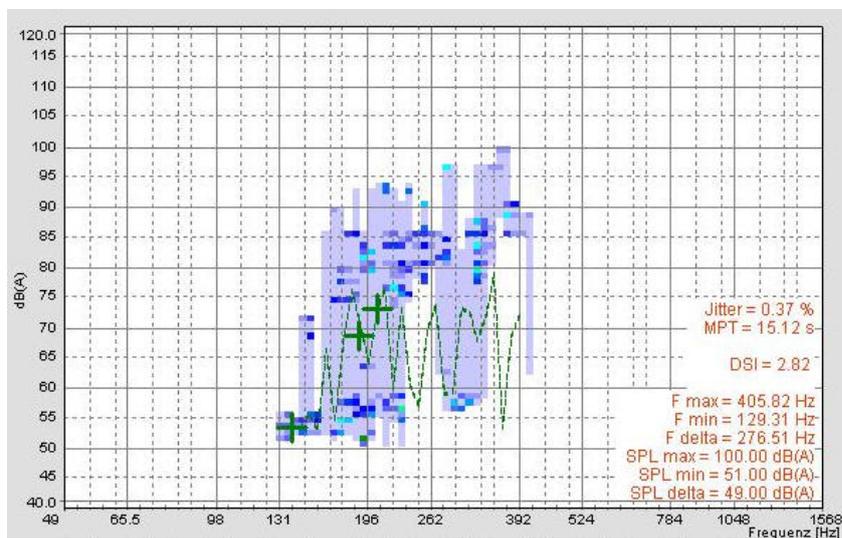
t1



t2

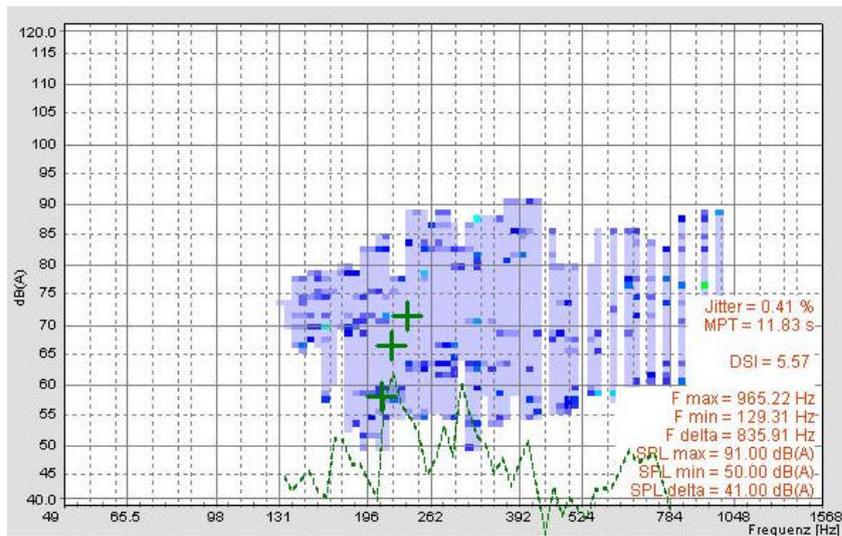


t3

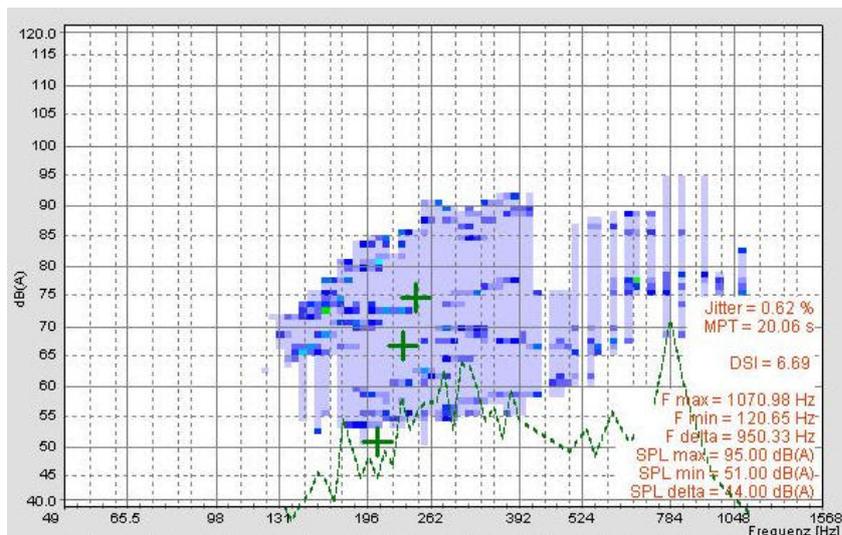


Status 3

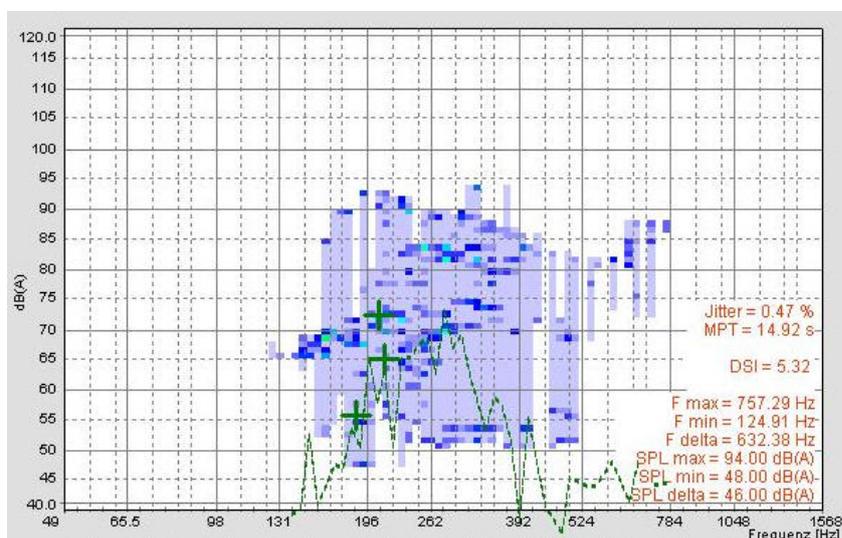
t1



t2

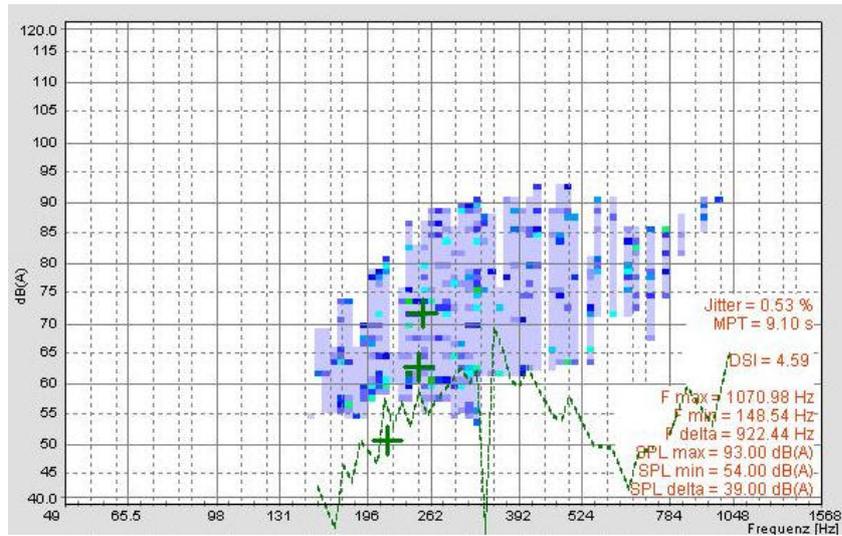


t3

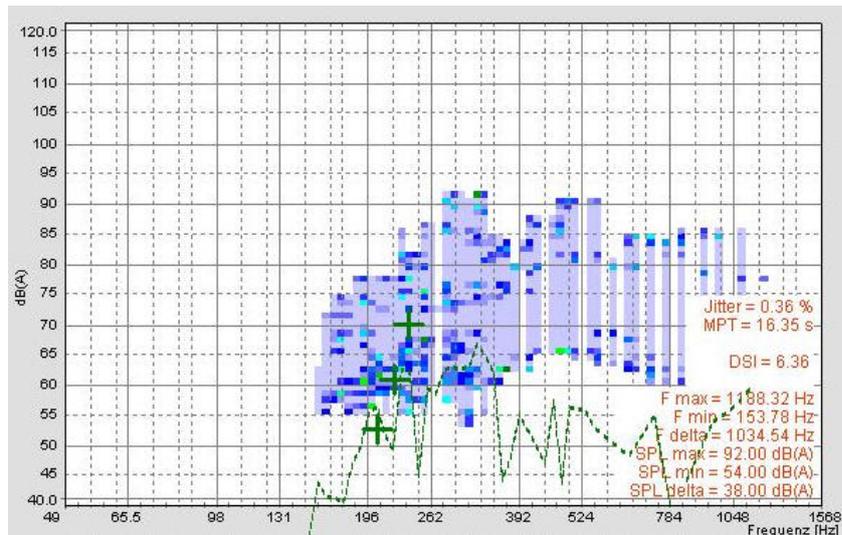


Status 3

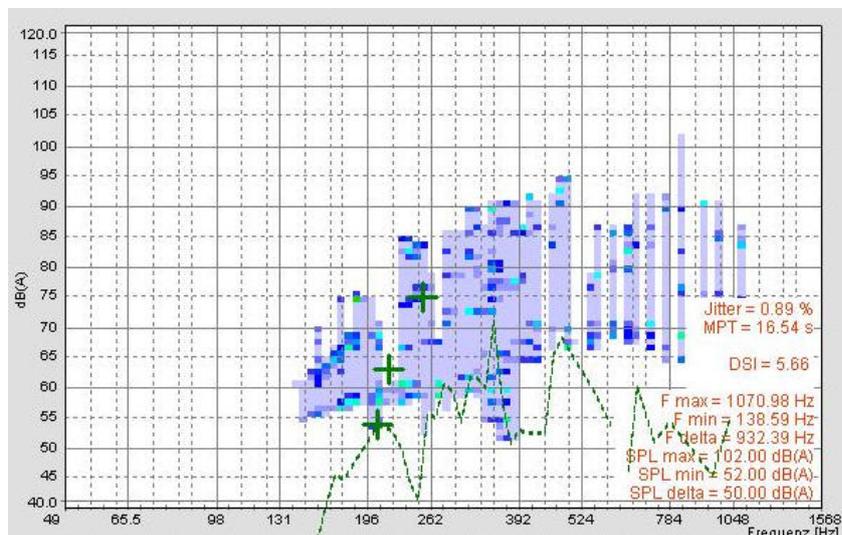
t1



t2

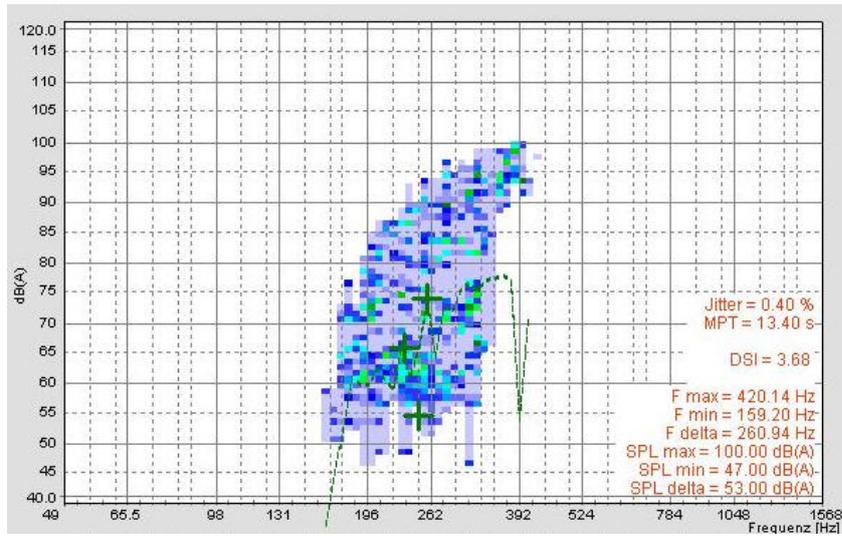


t3

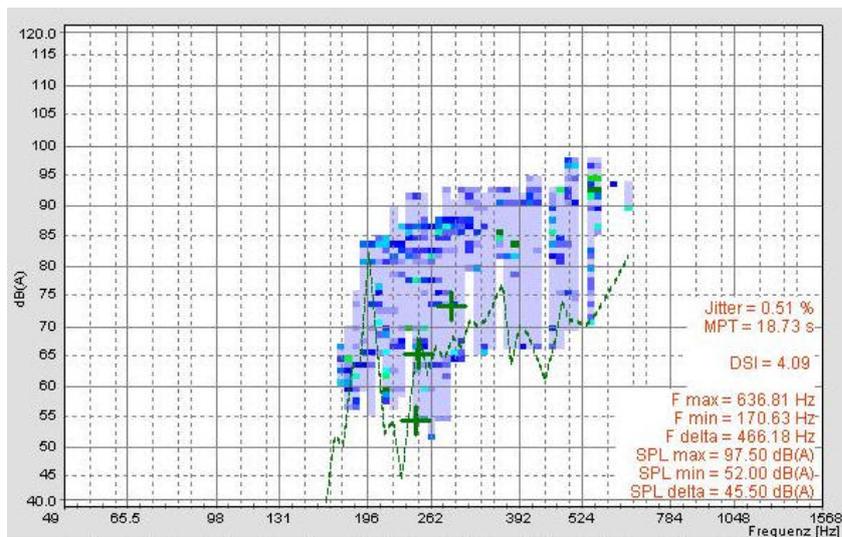


Status 3

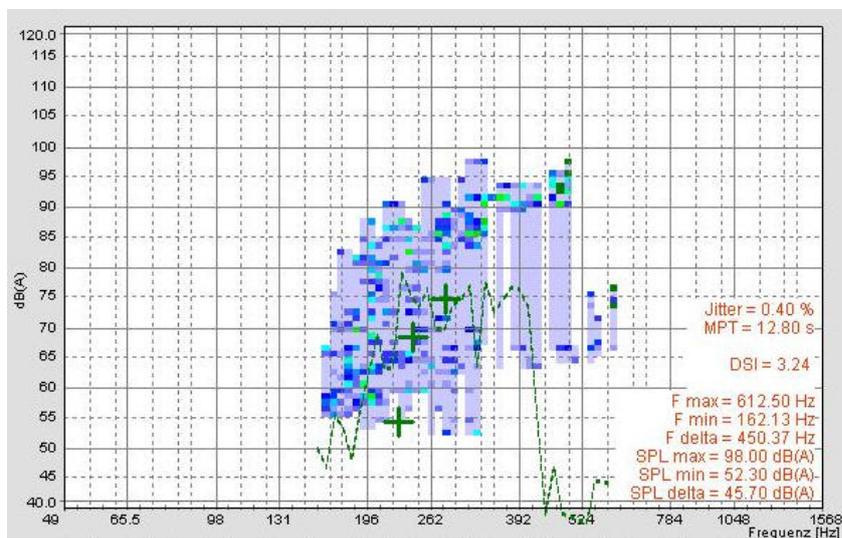
t1



t2



t3



## **Lebenslauf: Stand 03/2009**

### **Susanne Ursula Baier**

Kleinstr. 18  
81379 München

#### PERSÖNLICHE ANGABEN:

Geburtsdatum/-ort: 15.03.70 in München  
Familienstand: geschieden, 2 Töchter  
Staatsangehörigkeit: deutsch

#### BERUFSERFAHRUNG:

**Seit 1997** Sprachtherapeutin in der Akademischen Lehrpraxis für Stimm- und Sprachtherapie Dr. Eicher, München  
**1997 - 1998** Honorartätigkeit als Sprachtherapeutin im Kindergarten an der Stadthalle Germering  
**1995 - 1996** Angestellte Sprachtherapeutin an der Klinik Wartenberg

#### AUSBILDUNG/HOCHSCHULE:

**SS 1995 - WS 1999** Promotionsstudiengang  
**SS 1990 - WS 1994/95** Studium der Sonderpädagogik mit Fachrichtung Sprechbehindertenpädagogik;  
Nebenfächer: Psychologie und Psycholinguistik  
Abschluss: Magister Artium (im Februar 1995) an der Ludwig-Maximilians-Universität München  
**1989 - 1990** Studium der Lateinischen Philologie, Archäologie, Völkerkunde an der LMU München  
**1980 - 1989** Edith-Stein-Gymnasium, München; Abschluss: Allg. Hochschulreife  
**1976 - 1980** Grundschule an der Kirchenstraße, München