

Aus der Hals-, Nasen-, Ohrenklinik und Poliklinik
- Abteilung für Kommunikationsstörungen -
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Stimmfelder von Kindern mit Sprachentwicklungsstörung
und Kindern mit Hörstörung im Vergleich mit normalhörenden Kindern
ohne Sprachentwicklungsstörung

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Julia Gerlich
aus Osnabrück

Berlin, 2023

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

3. Gutachterin:

Tag der Promotion: 20.06.2025

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
1. Einleitung	1
2. Literaturdiskussion	2
2.1. Die menschliche Stimme: Anatomie und Physiologie	2
2.1.1. Das Kehlkopfskelett	2
2.1.2. Die Kehlkopfmuskulatur	4
2.1.3. Die Kehlkopfschleimhaut	5
2.1.4. Die Unterschiede zwischen erwachsenem und kindlichem Kehlkopf	6
2.1.5. Die Physiologie der Stimme	7
2.2. Die Stimmentwicklung	11
2.3. Kindliche Stimmstörungen	11
2.4. Die Stimmdiagnostik	12
2.4.2. Die klinische Untersuchung	14
2.4.2.1. Die auditiv-perzeptive Untersuchung	14
2.4.2.2. Die apparative Untersuchung	15
2.4.2.3. Die Stimmfeldmessung: Voice Range Profile	16
2.4.2.3.1. Ablauf der Stimmfeldmessung	17
2.4.2.3.2. Das Sprechstimmfeld	17
2.4.2.3.3. Das Singstimmfeld	18
2.4.2.4. Der Dysphonia Severity Index	19
2.4.2.5. Normwerte der apparativen Stimmmessung	19
2.4.3. Die subjektive Stimmbewertung	20
2.5. Kindliche Sprachentwicklungsstörungen	20
2.6. Kindliche Hörstörungen	22
2.7. Lebensqualität bei Kommunikationsstörung	23
2.8. Aktueller Forschungsstand zur Stimme bei Sprachentwicklungsstörung oder Hörstörung	24
2.9. Ziel der Studie	25
3. Materialien und Methoden	26
3.1. Aufbau der Studie	26
3.2. Gruppe der Kinder mit Sprachentwicklungsstörung	26
3.3. Gruppe der Kinder mit Hörstörung	26
3.4. Kontrollgruppe	27
3.5. Die Stimmtestung	27
3.5.1. Ablauf der Stimmtestung	27
3.5.2. Verwendete Geräte	28
3.5.3. Erfasste Variablen	28
3.5.3.1. Deskriptive Variablen	28
3.5.3.2. Variablen der Stimmfeldmessung	28
3.5.4. Statistische Auswertung	28
4. Ergebnisse	30
4.1. Deskriptive Statistik zur Gruppe der Kinder mit Sprachentwicklungsstörung	30
4.1.1. Geschlechterverteilung	30

4.1.2. Altersverteilung	30
4.1.3. Verteilung Schweregrad Sprachentwicklungsstörung	30
4.1.4. Erhobene Parameter im Stimmfeld	30
4.1.4.1. Sprechstimmfeld bei SES männlich.....	30
4.1.4.2. Sprechstimmfeld bei SES weiblich	30
4.1.4.3. Singstimmfeld bei SES männlich.....	33
4.1.4.4. Singstimmfeld bei SES weiblich	33
4.2. Deskriptive Statistik zur Gruppe der Kinder mit Hörstörung	36
4.2.1. Geschlechterverteilung.....	36
4.2.2. Altersverteilung.....	36
4.2.3. Schweregrad Hörstörung und Hörhilfen-Versorgung	36
4.2.4. Begleitende Sprachentwicklungsstörung.....	37
4.2.5. Erhobene Parameter im Stimmfeld	37
4.2.5.1. Sprechstimmfeld bei Hörstörung männlich	37
4.2.5.2. Sprechstimmfeld bei Hörstörung weiblich.....	37
4.2.5.3. Singstimmfeld bei Hörstörung männlich:	40
4.2.5.4. Singstimmfeld bei Hörstörung weiblich.....	40
4.3. ANOVA-Vergleich der Mittelwerte im Sprechstimmfeld:.....	42
4.3.1. Leise Stimme/Level 1	42
4.3.2. Normale Stimme/Level 2:	43
4.3.3. Laute Stimme/Level 3.....	44
4.3.4. Rufstimme/Level 4.....	45
4.4. Gegenüberstellung der Mittelwerte im Singstimmfeld	47
5. Diskussion	48
5.1. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	48
5.2. Studienkollektiv.....	48
5.3. Grundfrequenz und Sprechstimme.....	49
5.4. Singstimmfeld	50
5.5. Stimme bei Hörstörung.....	51
5.6. Stimme bei Stimmtraining.....	53
5.7. Einschränkungen.....	54
6. Zusammenfassung.....	55
Literaturverzeichnis	56
Danksagung.....	63
Tabellarischer Lebenslauf Julia Gerlich	64

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA.....	Analysis of Variance
AWST-R	Aktiver Wortschatztest für 3- bis 5-jährige Kinder Revision
CAPE-V	Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice
CI.....	Cochlea Implantat
Δ	Delta
dB.....	Dezibel
DSI	Dysphonia Severity Index
ELS.....	European Laryngological Society
et al.....	et alii
F_0	Grundfrequenz
GIRBAS.....	Grading Irregularity Roughness Breathiness Asthenity Strain
GRBAS.....	Grading Roughness Breathiness Asthenity Strain
HA.....	Hearing Aid
HRQL	Health Related Quality of Life
HS.....	Hörstörung
HT.....	Halbton
Hz.....	Hertz
I.....	Intensität
ICF.....	International Classification of Functionality Health and Disease
LIFE.....	Leipziger Forschungszentrum für Zivilisationserkrankungen
M.....	Musculus
MPT.....	Maximum Phonation Time
N.....	Number
N.....	Nervus
PVOS	Pediatric Voice Outcome Survey
PVRQL	Pediatric Voice Related Quality of Life
R.....	Ramus
RBH.....	Rauhigkeit Behauchtheit Heiserkeit
SD	Standard Deviation
SES	Sprachentwicklungsstörung
SPL.....	Sound Pressure Level
SSES.....	Spezifische Sprachentwicklungsstörung
Tab.....	Tabelle
TROG-D	Test zur Überprüfung des Grammatikverständnisses
VHI	Voice Handicap Index
VRQL.....	Voice Related Quality of Life
WHO.....	World Health Organization
WWT 6-10	Wortschatz und Wortfindungstest für 6- bis 10-jährige Kinder

Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Basisprotokoll Stimmdiagnostik nach ELS	13
Tabelle 2: RBH-Skala.....	15
Tabelle 3: GIRBAS-Skala.....	15
Tabelle 4: Sprechstimmfeld der Kinder mit SES	31
Tabelle 5: Singstimmfeld der Kinder mit SES, Intensitäts- und Frequenzumfang	34
Tabelle 6: Sprechstimmfeld der Kinder mit CI/HA.....	38
Tabelle 7: Singstimmfeld der Kinder mit CI/HA, Intensitäts- und Frequenzumfang	40
Tabelle 8: Vergleich der Mittelwerte im Singstimmfeld.....	47
Abbildung 1: aus Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Prometheus Lernatlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie. Illustrationen von Voll M und Wesker K. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2018.....	3
Abbildung 2: aus Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Prometheus Lernatlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie. Illustrationen von Voll M und Wesker K. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2018.....	3
Abbildung 3: aus Moser, T., Zenner, HP. (2019). Stimme, Sprechen, Sprache. In: Brandes, R., Lang, F., Schmidt, R.F. (eds) Physiologie des Menschen. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg.....	5
Abbildung 4: Body-Cover-Modell nach Hirano aus Wendler und Seidner (2015). Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie, 5. Auflage, Thieme	6
Abbildung 5: Normaler Bewegungsablauf der Stimmlippen während der Phonation (in Anlehnung an Schönhärl) aus Wendler und Seidner (2015). Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie, 5. Auflage, Thieme	8
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Stimmbildung und Klangformung (modifiziert nach Sundberg) aus Wendler und Seidner (2015). Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie, 5. Auflage, Thieme	10
Abbildung 7: Schwingungszyklus der Stimmlippen.....	14
Abbildung 8: Sprechstimmfeld exemplarisch.....	18
Abbildung 9: Singstimmfeld exemplarisch.....	19
Abbildung 10: Verteilung der Intensität im Sprechstimmfeld der Kinder mit SES.....	31
Abbildung 11: Verteilung der Frequenz im Sprechstimmfeld der Kinder mit SES.....	32
Abbildung 12: Zusammenhang von Intensität und Frequenz im Sprechstimmfeld der Kinder mit SES.....	33
Abbildung 13: Singstimmfeld Intensitätsumfang der Kinder mit SES.....	34
Abbildung 14: Singstimmfeld Frequenzumfang in Hertz der Kinder mit SES.....	35
Abbildung 15: Singstimmfeld Frequenzumfang in HT der Kinder mit SES.....	35
Abbildung 16: Grad der Hörstörung rechts.....	36
Abbildung 17: Grad der Hörstörung links.....	36

Abbildung 18: Verteilung der Hörhilfenversorgung.....	37
Abbildung 19: Verteilung der Intensität im Sprechstimmfeld der Kinder mit CI/HA.....	38
Abbildung 20: Verteilung der Frequenz im Sprechstimmfeld der Kinder mit CI/HA.....	39
Abbildung 21: Zusammenhang von Frequenz und Intensität Sprechstimmfeld der Kinder mit CI/HA.....	39
Abbildung 22: Singstimmfeld Intensitätsumfang CI/HA.....	40
Abbildung 23: Singstimmfeld Frequenzumfang (Hz) der Kinder mit CI/HA.....	41
Abbildung 24: Singstimmfeld Frequenzumfang (HT) der Kinder mit CI/HA.....	41
Abbildung 25: Vergleich der Frequenz leise Stimme/Level 1: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES	42
Abbildung 26: Vergleich der Intensität leise Stimme/Level 1: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES	43
Abbildung 27: Vergleich der Frequenz normale Stimme/Level 2: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES	43
Abbildung 28: Vergleich der Intensität normale Stimme/ Level 2: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SE.....	44
Abbildung 29: Vergleich der Frequenz laute Stimme/ Level 3: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES	44
Abbildung 30: Vergleich der Intensität laute Stimme/ Level 3: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES	45
Abbildung 31: Vergleich der Frequenz Rufstimme/Level 4: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES	46
Abbildung 32: Vergleich der Intensität Rufstimme/Level 4: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES	46

1. Einleitung

Kommunikation, lateinisch *communicatio* bedeutet Mitteilung. Auch wenn wir Menschen größtenteils nonverbal kommunizieren, so sind doch die menschliche Stimme und Sprache einzigartig in ihrer Möglichkeit, uns einander mitzuteilen. Dies macht sie essenziell für soziale Interaktionen und Teilhabe. Benötigt wird hierfür einerseits das Gehör als Rezeptororgan. Andererseits braucht der Mensch ein fein abgestimmtes System, das durch ein Zusammenspiel mehrerer Körperfunktionen einen Stimmklang erzeugt und diesen zu Tönen, Lauten und zu Worten formt (vgl. Kiese-Himmel, 2016, S. 10).

Kommunikationsstörungen können das Gehör, die Stimme, Sprache und die Sprachentwicklung betreffen und in jedem Alter auftreten. Nicht selten treten diese Störungen kombiniert auf. So können Hörstörungen dazu führen, dass das Sprechen nicht oder verzögert erlernt wird oder besonders laut gesprochen wird, um die eigene Stimme wahrzunehmen. Insbesondere bei Kindern ist eine frühzeitige Therapie dieser Störungen von großer Bedeutung, um Folgeschäden zu vermeiden und eine Teilhabe am Schul- und Sozialleben zu ermöglichen.

In der vorliegenden Arbeit wird eine Studie vorgestellt, in der die Stimmleistung von Kindern mit Hörstörung und von Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen (SES) mit einer Referenzgruppe von normalhörenden Kindern ohne Sprachentwicklungsstörung verglichen wird. Sie wurde als Kohortenstudie in der Abteilung Kommunikationsstörungen der Universitätsmedizin Mainz an Kindern, die sich dort in ambulanter oder stationärer Therapie befanden, durchgeführt. Diese Kinder haben also bereits eine Einschränkung in ihrer Kommunikationsfähigkeit, da sie entweder schlechter hören als ihre Altersgenoss*innen oder in der Sprachentwicklung zurückliegen und sich hierfür in medizinischer Behandlung befinden. Die Zielsetzung der Studie war es, eine Aussage zu ihren stimmlichen Leistungen zu treffen. Zudem sollte verglichen werden, ob die hörgeschädigten Kinder mit schlechterer auditiver Rückkopplung als auch die Kinder mit SES und vermindertem Sprach- und Stimmgebrauch eine verringerte Stimmleistung im Vergleich mit einer gesunden Kontrollgruppe zeigen.

2. Literaturdiskussion

2.1. Die menschliche Stimme: Anatomie und Physiologie

Maßgeblich verantwortlich für die stimmliche Leistung ist der Antrieb durch die Lunge. Bei der Ausatmung wird die notwendige Luftmenge generiert, aus der im Stimmapparat ein Klang entsteht. Das menschliche Stimmorgan, der Kehlkopf, hat zwei Grundfunktionen: den Schutz der Atemwege vor Fremdkörpern und die Stimmbildung. Er besteht aus einem knorpeligen Skelett, aus Binnen- und Außenmuskeln sowie einer Schleimhautschicht. Er reicht vom Aditus laryngis, dem Kehlkopfeingang, der von der Epiglottis, den zwei aryepiglottischen Falten und den Aryknorpeln gebildet wird, bis zum Unterrand des Ringknorpels. Der Kehlkopf wird in Supraglottis, Glottis sowie Subglottis unterteilt. Der Vokaltrakt oberhalb des Larynx wird aus Rachenschlauch, Mundhöhle sowie Nase und Nasennebenhöhlen zusammengesetzt und dient als Resonanzraum. Er wird auch oft als Ansatzraum bezeichnet (vgl. Wendler, 2015, S. 82).

2.1.1. Das Kehlkopfskelett

Das Kehlkopfskelett besteht aus paaren und unpaaren knorpeligen Strukturen. Der unpaare Schildknorpel, der die Ansatzfläche der Larynxmuskulatur bildet, besteht aus zwei Platten. Je nach Geschlecht fusionieren diese in einem Winkel von 90° (männlich) oder 120° (weiblich). Kaudal hiervon liegt der Ringknorpel, der die Verbindung zur Trachea bildet. Die Epiglottis bildet die obere Begrenzung des Larynx und schützt den Kehlkopf beim Schluckakt durch einen passiven Schließmechanismus. Die paarig angelegten und pyramidenförmigen Arytenoidknorpel regulieren durch Ein- und Auswärtsschwenken die Weite der Stimmritze sowie die Spannung der Stimmbänder (vgl. Abbildung 1 und 2). Die kleinen Knorpel Cartilago corniculata, cuneiformis und triticea besitzen keine eigene Funktion und werden hier nur der Vollständigkeit halber genannt.

Es existieren zwei Gelenke im knorpeligen Kehlkopfskelett. Die *Articulatio cricothyroidea* zwischen Ring- und Schildknorpel nähert durch eine Scharnierfunktion Ring- und Schildknorpel einander an. Somit führt sie zu einer Verlängerung und Spannung der Stimmlippen. Die *Articulatio cricoarytenoidea*, zwischen Ring- und Arytenoidknorpel ermöglicht die Öffnung und den Schluss der Stimmlippen sowie die Feinregulation der Stimmlippenstellung (vgl. Duflo, 2006, S.33), (vgl. AWMF-LL, Dysphonie, 2023).

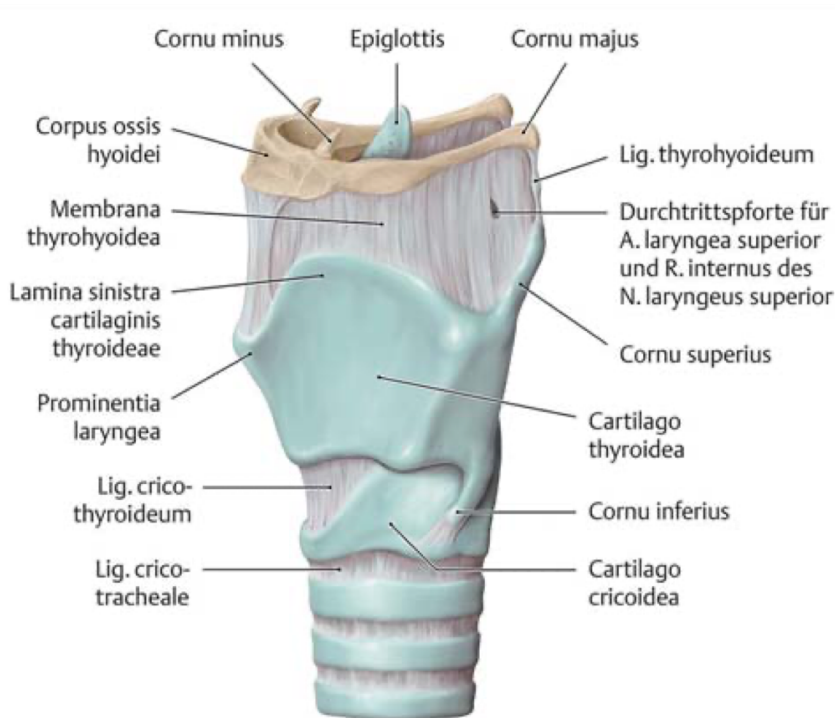


Abbildung 1: aus Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Prometheus Lernatlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie. Illustrationen von Voll M und Wesker K. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2018, S. 212

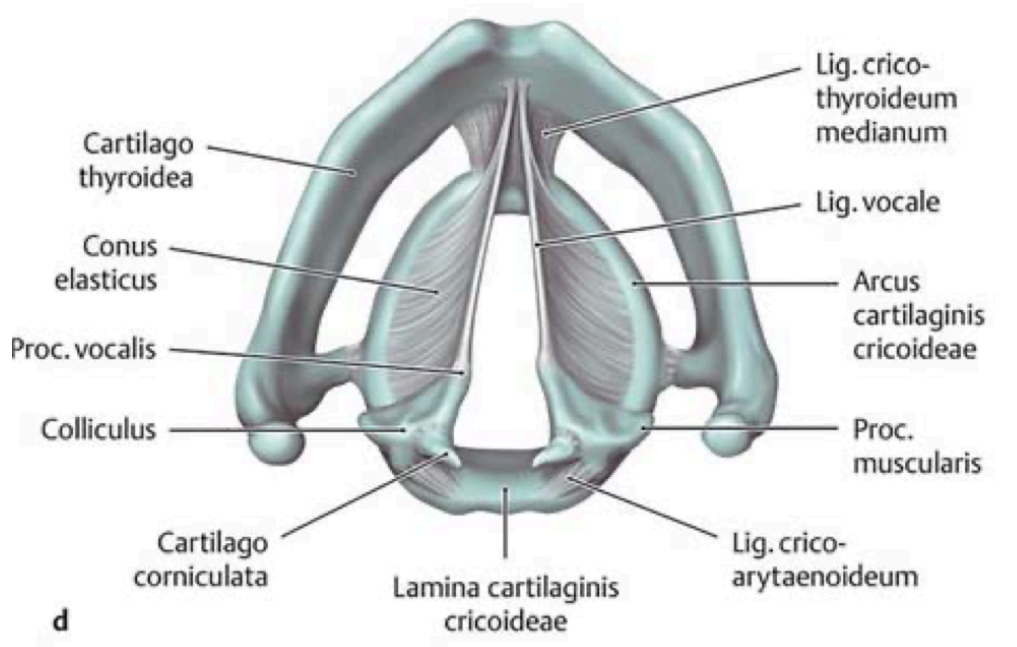
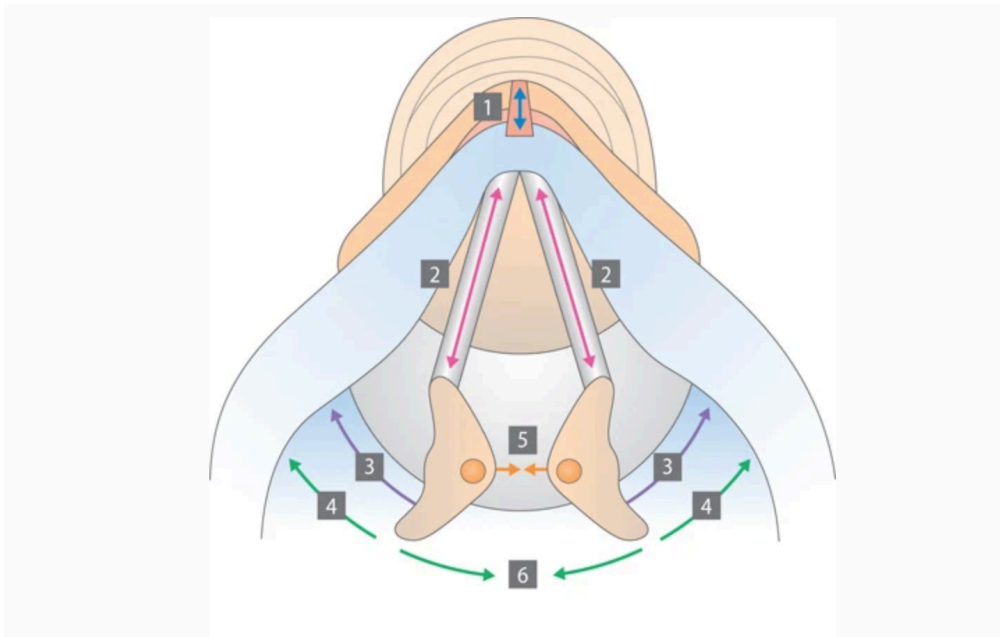


Abbildung 2: aus Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Prometheus Lernatlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie. Illustrationen von Voll M und Wesker K. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2018, S.213

2.1.2. Die Kehlkopfmuskulatur

Inserierend an den knorpeligen Strukturen finden sich die inneren Kehlkopfmuskeln, die durch ihre Adduktions- und Abduktionsbewegungen sowie durch Spannung und Entspannung die Arytenoid-, den Ring- und den Schildknorpel bewegen. Hierdurch werden die Weite der Stimmritze und die Länge und Spannung der Stimmlippen reguliert. Die Innervation der Kehlkopfbinnenmuskulatur erfolgt durch den N. laryngeus recurrens. Nur der Kehlkopfaußenmuskel, der M. cricothyroideus, wird durch den R. externus des N. laryngeus superior innerviert.

Als einziger Stimmritzenöffner fungiert der M. cricoarytenoideus posterior, der von der Rückfläche des Ringknorpels zu den Arytenoidknorpeln zieht. Durch ein Auswärtsschwenken derselben vollzieht er eine Abduktionsbewegung der Stimmlippen und bewegt diese in Inspirationsstellung (vgl. (6) in Abbildung 3). Antagonisierend adduziert und medialisiert der vom Oberrand des Ringknorpels verlaufende M. cricoarytenoideus lateralis die Stimmlippen durch ein Einwärtsschwenken der Arytenoidknorpel (vgl. (4) in Abbildung 3). Die Medialisierung der Stimmlippen, also der Stimmlippenschluss, erfolgt durch eine Annäherung der Aryknorpel aneinander. Maßgeblich verantwortlich ist hierfür der M. interarytenoideus mit seinen Anteilen, dem M. arytenoideus transversus und M. arytenoideus obliquus (vgl. (5) in Abbildung 3). Durch den M. thyroarytenoideus mit seinem mittleren Anteil, der als M. vocalis bezeichnet wird, kommt es mittels Kontraktion zu einer Verkürzung, Verdickung und Spannung der Stimmlippen sowie zum Stimmlippenschluss (vgl. (2) und (3) in Abbildung 3). Er verläuft von der Innenseite des Schildknorpels zum Processus vocalis und der Seitenfläche der Aryknorpel. Die Spannung der Stimmlippen wird außerdem vom äußeren Kehlkopfmuskel, dem M. cricothyroideus bewerkstelligt, indem er eine Kippbewegung des Schildknorpels nach vorne ermöglicht (vgl. (1) in Abbildung 3). Die Stimmlippen werden hierdurch verlängert und verdünnt, woraus eine heraufgesetzte Stimmhöhe resultiert (vgl. Wendler, 2015, S. 75) (vgl. Duflo, 2006, S. 34).



Zugrichtungen der inneren Kehlkopfmuskeln und des M. cricothyroideus. Die Blickrichtung entspricht dem Iupenlaryngoskopischen Bild aus Abb. 54.2 Stimmlippenspannung: M. cricothyroideus (1, **ebenfalls paarig**) und M. vocalis (2). Glottisschluss: M. thyroarytenoideus (3), M. cricoarytenoideus lateralis (4), M. interarytenoideus (5). Glottisöffnung: M. cricoarytenoideus posterior (6)

Abbildung 3: aus Moser, T., Zenner, HP. (2019), S.709 . Stimme, Sprechen, Sprache. In: Brandes, R., Lang, F., Schmidt, R.F. (eds) Physiologie des Menschen. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg

2.1.3. Die Kehlkopfschleimhaut

Die laryngeale Schleimhaut von Epiglottis, Glottis und Subglottis besteht nur aus respiratorischem Epithel mit Flimmer-, Becher- und Basalzellen sowie mukösen Drüsen. In einzelnen Bereichen hoher mechanischer Belastung findet sich mehrschichtiges, nicht verhornendes Plattenepithel. Diese Bereiche umfassen die Stimmlippen, die linguale Epiglottis sowie das obere Drittel der laryngealen Epiglottis. Entscheidend für die Schwingungen der Stimmlippen ist ihr feingeweblicher Aufbau, welcher sich in Epithelschicht, Lamina propria und Muskel unterteilen lässt. Hirano beschrieb 1974 das „Cover-Body-Modell“ der Stimmfalten als einen aus zwei Schichten bestehenden Schwingungsapparat. Er erkannte den tief liegenden „Body“, bestehend aus M. vocalis und dem eng damit verflochtenen Stimmband. Das Stimmband besteht aus Kollagen und elastischen Fasern, die aus der mittleren und tiefen Schicht der Lamina propria entstehen. Darüber liegend, lose mit dem „Body“ verknüpft, findet sich das „Cover“ der Mukosa. Es besteht aus dem an der Oberfläche liegenden Epithel und der darunter liegenden oberflächlichen Schicht der Lamina propria. Die Lamina propria besteht aus lockerem, gallertartigem Bindegewebe, dem sog. „Reinke-Raum“. Die Schwingungen finden in diesem Verschiebraum zwischen oberflächlicher und mittlerer Schicht der Stimmlippen statt (vgl. Hirano, 1974), (vgl. Hirano, 1982). Diese histologische Dreischichtigkeit ist in Abbildung 4 dargestellt.

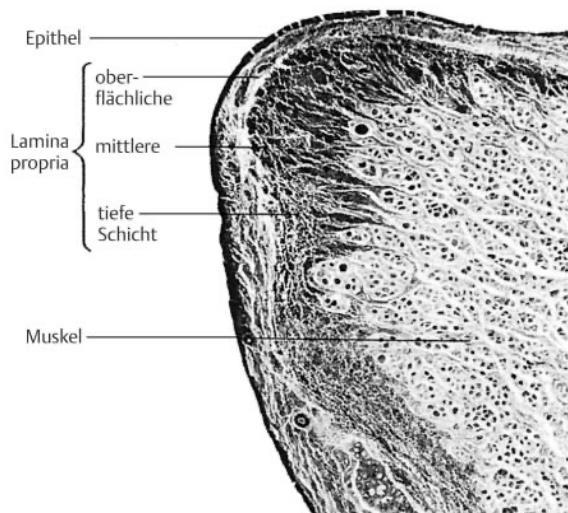


Abbildung 4: Body-Cover-Modell nach Hirano aus Wendler und Seidner (2015). Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie, 5. Auflage, Thieme, S. 76

2.1.4. Die Unterschiede zwischen erwachsenem und kindlichem Kehlkopf

Bei Betrachtung der kindlichen Stimme muss auch auf die anatomischen Aspekte des kindlichen Stimmorgans im Vergleich zum Stimmorgan Erwachsener eingegangen werden. Im Rahmen des Gesamtkörperwachstums verändern sich die Lungenvolumina und die Größe des Ansatzraums. Durch unterschiedlich schnelle Wachstumsphasen kann das Lungenvolumen im Vergleich zur Kehlkopfgröße so rapide zunehmen, dass es zu einer Überlastung des stimmbildenden Organs kommt, bis sich ein stabiles Verhältnis bildet (vgl. Quanjor, 2012) (vgl. Fuchs, 2008 b). Das subglottische Atemwegsvolumen zeigt in den ersten 24 Lebensmonaten ein exponentielles Wachstum, welches sich dann zu einem linearen Wachstum verlangsamt (vgl. Eckel, 2000). Der Larynx ist bei der Geburt im Verhältnis deutlich kürzer als bei Erwachsenen und liegt höher, auf Höhe C3/C4. Er nimmt im Verlauf des Lebens proportional zum Gesamtkörperwachstum an Länge zu, sinkt ab und erreicht ca. im 15. Lebensjahr die Höhe C6/C7. Neugeborene haben zudem einen vergleichsweise kleinen Mund, eine große Zunge und eine hochstehende, stärker eingerollte Epiglottis (vgl. Gray, 1996) (vgl. Possamai, 2013).

Das Kehlkopfwachstum verläuft innerhalb der ersten drei Lebensjahre rapide, um sich dann zu verlangsamen und in der Pubertät erneut einem deutlichen Wachstumsschub zu unterliegen. Kahane führte hierzu eine Studie an Kehlköpfen von Körperspender*innen unterschiedlichen Alters durch. Er konnte messen, dass die weiblichen präpubertalen Spenderkehlköpfe sich weniger von denen adulter Spenderinnen unterscheiden, als bei männlichen präpubertalen und adulten Kehlköpfen. Dies zeigt, dass der männliche Larynx in der Pubertät größeren Veränderungen unterliegt als der weibliche. Der Winkel zwischen den Schildknorpelplatten liegt beim Neugeborenen bei ca. 130° und verkleinert sich beim präpubertalen Mädchen auf 120° und beim präpubertalen Jungen auf 110°, um dann nach der Pubertät bei Männern 90° zu messen (vgl. Kahane, 1978). Die Stimmlippenlänge von Kindern entwickelt sich bei Jungen und Mädchen bis zur Pubertät gleich. Im ersten Lebensjahr zeigen sich im membranösen Anteil Längen von ca. 6 bis 8 mm, die sich dann nach der Pubertät auf 8,5 bis 12 mm bei jungen Frauen und 14,5 bis 18 mm bei jungen Männern verändern (vgl. McAllister, 2013).

Nach Hiro sollte die Glottis in einen membranösen Teil, der sich von der vorderen Kommissur bis zum Processus vocalis erstreckt und einen kartilaginösen Teil vom Processus vocalis bis zum posterioren Ende des Glottisspalts, unterteilt werden (Hirano et al., 1986). Das Verhältnis des membranösen Anteils zum kartilaginösen Anteil der Glottis nimmt im Alter deutlich zu. So ist beim Neugeborenen der membranöse Anteil nur ca. eineinhalbmal so lang wie der kartilaginöse Anteil, bei der erwachsenen Frau viermal und beim erwachsenen Mann fünfeinhalbmal so lang. Es wird postuliert, dass der kartilaginäre Anteil primär für die respiratorische Funktion zuständig ist und im Verlaufe der Entwicklung im Vergleich zur phonatorischen Zuständigkeit des membranösen Teils an Relevanz verliert (vgl. Possamai, 2013) (vgl. McAllister, 2013).

Die feingeweblichen Untersuchungen der Schleimhautbeschaffenheit kindlicher Stimmlippen zeigen eine recht lose Lamina propria ohne eine ligamentäre Struktur im Sinne eines Stimmbandes. Im Bereich der Makulae flavae, die sich am Anfang und Ende des membranösen Stimmlippenanteils befinden, finden sich viele Fibroblasten, die kollagene, retikuläre und elastische Fasern produzieren (vgl. Sato, 2001). Die kindlichen Stimmlippen entwickeln also erst über die Jahre ihre Dreischichtigkeit (vgl. McAllister, 2013).

2.1.5. Die Physiologie der Stimme

Die Erzeugung des Stimmklangs wird zunächst im zerebralen Kortex geplant, von dort aus wird ein motorisches Zusammenspiel von Brustkorb, Bauchmuskulatur, Kehlkopf und den Artikulations- und Resonanzräumen koordiniert. Bei der Erzeugung von Sprache oder Gesang wird aerodynamische Energie in akustische Energie umgewandelt. Der Thoraxraum expandiert bei der Einatmung durch ein Abflachen des Zwerchfells und die Lunge füllt sich mit Luft. Am Ende der Einatmung erschlafft die Zwerchfellmuskulatur und die elastischen Fasern der Lunge ziehen sich wieder zusammen. Das führt dazu, dass die Luft über die Stimmlippenebene entweichen kann. Diese Form der Atmung durch Zwerchfellaktivität wird als Abdominalatmung bezeichnet. Bei der Thorakalatemung helfen zusätzlich die äußeren Interkostalmuskeln und die Atemhilfsmuskulatur des Schultergürtels die inspiratorischen Volumina zu bewegen. Beim Ausatmen dienen hierfür die inneren Interkostalmuskeln und die Bauchwandmuskulatur. Meist wird unwillkürlich eine Kombination dieser Atmungsformen genutzt. Willentlich kann jedoch gesteuert werden, welche Art verstärkt genutzt wird. Beim stimmhaften Ausatmen verschiebt sich das zeitliche Verhältnis der Phasen von Einatmung zu Ausatmung stark in Richtung der Ausatmung, da bei der Ausatmung die benötigte Energie für die Stimmerzeugung bereitgestellt wird (vgl. Wendler, 2015, S. 72).

Van den Berg beschrieb 1958 in seiner myoelastisch-aerodynamischen Theorie, dass die Stimmlippenschwingungen zustande kommen, indem der Luftfluss aus der Trachea unter den geschlossenen Stimmlippen zum Aufbau eines subglottischen Druckes führt. Dieser erhöht sich bis zu dem Punkt, an dem er den Schlussdruck der Stimmlippen überschreitet und diese öffnet. Durch das öffnungsbedingte Entweichen der Luft und dem resultierenden Abfall des subglottischen Drucks kommt es zu einem erneuten Stimmlippenschluss. Der subglottische Druck kann sich daraufhin wieder aufbauen, bis eine erneute Öffnung entsteht. Durch mehrere Wiederholungszyklen kommt es zu den Stimmlippenschwingungen, die wiederum einen Ton erzeugen (vgl. Van Den Berg, 1958).

In Abbildung 5 ist schematisch ein Schwingungszyklus der Stimmlippen dargestellt, vom Stimmlippenschluss über die Öffnung bis hin zum erneutem Schluss. Links ist eine

Seitansicht der Stimmlippen zu sehen, mittig eine Aufsicht auf die Glottis und rechts im Bild der Zeitpunkt im Schwingungszyklus. Der notwendige Druck zur Erzeugung dieser Schwingungen („phonation threshold pressure“) ist abhängig von der Viskosität und Spannung der Stimmlippen, der Dicke des freien Randes der Stimmlippen, der Weite der glottischen Öffnung vor Beginn der Phonation und dem transglottischen Druckgradient (vgl. Titze, 1992).

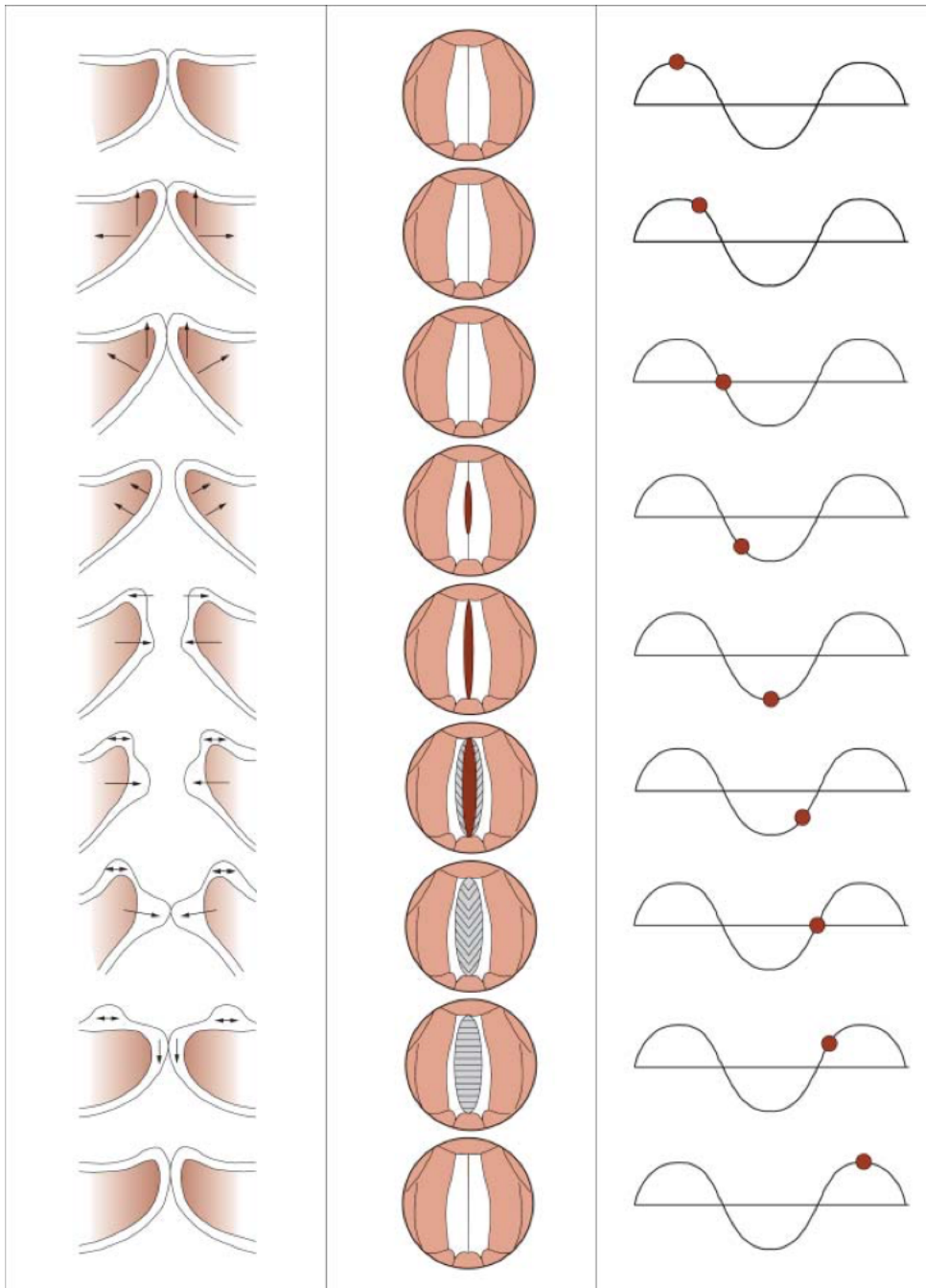


Abbildung 5: Normaler Bewegungsablauf der Stimmlippen während der Phonation (in Anlehnung an Schönhärl) aus Wendler und Seidner (2015). Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie, 5. Auflage, Thieme, S. 79

Die Tonhöhe wird beeinflusst von der Grundfrequenz der Stimmlippenschwingung. Diese wird definiert durch die Länge, Grundspannung, Elastizität und die Masse der Stimmlippen (Zhang, 2016). Diese Faktoren hängen wiederum vom Alter, Geschlecht sowie von der Körpergröße und -gewicht ab. Änderungen der Tonhöhe werden durch eine veränderte Stimmlippenspannung mittels An- bzw. Entspannung des M. cricothyroideus und M. thyroarytenoideus und Variation des subglottischen Druckes erreicht (vgl. Hollien, 2014). Eine höhere Stimmlage wird durch die Spannung und Verlängerung der Stimmlippen sowie eine Zunahme des subglottischen Drucks und vice versa für eine tiefere Stimme ermöglicht (vgl. Seidner, 2010, S. 80).

Die Lautstärke eines Tons wird durch den subglottischen Druck, die Weite des Glottisspalts und eine effiziente Weiterleitung im Stimmapparat reguliert. Erhöhen sich diese Faktoren, so entsteht ein lauterer Ton (vgl. Giovanni A., 2009), (vgl. Sataloff, 2007) (vgl. Zhang, 2016).

Die über die Stimmlippen erzeugte Energie wird über den Resonanzkörper weitergeleitet. Man kann dieses als eine stehende Welle mit einem Amplitudenmaximum an der Glottis und -minimum an der Lippe verstehen. Diese Amplitudenmaxima werden Formanten genannt. Durch vorgegebene individuelle anatomische Eigenschaften und die Eng- oder Weitstellung des Resonanzkörpers werden bestimmte Frequenzen verstärkt und andere abgeschwächt oder ausgelöscht. Diese Resonanzfrequenzen sind abhängig vom Verlauf des Ansatzrohrquerschnitts von der Glottis bis zu den Lippen. Die Filterfunktion lässt die Entstehung verschiedener Formanten zu (vgl. Schneider-Stickler, 2013, S. 36). Formanten sind Frequenzbereiche, in denen die akustische Energie gebündelt wird. Sie bestimmen die Stimmklangfarbe und liegen je nach Geschlecht und Alter in unterschiedlichen Frequenzbereichen (vgl. Abbildung 6).

Der niedrigste Formant entspricht $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge der erzeugten Schallwelle, der zweite Formant $\frac{3}{4}$, der dritte $1\frac{1}{4}$ und der vierte Formant $1\frac{3}{4}$ der Wellenlänge. Formant 1 und 2 (F_1 , F_2) charakterisieren die Vokale und Formant 3 bis 5 die individuelle Stimmklangfarbe (vgl. Seidner and Wendler, 2010, S. 114). Nach Sundberg kann durch die Annäherung der Formanten 3 bis 5 (F_3 , F_4 , F_5) ein Formantencluster um ca. 3000 Hz, der sogenannte Sängersformant, gebildet werden. Je nach Stimmgattung von Bass bis Sopran und bei Kindern liegen diese Formanten in verschiedenen Frequenzbereichen (vgl. Seidner, 2010, S. 116, Sundberg, 1987, S.102). Ungefähr liegen sie bei $F_1= 250 - 1000$ Hz, $F_2= 600 - 2500$ Hz, $F_3= 1700 - 3500$ Hz, F_4 und F_5 sind abhängig von der Länge des Vokaltrakts (vgl. Sundberg, 1987).

Beim Singen werden durch die Alteration des subglottischen Drucks sowie der Länge und Spannung der Stimmlippen die Lautstärke und Tonhöhe kontrolliert (Kayes, 2015, S. 12, Sundberg, 1987). Für die Stimmkontrolle ist einerseits das auditive Feedback der eigenen Stimme via Knochen- und Luftleitung notwendig, als auch ein sensorisches Feedback. Hierfür dient das neuromuskuläre Feedback in den Propriosensoren, die Spannung, Vibration und Druck im Stimmapparat wahrnehmen (vgl. AWMF-LL Dysphonie, 2023).

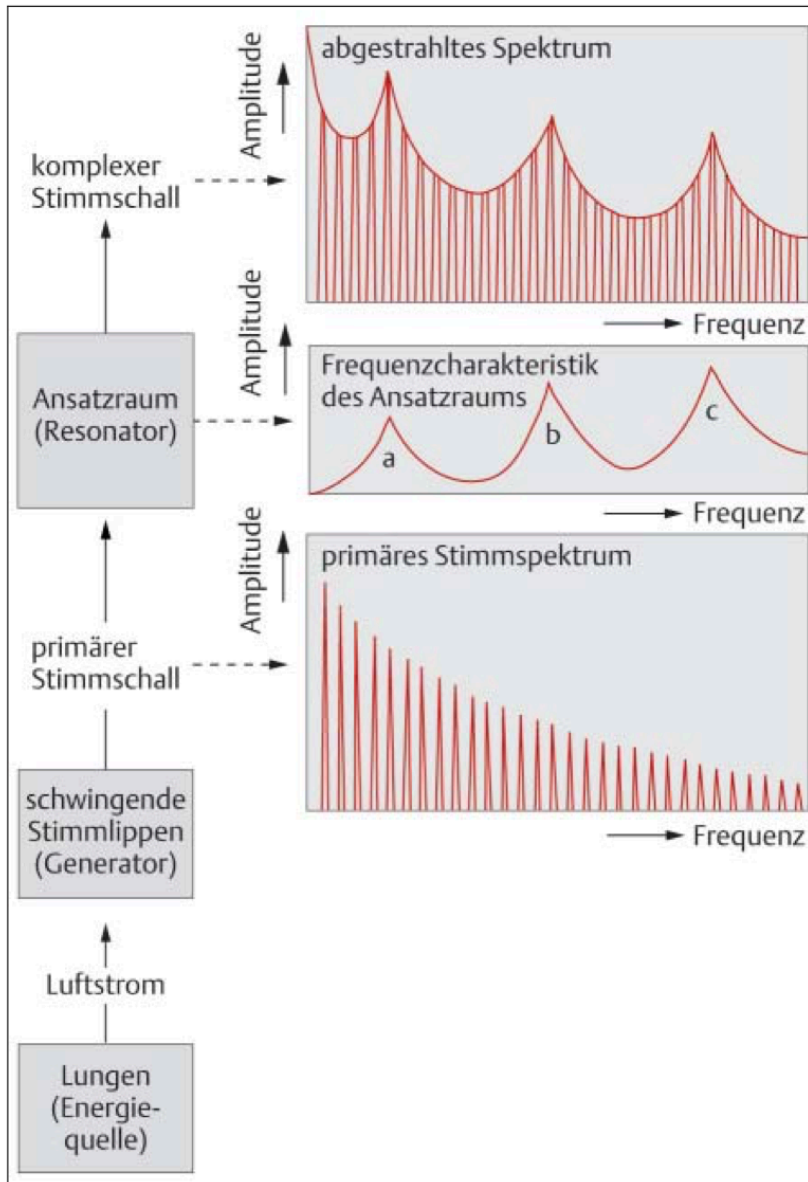


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Stimmbildung und Klangformung (modifiziert nach Sundberg) aus Wendler und Seidner (2015). Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie, 5. Auflage, Thieme, S. 80

2.2. Die Stimmentwicklung

Der Neugeborenenenschrei mit einer Frequenz von durchschnittlich 400 bis 600 Hz ist die erste menschliche Stimmäußerung. Über die folgenden Lebenswochen und -monate entwickeln sich dann melodische Elemente hinzu, die Äußerungen über Bedürfnisse und Emotionen ermöglichen. Im Verlauf nimmt die Tonhöhe der Stimme bei beiden Geschlechtern gleichermaßen ab, mit einer recht schnellen Entwicklung bis zum dritten Lebensjahr. Folgend kommt es zu einer Verlangsamung, bis in der Pubertät Jungen durch die Mutation schnell eine deutlich tiefere Stimme entwickeln als Mädchen (vgl. Possamai, 2013) (vgl. Gray, 1996) (vgl. Fuchs, 2008b) (vgl. McAllister, 2013).

Altern scheint lebenslang durch strukturelle Änderungen im Kehlkopf einen Einfluss auf die stimmliche Grundfrequenz zu haben. Eichhorn et al. beschreiben in einer Studie an Männern und Frauen in drei Altersgruppen eine tiefere Grundfrequenz mit zunehmendem Alter. Diese war aufgrund hormoneller Umstellungen bei den Studienteilnehmerinnen stärker ausgeprägt als bei den Studienteilnehmern (vgl. Eichhorn, 2018).

2.3. Kindliche Stimmstörungen

Kindliche Stimmpathologien werden in der Literatur mit einer Prävalenz von 6 % bis 24 % angegeben. Oftmals fällt den betroffenen Eltern keine Stimmänderung auf und es erfolgt keine ärztliche Vorstellung (vgl. Possamai, 2013). Ältere Geschwister, Tagesaufenthalte in großen Gruppen von Kindern, männliches Geschlecht bei präpubertalen Stimmstörungen und weibliches Geschlecht bei postpubertalen Stimmstörungen wurden als Risikofaktoren identifiziert (vgl. McAllister, 2013). Auffällig werden die betroffenen Kinder durch einen veränderten Stimmklang, durch eine eingeschränkte Stimmleistung oder durch Missempfindungen im Bereich des Schlundes oder Kehlkopfes (Fuchs, 2009a). Es gibt vielfältige Ursachen für kindliche Stimmstörungen. Deswegen sollte zunächst unterschieden werden, ob tatsächlich eine Stimmstörung oder eine Sprach- oder Sprechstörung vorliegt. Zusätzlich muss geklärt werden, ob die Störung die Stimmstehung betrifft, also eine Dysphonie vorliegt, oder ob eine Resonanzstörung, z. B. eine Rhinophonie vorliegt (vgl. Possamai, 2013) (vgl. Hirschberg, 1995). Bei einer Dysphonie können die Stimmqualität, der Tonhöhen- oder Lautstärkenumfang sowie die Resonanz betroffen sein (vgl. Gray, 1996). Auf die hierfür erforderliche Diagnostik bei Stimmstörungen wird in Kapitel 2.4. eingegangen.

Anhand ihrer Ätiologie werden Stimmstörungen weiter in organische und funktionelle Störungen unterteilt. Organische Störungen können angeboren sein. Hierzu zählen pulmonal-tracheale Störungen wie die Trachealstenose, Mukoviszidose, Asthma, neurologische Erkrankungen wie das Cri-du-Chat-Syndrom, der Kernikerus, Hirnnervenpareesen, Stimmlippenpareesen und neuromuskuläre Erkrankungen, wie spinale Muskeldystrophie und Myopathien. Erkrankungen auf laryngealer Ebene umfassen Hypo- oder Dysplasien des Larynx, die Laryngomalazie, Kehlkopfsegel, Kehlkopfspalten oder Asymmetrien, wie das Aryüberkreuzungsphänomen. Organische Störungen wie z.B. akute Laryngitiden, chronische Infekte der Ansatzräume wie chronische Rhinosinusitis, rezidivierende Tonsillitiden, allergische Erkrankungen und gastroösophagealer Reflux können auch erworben sein. Polypen der Stimmlippen und Narben können nach Entzündungen entstehen und eine Infektion mit HPV-Subtypen 6 und 11, ggfs. auch Subtypen 16 und 18, kann eine rezidivierende Larynxpapillomatose auslösen. Organische

Stimmstörungen bei Erwachsenen umfassen zusätzlich das Reinke-Ödem, Stimmlippenpolypen, Phonationsverdickungen, gut- und bösartige Tumoren, Intubationsgranulome und spezifische Entzündungen, wie z. B. die Tuberkulose.

Die primär nicht organischen Stimmstörungen werden als funktionelle Störungen bezeichnet und können zu sekundär-organischen Störungen führen. Funktionelle Störungen sind oft mit einer psychosozialen Störung oder erhöhter stimmlicher Aktivität vergesellschaftet (vgl. Fuchs, 2008a). Die kindlichen Stimmlippen unterliegen Wachstumsprozessen und es wird vermutet, dass Kinder anfälliger für Stimmstörungen sind, da die schützende Dreischichtigkeit der adulten Stimmlippen noch nicht entwickelt ist (vgl. McAllister, 2013). Durch pathologische Schwingungsveränderungen kann so langfristig ein Epithelschaden entstehen, der im Verlauf zu einer sekundär-organischen Stimmstörung führt, so z. B. Stimmlippenknötchen (vgl. Fuchs, 2009a) (vgl. Gray, 1996).

Die Therapie kindlicher Stimmstörungen ist abhängig von der zugrundeliegenden organischen oder nicht-organischen Ursache. Bei angeborenen organischen Stimmstörungen, die gegebenenfalls Atemnotsituationen oder Aspirationsgefahr beim Neugeborenen mit sich führen, wie schwerer Laryngomalazie, Larynxspalten, -zysten oder kongenitaler Recurrensparese, kann eine operative Therapie erforderlich sein (vgl. Possamai, 2013). Ebenso werden Larynxpapillomatosen chirurgisch versorgt. In der Regel sind bei dieser Erkrankung mehrere chirurgische Abtragungen der Veränderungen erforderlich (vgl. Hansen, 2014, S. 715). Akute Infektionen erfordern teilweise Antibiotikagabe sowie inhalative Therapie mit Adrenalin oder systemische Glucocorticoide beispielsweise beim Pseudokrapp (vgl. Riedler, 2011).

Bei funktionellen oder sekundär-organischen Ursachen liegt der Behandlungsfokus auf dem Erlernen eines Bewusstseins für die eigene Stimme und deren Einsatz unter logopädischer Betreuung inklusive Einbezug der Eltern. Bei akuter Überlastung sollte die Stimme geschont werden und falls erforderlich die Behandlung assoziierter Krankheits- oder Störungsbilder mittels psychotherapeutischer Betreuung erfolgen (vgl. Hooper, 2004) (vgl. Fuchs, 2009a). Kindliche Stimmstörungen, die beispielweise durch einen falschen Stimmgebrauch ausgelöst wurden, können dazu führen, dass die Kinder durch Gleichaltrige und Erwachsene negativ wahrgenommen werden (vgl. Ruscello, 1988, Lass, 1991). Sie hemmen diese oft in ihrer sozialen Entwicklung und im Erlernen von Kommunikationsfähigkeiten, verringern ihr Selbstwertgefühl und führen zu Schamgefühl und Frustration (vgl. Connor, 2008).

2.4. Die Stimmdiagnostik

Um die Diagnose einer Dysphonie zu stellen, bedarf es einer ausführlichen Diagnostik, die nach einem standardisierten Algorithmus durchgeführt und durch Phoniater*innen bzw. Fachärzt*innen der HNO gestellt werden sollte. Am Beginn der ärztlichen Konsultation sollte die stimmbezogene Anamnese, bei Kindern mit der Fremdanamnese der Eltern, stehen. Anschließend erfolgt eine klinische Untersuchung des Stimmapparates inklusive stroboskopischer Untersuchung der Stimmlippenbewegung. Die Stimmuntersuchung umfasst zunächst eine auditiv-perzeptive Bewertung durch Untersucher*in und eine anschließende apparative Stimmuntersuchung der akustischen und aerodynamischen Parameter. Zusätzlich sollte anhand von Patientenfragebögen erfasst werden, wie stark die subjektive Belastung bzw. Einschränkung ist. Die Durchführbarkeit der diagnostischen Maßnahmen

hängt vom Alter und der Kooperationsfähigkeit der untersuchten Person ab. Bei Kindern kann die Diagnostik entsprechend angepasst oder reduziert werden (vgl. Fuchs, 2008a). Für Erwachsene wurde ein Basisprotokoll der Europäischen Laryngologischen Gesellschaft zur Stimmdiagnostik entworfen (vgl. Dejonckere, 2001), dessen Bestandteile in Tabelle 1 zusammengefasst sind.

Im klinischen oder ambulanten Alltag kommen zur Stimmtestung primär die auditiv-perzeptive Bewertung mittels RBH-Schema, der Laryngoskopie und Stroboskopie, Stimmumfangsmessung, aerodynamische Messung von Maximum Phonation Time, Jitter, DSI, sowie die Selbsteinschätzung via Voice Handicap Index zur Anwendung (vgl. Nawka, 2014).

Perzeption	RBH/GRBAS Skalen
Videolaryngo- Stroboskopie	1. Untersuchung organischer Veränderungen 2. Glottisschluss 3. Regularität der Stimmlippenamplituden 4. Randkantenverschiebung der Stimmlippen 5. Symmetrie des Schwingungsmusters
Aerodynamik	Maximale Phonationszeit MPT Vitalkapazität Phonationsquotient (Vitalkapazität/MPT)
Akustik	Jitter (Periodizitätsanalyse der Frequenz) Shimmer (Periodizitätsanalyse der Amplitude) Leiseste und lauteste Stimmintensität Tiefste und höchste Frequenz Frequenzumfang in Halbtönen Sprech- und Singstimmfeld
Selbstevaluation	Stimmqualität und Beeinträchtigung (VHI)

Tabelle 1: Basisprotokoll Stimmdiagnostik nach ELS

2.4.1. Die Anamnese

Bei der stimmbezogenen Anamnese sollten, wenn möglich, sowohl Kind als auch Eltern befragt werden. Hinweise auf die Ursache einer Stimmstörung geben ihre zeitliche Einordnung, ob diese beispielsweise kongenital auffiel, nach einem Infekt der oberen Atemwege oder mit dem Beginn der Kindergarten- oder Schulzeit. Es sollten die familiäre Situation und psychopathologische Belastungsfaktoren ebenso wie Grunderkrankungen, Hinweise auf rezidivierende Atemwegsinfekte, allergische Symptome, Refluxerkrankung und Hörstörungen erfragt werden (vgl. Fuchs, 2008a) (vgl. Possamai, 2013).

2.4.2. Die klinische Untersuchung

Zur Unterscheidung organischer und funktioneller Stimmstörungen im Kindesalter ist zunächst eine vollständige HNO-Untersuchung inklusive Untersuchung der Ohren und einer Hörtestung notwendig, um beispielsweise Hörstörungen, Gaumenspalten, Adenotonsillarhyperplasie oder Hirnnervenläsionen zu diagnostizieren.

Die transnasale Laryngoskopie mit dem flexiblen Endoskop kann schon bei sehr kleinen Kindern im Alter von 1 - 5 Jahren durchgeführt werden und erste Erkenntnisse zur Larynxkonfiguration, Stimmlippenbeweglichkeit oder zu möglichen Läsionen ermöglichen, auch eine flexible Videostroboskopie ist möglich. Eine starre Laryngoskopie kann mit speziellen Optiken am kooperativen Kind ab ca. dem dritten Lebensjahr erfolgen. Die Laryngoskopie kann je nach Alter bei sehr kleinen oder unkooperativen Kindern und bei Verdacht auf eine organische Ursache als Mikrolaryngoskopie in Allgemeinanästhesie erfolgen. Hierbei kann jedoch nur geringe Information bezüglich der Funktionalität gewonnen werden. Ab ca. dem 4. bis 5. Lebensjahr kann die starre Videostroboskopie eingesetzt werden (vgl. Possamai, 2013) (vgl. Fuchs, 2009a). Eine beispielhafte stroboskopische Untersuchung findet sich in Abbildung 7. Hier ist ein vollständiger Schwingungszyklus wie in Abbildung 5 dargestellt, mit videostroboskopischer Sicht.

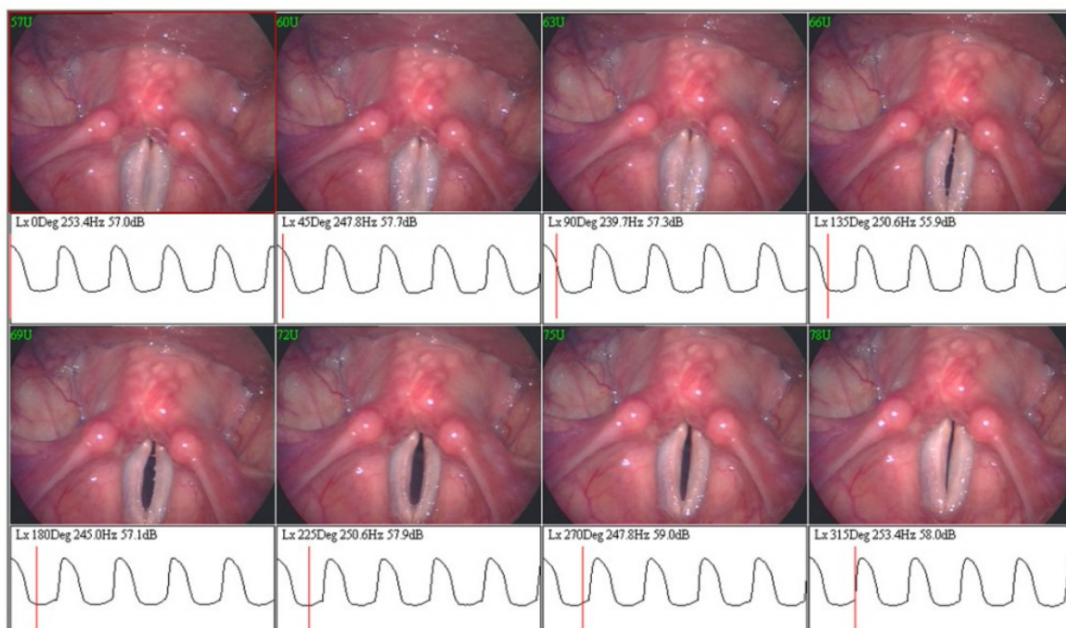


Abbildung 7: Schwingungszyklus der Stimmlippen

<https://cvtresearch.com/understanding-laryngeal-stroboscopy/>

2.4.2.1. Die auditiv-perzeptive Untersuchung

Geübte Untersucher*innen können bereits durch das Zuhören unterteilen, ob eine Rhinophonie oder Dysphonie vorliegt und letztere anhand einer Skala einem numerischen Wert, entsprechend einem Schweregrad, zuordnen. Klassischerweise werden die auditiven Bewertungsskalen GRBAS-Skala nach Hirano, bzw. die abgewandelte GIRBAS-Skala nach Dejonckere und die RBH-Klassifikation nach Wendler eingesetzt (vgl. Hirano, 1981) (vgl.

Wendler, 1986) (vgl. Dejonckere, 1996). Bei beiden Bewertungssystemen werden zu den zu ermittelnden Parametern Punkte von 0 bis 3 vergeben (0 = nicht vorhanden; 1 = geringgradig vorhanden; 2 = mittelgradig vorhanden; 3 = hochgradig vorhanden). Im deutschsprachigen Raum kommt insbesondere die Rauigkeit–Behauchtheit-Heiserkeit-Skala zum Einsatz. Rauigkeit beschreibt die Unregelmäßigkeit der Schwingungen, die zu Rauschen führt. Unvollständiger Stimmlippenschluss mit Entweichen von Nebenluft und Entstehung von Turbulenzen wird als Behauchtheit bezeichnet. Die Gesamtbewertung der Heiserkeit setzt sich aus beiden Faktoren zusammen, so kann beispielsweise eine stark behauchte Stimme mit geringer Rauigkeit zur Klassifikation R1 B3 H3 führen, was einer hochgradigen Stimmklangstörung entspricht (vgl. Wendler, 2015, S.125). In den folgenden Tabellen sind die beiden Bewertungssysteme zusammengefasst.

Abkürzung	Bezeichnung	Beschreibung
R	Rauigkeit	Unregelmäßige Schwingungen/Überlagerung
B	Behauchtheit	Turbulenzen
H	Heiserkeit	Gesamteindruck der Abweichung

Tabelle 2: RBH-Skala

Abkürzung	Bezeichnung	Beschreibung
G	Grade/Gesamtgrad	Gesamteindruck der Stimmstörung
I	Instability/Instabilität	Hörbare Schwankungen
R	Roughness/Rauheit	Irreguläre Schwingungen
B	Breathiness/Behauchtheit	Turbulente Luftströmungen
A	Asthenic/Schwachheit	Stimmschwäche
S	Strained quality/ Gepresstheit	Übermäßige Spannung/Anstrengung

Tabelle 3: GIRBAS-Skala

2002 wurde mit dem Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice (CAPE-V)-Protokoll im amerikanischen Raum eine neue Bewertungsskala vorgeschlagen und in einigen Studien angewandt. In Studien, die die Anwendung der GRBAS-Skala und des CAPE-V an einer Patient*innenkohorte verglichen, konnten gute Ergebnisse bezüglich der Validität und Verlässlichkeit beider Stimmbewertungssysteme gezeigt werden (vgl. Zraick, 2011, Karnell, 2007). Zusätzlich wurde noch bewertet, ob die Stimmstörung nur intermittierend oder dauerhaft auftritt (vgl. Kempster, 2009).

2.4.2.2. Die apparative Untersuchung

Heutzutage stehen Stimmanalysesoftwareprodukte verschiedener Hersteller zur apparativen Stimmanalyse zur Verfügung. Die Aufnahme sollte standardisiert in einem geräuscharmen Raum mit Umgebungsgeräuschen bis maximal 40 dB erfolgen. Zwischen dem Mund der untersuchten Person und dem Mikrophon sollte ein Abstand von 30 cm eingehalten werden.

Aufgezeichnet werden einerseits akustische Stimmerkmale, z. B. die Frequenz und Intensität der Stimme. Nach ELS-Protokoll werden aus leisester und lautester Intensität sowie niedrigster und höchster Frequenz, der Intensitäts- und Frequenzumfang errechnet. Die Stimmprofilmessung wird in Kapitel 2.4.2.3. noch genauer beschrieben. Außerdem werden Jitter, die Frequenzabweichungen und Shimmer, die Amplitudenabweichungen in der Periodizitätsanalyse gemessen, die als akustische Korrelate der Heiserkeit gewertet werden können (vgl. Friedrich, 2005).

Zusätzlich erfolgen aerodynamische Messungen, um mögliche Pathologien im Bereich des Zusammenhangs von Respiration und Phonation zu diagnostizieren. Um die Tonhaltedauer MPT (Maximale Phonationszeit) zu ermitteln, werden die Patient*innen aufgefordert, den Ton /a:/ so lange wie möglich zu halten. Diese Dauer wird in Sekunden aufgezeichnet. Bei kleinen Kindern ist diese Dauer aufgrund begrenzter Lungenvolumina oft auch relativ gesehen deutlich geringer als bei Erwachsenen. Als zusätzliche aerodynamische Messung zur MPT kann ggfs. die VC (Vitalkapazität der Lunge) dienen, sollte beispielsweise eine pulmonale Pathologie als Ursache einer kraftlosen Stimme vermutet werden. Aus ihrem Quotienten mit der MPT kann der sog. Phonationsquotient errechnet werden (vgl. Schneider-Stickler, 2021, S. 88).

Die Stroboskopie dient der Analyse der laryngealen Schwingungsmuster mittels Blitzlicht mit einer gering von der Schwingungsfrequenz der Stimmlippen abweichenden Frequenz. Durch die Beleuchtung verschiedener Schwingungsphasen können für das Auge fassbare Bewegungen aufgezeichnet werden. Betrachtet werden hierbei der Glottisschluss und die -öffnung, Symmetrie und Regularität der Schwingungen, die Amplitude, also Schwingungsweite der seitlichen Stimmlippenbewegungen und die Randkantenverschiebung, auch bezeichnet als „mucosal wave“, also die Verschiebung der Schleimhautschicht über dem Muskelkörper (vgl. Hirano, 1974) (vgl. Reghunathan, 2019) (vgl. Schneider-Stickler, 2013, S.88).

Die Elektroglossographie dient der nicht-invasiven Untersuchung der Stimmlippenbewegungen, indem von außen über beiden Flügeln der Schilddrüse je eine Elektrode mit geringer Spannung angebracht wird und hierüber der Wechselstromwiderstand zwischen den Stimmlippen gemessen werden kann. Es können hiermit die Öffnungs- und Schließbewegungen prozessiert und in einer Kurve (sog. Lx-Kurve) visualisiert werden. Es gibt gekoppelte Systeme mit Videostroboskopen sowie Geräte zur Aufzeichnung der Stimme, um eine vollumfängliche Untersuchung zu ermöglichen, beispielsweise durch die gleichzeitige Auswertung von Jitter und Shimmer. Die klinischen Einsatzgebiete können beispielsweise die Diagnostik bei Dysphonie, Stimmlippenparesen, spasmodischer Dysphonie oder neuromuskulären Erkrankungen sein (vgl. Herbst, 2020). Im folgenden Absatz wird die Stimmfeldmessung beschrieben.

2.4.2.3. Die Stimmfeldmessung: Voice Range Profile

Die Stimmfeldmessung oder auch Stimmprofilmessung wurde erstmals 1950 als „Courbes Vocales“ von Calvet und Malhiac vorgestellt und 1952 publiziert. Sie entwickelte sich ab 1968 als „Phonetogramm“ in Europa weiter, vorgestellt von Waar und Damste, um die Singstimmleistung darzustellen. In den USA wurden die Messungen des „voice range“ durch Arbeiten von Coleman weiter vorangetrieben (vgl. Schultz-Coulon, 1990). Dahinter steckt die Idee, die Lautstärke und Tonhöhe der Stimme in einem x/y Koordinatensystem aufzutragen

und die Leistung der Stimme eines Individuums so zu dokumentieren und zu visualisieren. Einsatzgebiete sind der Vergleich mit anderen Individuen oder Gruppen, der beispielsweise prä- und posttherapeutische Vergleich intraindividuell im zeitlichen Verlauf oder Gutachten und Stimmtauglichkeitsprüfungen (vgl. Berit Schneider-Stickler, 2013, S. 106). Kommerzielle Softwarehersteller sind WEVOSYS, KayPentax, XION Medicals und VidiVoice.

2.4.2.3.1. Ablauf der Stimmfeldmessung

Nach der Empfehlung der Union of European Phoniaticians empfiehlt es sich, die Stimmfeldmessung in einem Raum mit einer maximalen Umgebungslautstärke von 40 dB zu messen. Der Mund-zu-Mikrophon-Abstand sollte 30 cm betragen und die durch die Messgeräte erfassten Werte in ein Diagramm eingetragen werden. Auf der y-Achse ist der Schalldruckpegel in dB und auf der x-Achse die Frequenz in Hertz oder Halbtönen abgebildet (vgl. Schutte, 1983).

2.4.2.3.2. Das Sprechstimmfeld

Zur Messung des Sprechstimmfelds spricht die Proband*in einzelne Worte ein, die bestenfalls keinen emotionalen Kontext haben. So empfehlen sich Zahlen in vier Phonationsstärken:

1. in der leisesten möglichen stimmhaften, nicht geflüsterten Lautstärke
2. in ungespannter, normallauter Stimmlage
3. in einer mittellauten Vortragsstimme
4. in einer Rufstimme. Hier sollte Schreien vermieden werden.

Es lassen sich so folgende Parameter bestimmen:

1. die Grundfrequenz und der Schalldruckpegel für die vier Lautstärken
2. der Umfang von Frequenz und Schalldruckpegel zwischen leisester und lautester Phonation
3. die begleitende Tonhöhenzunahme bei Zunahme der Sprechlautstärke
4. die tiefsten und höchsten aufgezeichneten Werte bei Frequenz und Intensität (Schneider-Stickler, 2016, S.)

Abbildung 8 zeigt exemplarisch das Sprechstimmfeld eines Jungen, der an der vorliegenden Studie teilgenommen hat. In der Y-Achse findet sich die Intensität (SPL = Sound Pressure Level) in Dezibel und auf der X-Achse die Frequenz in Hertz. Die drei Kreuze markieren die Mittelwerte der 4 Testlautstärken, links findet sich die leiseste mögliche Stimme (S), gefolgt von der ungespannten Stimmlage (N), gefolgt von der mittellauten Stimme (L) und schließlich der Rufstimme (Δ).

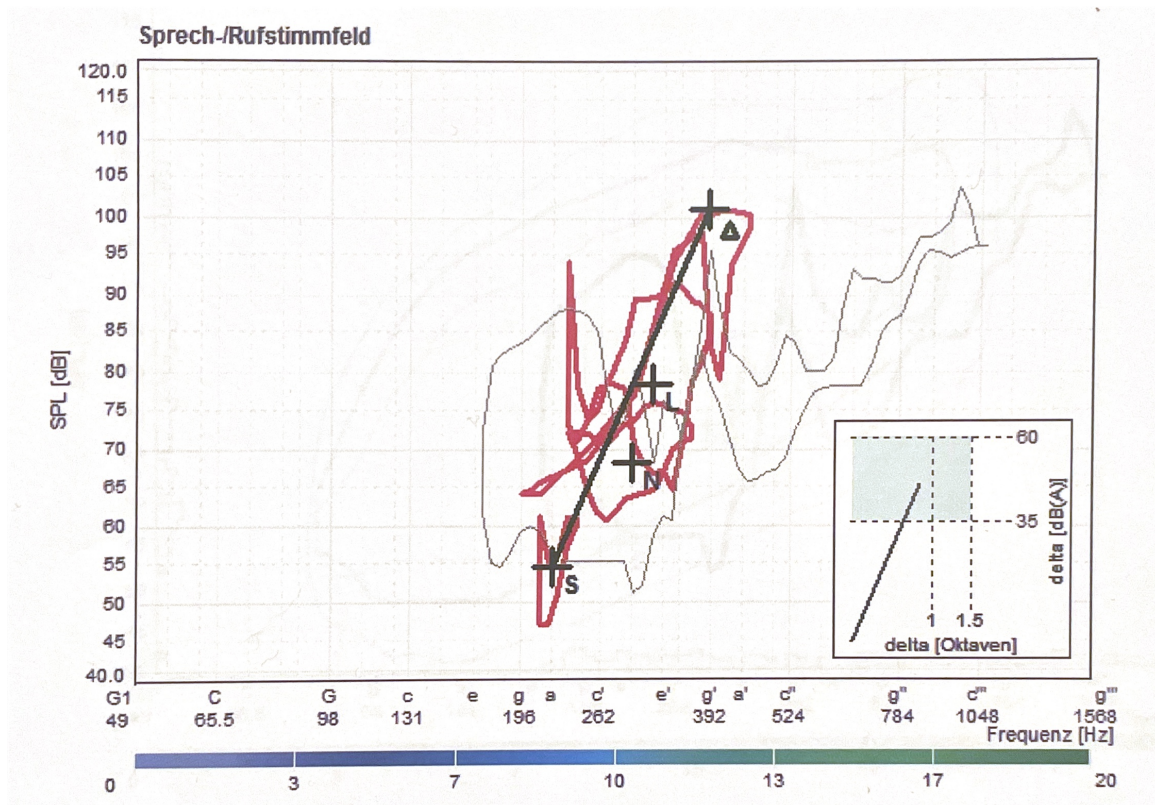


Abbildung 8: Sprechstimmfeld exemplarisch

2.4.2.3.3. Das Singstimmfeld

Um die Singstimme messen zu können, werden die Proband*innen aufgefordert, eine auf- und absteigende Tonleiter bis zur höchsten und tiefsten Grenze des Stimmumfangs so leise und so laut wie möglich zu singen. Hierzu dient der Ton /a:/ z. B. auf einer C-Dur-Tonleiter, beginnend bei c1 (262 Hz) für Frauen und c (131 Hz) für Männer. Verbindet man die entstandenen Endpunkte im Koordinatenfeld, so erhält man ein Stimmfeld und verbindet man diese nicht, so erhält man ein Stimmprofil.

Die bestimmten Parameter sind:

1. der Tonhöhenumfang von je leiser und lauter Stimme in Hertz und Halbtönen
2. der minimaler Schalldruckpegel bei leisem Singen und maximaler Schalldruckpegel bei lautem Singen und der dazwischenliegende Dynamikbereich
3. die minimal und maximal erreichte Tonhöhe und der dazwischenliegende Dynamikbereich
(Schneider-Stickler, 2016)

Abbildung 9 zeigt das Singstimmfeld desselben Kindes wie in Abbildung 8, auch hier findet sich auf der Y-Achse die Intensität in Dezibel und auf der X-Achse die Frequenz in Hertz. Die Werte des Sprechstimmfelds sind grau hinterlegt. Im vorliegenden Singstimmfeld zeigt sich ein Intensitätsumfang von 69 dB und ein Frequenzumfang von 900,3 Hz bzw. 32 Halbtönen.

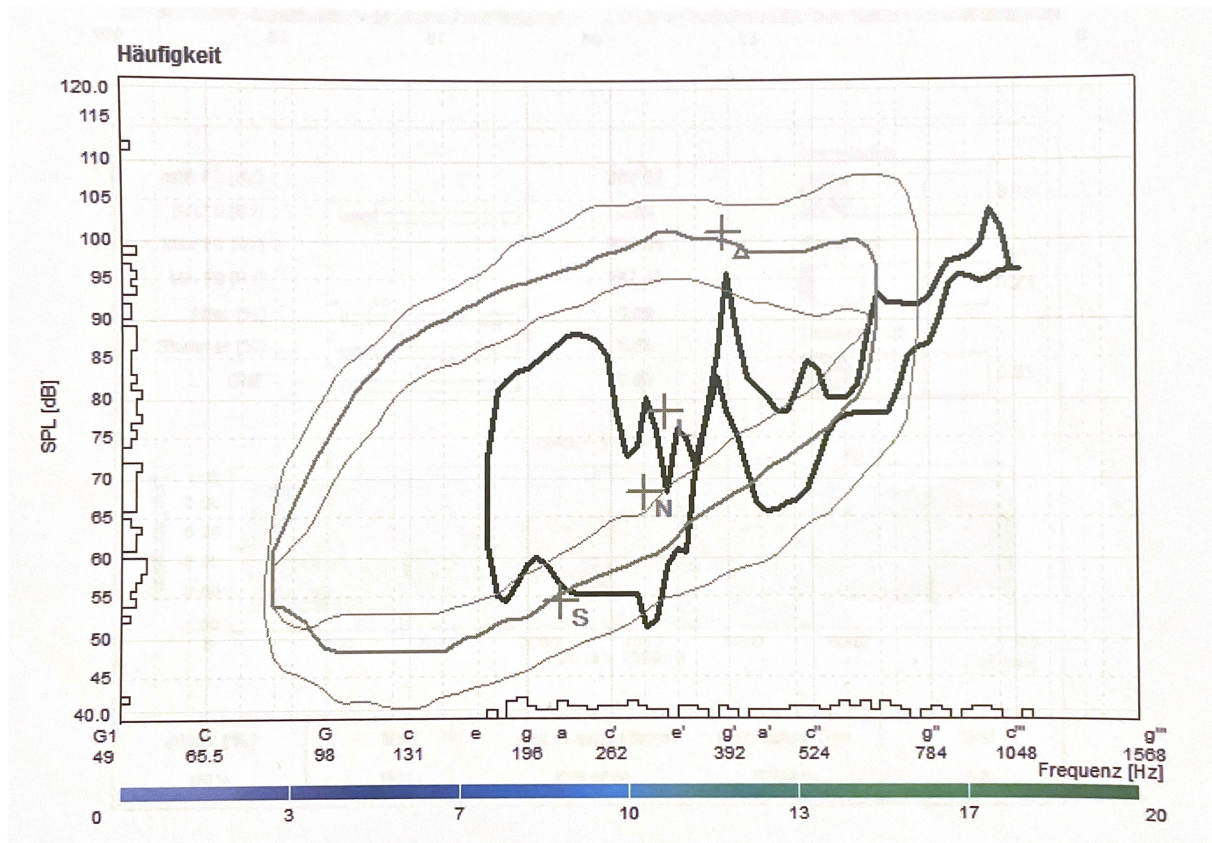


Abbildung 9: Singstimmfeld exemplarisch

2.4.2.4. Der Dysphonia Severity Index

Um die Schwere der Stimmstörung, die anhand der apparativen Messungen ermittelt wurde, mit einem objektiven Wert zu versehen, wurde der Dysphonia Severity Index eingeführt. Dieser errechnet sich aus der höchsten Frequenz (F_0 -High) und der niedrigsten Intensität (I-Low) im Stimmfeld sowie der maximalen Phonationszeit (MPT) und dem Jitter anhand folgender Gleichung: $DSI = 0.13 \times MPT + 0.0053 \times F_0\text{-High} - 0.26 \times I\text{-Low} - 1.18 \times \text{Jitter} (\%) + 12.4$. Eine gesunde Stimme erreicht einen Wert um +5, je krankhafter die Stimme, desto geringer der erreichte Wert, dieser kann minimal -5 erreichen. Anhand des DSI können stimmtherapeutische Eingriffe oder stimmtherapeutisches Training im Langzeitverlauf am Individuum evaluiert und verglichen werden (vgl. Wuyts, 2000). Der DSI wurde für Personen ab 18 Jahren etabliert, da hier die Stimmreife abgeschlossen ist. Bei Kindern eignet er sich nicht als objektiver Parameter, da die MPT abhängig von der pulmonalen Leistung ist und diese im Kindesalter einer großen Variabilität unterliegt (vgl. Finger, 2021, Cielo 2008).

2.4.2.5. Normwerte der apparativen Stimmmessung

Die Etablierung von Normwerten in der Stimmprofilmessung ist von großem Interesse für Klinik und Forschung. Hier soll nur auf Testungen von Kindern eingegangen werden. Bislang wurden mit dieser Zielsetzung akustische Messungen mit nur wenigen Stimmparametern, wie der Grundfrequenz und MPT, an Patientenkollektiven mit bis zu 212 Kindern durchgeführt (vgl. Kent et al., 2021) (vgl. Fitch and Holbrook, 1970). 1995 wurden die Daten der Stimmprofile von 277 Kindern im Alter von 5 bis 14 Jahren veröffentlicht (vgl. Böhme, 1995). Wuyts et al. veröffentlichten 2003 eine Studie, in der Stimmfeldmessungen

von 94 stimmgesunden Kindern mit denen von 136 dysphonen Kindern verglichen wurden (vgl. Wuyts, 2003).

Seit der Veröffentlichung der Studienergebnisse, die von Berger et al. im Rahmen der LIFE-Studie in Leipzig erhoben wurden, stehen erstmalig Normdaten zum Voice Range Profile nach ELS-Standard an einem Patientenkollektiv von 2639 Kindern und Jugendlichen für die Sprechstimmprofile und von 1578 Kindern und Jugendlichen für die Singstimmprofile zur Verfügung (vgl. Berger, 2019, Dienerowitz, 2021).

2.4.3. Die subjektive Stimmbewertung

Zur Bewertung der eigenen Stimmqualität haben sich insbesondere die Fragebögen VHI (Voice Handicap Index) und VRQL (Voice Related Quality of Life) etabliert, die anhand von Items abfragen, inwiefern ein Individuum durch seine Stimmstörung in seiner Lebensqualität und Aktivität bzw. der Teilhabe am Leben eingeschränkt ist. Für Kinder müssen angepasste Fragebögen genutzt werden. In mehreren Ländern wurde ein angepasster VHI als Elternfragebogen über beobachtete Stimme und Sprechverhalten des Kindes validiert. Instrumente zur Bewertung der stimmbezogenen Lebensqualität für pädiatrische Patient*innen wurden mit dem Pediatric Voice Outcome Survey (PVOS) (Hartnick, 2003) und der Pediatric Voice Related Quality of Life (PVRQL) (Boseley, 2006) etabliert. Beim PVRQL-Fragebogen werden die Eltern neben den Einschränkungen der Funktion auch zu den stimmbezogenen sozialen und emotionalen Einschränkungen ihrer Kinder befragt.

2.5. Kindliche Sprachentwicklungsstörungen

Störungen der Kommunikation können neben dem Instrument Stimme auch die damit ausgeübte Sprache und ihre Entwicklung betreffen. Die Prävalenz kindlicher Sprachentwicklungsstörungen wird auf bis zu 10 % geschätzt (Grimm, 2004). Diese sollten frühzeitig erkannt und therapiert werden, um Einschränkungen der weiteren Entwicklung in der Schule, im sozialen Umfeld und der psychosozialen Entwicklung zu vermeiden (vgl. AWMF-LL., Therapie Sprachentwicklungsstörungen, 2022) (vgl. Dippold, 2021).

Hierfür sollte beobachtet werden, ob ein Kind sich in einer physiologischen Phase der Sprachentwicklung befindet. Die Sprachentwicklung wird in eine präverbale und eine verbale Phase unterteilt. Die präverbale Phase umfasst die Schreiphase, die Gurrphase und die erste Lallphase mit ersten Lauten und die zweite Lallphase mit Silben und darauffolgendes Babbeln bis ca. zum 12. Lebensmonat (vgl. AWMF-LL SES bei Kindern, 2010). Danach sollten die Kinder beginnen, einzelne Worte zu äußern. Ungefähr ab dem 24. Lebensmonat sollten sie einen Wortschatz von mindestens 50 Wörtern besitzen und Zwei-Wort-Äußerungen produzieren lernen. Zum 36. Lebensmonat sollten Drei-Wort-Sätze möglich sein. Das Kind sollte danach weiter seinen Wortschatz ausbauen, diesen richtig einsetzen und eine grammatikalisch richtige Satzstruktur erlernen. Die Artikulation sollte sich zusätzlich verbessern (vgl. AWMF-LL SES bei Kindern, 2010) (vgl. Wendlandt, 2017). Bei signifikanter Abweichung der kindlichen Sprachentwicklung spricht man, je nach Alter des Kindes, von einer Sprachentwicklungsverzögerung, wenn diese bis zum 36. Lebensmonat besteht und einer Sprachentwicklungsstörung, wenn diese nach dem 36. Lebensmonat fortbesteht.

Um die Diagnose einer Sprachentwicklungsstörung zu stellen und ihren Schweregrad zu ermitteln, müssen die rezeptive und produktive Sprachebenen untersucht werden (vgl. Zorowka, 2013). Die Untersuchung erfolgt anhand einer Testbatterie, die je nach Praxis, Klinik oder Zentrum individualisiert ist.

Diese umfassen:

1. die phonetisch-phonologische Ebene: Artikulation, Lautbildung
2. die semantisch-lexikalische Ebene: Wortschatz, Wortbedeutungen
3. die morphologisch-syntaktische Ebene: Grammatik und Satzbau
4. die pragmatisch-kommunikative Ebene: Dialogfähigkeit, Kontaktfähigkeit

An der Universitätsmedizin Mainz wird die Sprachentwicklung von geschulten Logopäd*innen in regelrecht, leicht-, mittel-, schwer- und schwerstgradig gestört eingeteilt. Hierzu dienen die Untersuchungen mittels dem „Aktiver Wortschatztest für 3- bis 5-jährige Kinder“ (AWST-R) (Kiese-Himmel, 2005) bzw. der „Wortschatz- und Wortfindungstest für 6- bis 10-jährige (WWT 6-10) (Glück, 2011). Das grammatikalische Verständnis wird durch das Ravensburger Dysgrammatiker-Prüfmaterial (Frank, 1978) und das Sprachverständnis anhand des TROG-D (Test zur Überprüfung des Grammatikverständnisses), (vgl. Fox-Boyer, 2020) bewertet. Die Artikulation („Mainzer Lautbefund“) und die Pragmatik werden als subjektive Tests von den Logopäd*innen bewertet. Zusätzlich wird eine Einschätzung zur intellektuellen Leistungsfähigkeit des Kindes vorgenommen. Diese erfolgt durch einen Psychologen oder eine Psychologin anhand nonverbaler Intelligenztests (vgl. Hebbel, 1976, Melchers, 1994, Raven, 1962, Tellegen, 1996) zusammen mit der Eigen- und Fremdanamnese.

Anhand ihrer Ursache unterscheidet man umschriebene Sprachentwicklungsstörungen, bzw. spezifische Sprachentwicklungsstörungen und Sprachentwicklungsstörungen bei weiteren Störungsbildern (SES). Zu den weiteren Störungsbildern zählen beispielsweise zentrale oder periphere Hörstörungen, Sehstörungen und visuelle Wahrnehmungsstörungen, taktil-kinästhetische Störungen, Fehlbildungen im Kopf-Hals-Bereich, neurologische Erkrankungen, syndromale Erkrankungen oder eine Beeinträchtigung des Intellekts. Als umschriebene Sprachentwicklungsstörungen (USES) oder spezifische Sprachentwicklungsstörungen (SSES) werden solche bezeichnet, bei denen o. g. Ursachen ausgeschlossen wurden und somit eine primäre Sprachstörung vorliegt (vgl. Wendlandt, 2017, S.91) (vgl. Schönweiler, 1992). In einer aktuellen Debatte zur Nomenklatur der SES wird von Expert*innen aus dem deutschsprachigen Raum die Einteilung nach CATALISE (Criteria and Terminology Applied to Language Impairments Synthesizing the Evidence) in die Ursache, Begleiterscheinungen und Risikofaktoren abgelehnt und eine weitere Verwendung der o. g. Nomenklatur empfohlen (vgl. Neumann, 2021).

Bei Vorliegen einer manifesten Sprachentwicklungsstörung sollte eine Therapie eingeleitet werden. Diese kann die Eltern oder Kinder in den Fokus stellen. Dies bedeutet, dass die Eltern ein Training zu sprachförderndem Verhalten, ggfs. unter Mitwirkung der Erzieher*innen im Kindergarten erhalten, oder dass das Kind direkt eine Sprachtherapie erhält. In der Regel erfolgt kein alleiniges Elterntraining, sodass in der Praxis der Schwerpunkt auf der logopädischen Therapie der Kinder liegt (vgl. AWMF-LL SES Therapie, 2022). Eine solche logopädische Behandlung sollte mit mindestens wöchentlicher Frequenz erfolgen. Hierbei ist wichtig, dass begleitende Störungsbilder und deren Diagnostik und

Therapie (Therapie einer Hörstörung, Ergotherapie, Physiotherapie) beachtet werden (vgl. AWMF-LL SES bei Kindern, 2010).

Bessert sich eine SES unter ambulanter Therapie nicht, so kann eine intensive stationäre Therapie ergänzend zur ambulanten Therapie erfolgen (vgl. Keilmann and Kiese-Himmel, 2011).

In der Abteilung für Kommunikationsstörungen der Universitätsmedizin Mainz werden Kinder im Alter ab 5 Jahren ohne Elternbetreuung stationär aufgenommen und erhalten als eine Komplexbehandlung eine intensive logopädische Einzel- und Gruppentherapie, zudem eine Wahrnehmungstherapie durch geschulte Logopäd*innen und Wahrnehmungstherapeut*innen sowie die Betreuung durch Erzieher*innen.

2.6. Kindliche Hörstörungen

Um verbal kommunizieren zu lernen, ist ein funktionierendes Hörorgan als Rezeptor unerlässlich. Bereits im Mutterleib können Feten akustische Reize wahrnehmen und auch nach der Geburt entwickelt sich das kindliche Hörsystem über mehrere Jahre weiter (vgl. Wendler, 2015, S. 366). Die Schrei- und erste Lallphase sind auch bei gehörlosen Kindern vorhanden. Die zweite Lallphase, die eine auditive Rückkopplung erfordert, erreichen diese Kinder aber nicht und sie verstummen zunehmend. Daher erfolgt die Einteilung des Auftretens von Hörstörungen in Bezug auf die Phasen der Sprachentwicklung (vgl. van Beeck Calkoen, 2019, Lieu, 2020):

1. prälinguale Hörstörung: innerhalb der ersten 12 Lebensmonate
2. perilinguale Hörstörung: innerhalb des 2. bis 4. Lebensjahres
3. postlinguale Hörstörung: ab dem 5. Lebensjahr

Prinzipiell muss unterschieden werden, ob die vorliegende Hörstörung eine Schallleitungsstörung ist, also die Fortleitung der Schallwellen durch äußeres und Mittelohr betrifft oder, ob eine Schallempfindungsstörung, d. h. ein Schaden im Bereich der Hörschnecke, des Hörnervens oder kortikaler Strukturen, vorliegt.

In der Diagnostik und Behandlung kindlicher Hörstörungen spielt die frühzeitige Erkennung via Neugeborenen-Hörscreening eine entscheidende Rolle. Um die Hörbahnreife zu ermöglichen, muss eine Therapie rechtzeitig eingeleitet werden. Ob eine Hörstörung vorliegt, sollte durch wiederholte Testungen zwischen dem 3. bis 6. Lebensmonat sicher verifiziert werden. Wird im Rahmen des universellen Neugeborenen-Hörscreenings mittels otoakustischer Emissionen (OAEs) oder Hirnstammaudiometrie (automated auditory brainstem response = AABR) ein auffälliger Befund ermittelt, so sollte dieser bis zur 12. Lebenswoche nachkontrolliert werden. Dies dient der Diagnosesicherung und der Einleitung einer Hörgeräteversorgung bzw. Indikationsstellung zur Cochlea Implantation (vgl. AWMF-LL periphere Hörstörungen, 2013). Neugeborene mit Hörstörungen sollten bis zum 6. Lebensmonat mit Hörgeräten und schon im ersten Lebensjahr mit einem Cochlea Implantat versorgt werden (vgl. Vincenti, 2014) (vgl. AWMF-LL CI Versorgung, 2020). Je früher die Intervention, desto besser sind die sprachlichen Ergebnissen bei den hörgeschädigten Kindern (vgl. Boons, 2013) (vgl. May-Mederake, 2012).

2.7. Lebensqualität bei Kommunikationsstörung

Die Relevanz zusätzlicher stimmlicher Einschränkungen von Kindern mit Kommunikationseinschränkung wird eindeutig, wenn man die Lebensqualität dieser Kinder betrachtet. In den letzten Jahren sind die gesundheitsbezogene Lebensqualität (HRQL= Health related quality of life) und die internationale Klassifizierung der Funktionsfähigkeit, Gesundheit und Behinderung (ICF= international classification of functionality, health and disease) immer mehr in den Fokus gerückt. Psychische Folgeerscheinungen somatischer Erkrankungen schaden nicht nur dem Individuum, sondern haben weitreichende ökonomische Folgen für das Gesundheitssystem und den Sozialstaat. Kinder mit CI scheinen nach Implantation und Rehabilitation wenig bis keine Einschränkungen in ihren sozialen Interaktionen zu erleben (vgl. Nicholas, 2003), (vgl. Huttunen, 2009), (vgl. Ketelaar , 2013). Jugendliche mit einer SES hingegen scheinen eine geringere Selbstachtung zu haben und empfinden mehr Stress in sozialen Interaktionen und meiden diese teilweise, selbst wenn sie ihre eigene Sozialkompetenz als normal einschätzen (vgl. Wadman, 2011, Wadman, 2008). Zusätzlich konnte in Studien eine höhere Wahrscheinlichkeit für Ängstlichkeit und Depressionen für dieses Patientenkollektiv gezeigt werden (vgl. Conti-Ramsden, 2008). Kinder und Jugendliche mit Stimmstörungen berichteten, ihre Dysphonie wahrzunehmen und auch oft auf diese angesprochen zu werden. Sie seien deswegen öfter traurig oder frustriert (Connor, 2008). In Studien zur pädiatrischen stimmbezogenen Lebensqualität (PVRQL= Pediatric voice related quality of life) konnte ein schlechteres Abschneiden dieser Kinder in Bezug auf die Lebensqualität, sowie die sozial-emotionale und physische Funktionalität gezeigt werden (vgl. Merati, 2008).

Kommunikationsstörungen können nachhaltig negativen Einfluss auf die Eltern-Kind-Interaktion haben. In Fragebogenstudien weisen Eltern von Kindern mit Sprachentwicklungsstörung oder Hörstörung schlechtere Werte zur eigenen Lebensqualität auf als die Eltern von Kindern ohne Kommunikationsstörung. Mütter zeigen eine höhere Betroffenheit als Väter, was wiederum Auswirkungen auf die kindliche Entwicklung haben kann (vgl. Aras, 2014) (vgl. Hintermair, 2006). Die Eltern kommunikationsgestörter Kinder sehen Bildungsbedarf zu diesen Krankheitsbildern insbesondere bei Gesundheitsfachpersonal, im Speziellen, wenn diese aufgrund psychischer Auffälligkeiten beim Kind aufgesucht wurde (vgl. Hobson, 2022).

2.8. Aktueller Forschungsstand zur Stimme bei Sprachentwicklungsstörung oder Hörstörung

Bisher wurden bereits einige Untersuchungen zum sprachlichen und stimmlichen Outcome von Kindern mit Cochlea Implantat durchgeführt. Zum Vergleich der akustischen und aerodynamischen Leistung hörgestörter Kinder mit einer Kontrollgruppe finden sich zwei Studien. Es liegt eine chinesische Publikation vor, in der 30 prälingual beidseitig ertaubte Kinder, welche im Alter von 4 bis 6 Jahren einseitig mit einem CI versorgt wurden, für insgesamt 24 Monate nach Implantation wiederholt getestet wurden. Es erfolgte der Vergleich mit einer Kontrollgruppe von 15 Kindern ohne Hörstörung im gleichen Alter. Getestet wurden Grundfrequenz, Jitter und Shimmer auf gehaltenem Ton /a:/, sowie die Formanten von /a:/, /i:/ und /u:/ in normaler Lautstärke und der subglottische Druck via Sonde auf /pa/. Die Autoren konnten im zeitlichen Verlauf eine Abnahme der Stimmgrundfrequenz und des subglottischen Drucks sowie bessere Werte bei Jitter und Shimmer zeigen. Dies wird durch die Autoren mit einem zunehmenden auditorischen Feedback der eigenen Stimme und resultierender Verbesserung der Stimmkontrolle erklärt (vgl. Wang, 2017).

Auch Guerrero Lopez et al. führten eine Studie zur Stimmqualität von 20 ertaubten Kindern, die mit Cochlea Implantat versorgt waren, sowie 20 ertaubten Kindern, die mit konventionellen Hörgeräten ausgestattet waren durch und verglichen sie mit 38 normalhörenden Kindern. Das Alter variierte von 5,5 bis 13,5 Jahren. Die Kinder mit CI wurden vor dem dritten Lebensjahr einseitig operativ versorgt und trugen zum Testzeitpunkt ihr CI seit mindestens 3 Jahren. Sowohl die Kinder mit Hörgerät als auch die Kinder mit CI wiesen eine kongenitale oder prälinguale schwerstgradige Hörstörung oder Ertaubung auf. Die Grundfrequenz wurde in Konversationslautstärke, lauter Stimme und Rufstimme anhand von kurzen Sprechtexten ermittelt. Auf gehaltenem Ton /a:/ wurden Variabilität in Grundfrequenz und Intensität, Jitter, Shimmer und MPT gemessen. Zudem wurde der Frequenzumfang der Singstimme ermittelt. Die Autoren konnten eine bessere Stimmqualität der Kinder, die mit Cochlea Implantat versorgt wurden im Vergleich zu den Kindern mit Hörgeräten zeigen. Die Variabilität der Grundfrequenz und Intensität sowie der Jitter und Shimmer präsentierten sich ähnlich der normalhörenden Kontrollgruppe. Diese Effekte zeigten sich mit zunehmendem Alter und somit längerer Tragedauer des CI, was von den Autoren als zunehmende Kontrolle über die laryngeale Muskulatur und Funktion interpretiert wurde. Zwischen der Grundfrequenz beim Sprechen, MPT und dem Frequenzumfang der Singstimme konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gezeigt werden (vgl. Guerrero Lopez, 2013).

Es ließen sich keine Originalarbeiten zum Thema Stimmprofile bei Kindern mit SES finden.

2.9. Ziel der Studie

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die stimmlichen Leistungsparameter von Kindern mit einer Sprachentwicklungsstörung und Kindern mit einer Hörstörung, die entweder mit Hörgerät oder CI versorgt waren, anhand einer standardisierten Stimmprofilmessung zu messen und diese mit Normwerten, die in einer großen Studie in Leipzig von Berger et al. erfasst wurden, zu vergleichen.

Es wird angenommen, dass Kinder mit Hörstörung aufgrund der schlechteren auditiven Rückkopplung die Möglichkeiten ihrer stimmlichen Leistungsfähigkeit nicht so gut ausnutzen können wie normalhörige Kinder. Dies könnte ebenso auf die Kinder mit spezifischer SES zutreffen, da sie ihre Stimme durch eine geringere Teilnahme an der verbalen Kommunikation in geringerem Maße trainieren.

3. Materialien und Methoden

3.1. Aufbau der Studie

Die Untersuchungen wurden im Zeitraum von Januar 2017 bis Dezember 2017 in der Abteilung Kommunikationsstörungen der Universitätsmedizin Mainz als prospektive Kohortenstudie in deskriptiver Intention durchgeführt. Hierfür wurden insgesamt 97 Kinder mit Sprachentwicklungsstörung und 46 Kinder mit Hörstörung im Alter von 5 bis 10 Jahren rekrutiert. Den Eltern aller Kinder, die die Einschlusskriterien erfüllten und die aufgrund der u.g. Störungsbilder in der Abteilung behandelt wurden, wurde die Studie vorgestellt und eine Teilnahme angeboten.

Die Kinder mit Sprachentwicklungsstörung befanden sich zum Untersuchungszeitpunkt als stationäre Patient*innen in der Klinik. Die Kinder mit Hörstörung kamen als ambulante Patient*innen zur Routineuntersuchung und die Stimmfelddiagnostik schloss sich hieran an. Ein Antrag zur Studiendurchführung wurde der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz vorgelegt und von dieser genehmigt. Durch den Datenschutzbeauftragten der Universitätsmedizin Mainz wurde die Speicherung aller Daten in anonymisierter Form festgelegt. Es wurde ein ärztliches Aufklärungsgespräch mit den Erziehungsberechtigten in Anwesenheit des zu untersuchenden Kindes durchgeführt. Bei Einwilligung zur Studienteilnahme wurden ein Einwilligungsfomular von den Erziehungsberechtigten und dem aufklärenden Arzt bzw. Ärztin unterzeichnet. Als Ausschlusskriterien beider Gruppen wurden geistige Behinderung, Kinder mit schwerwiegender körperlicher Behinderung, Kinder mit starker Rhinophonie, Kinder mit syndromalen Erkrankungen und Kinder mit hörbarer Dysphonie festgelegt.

3.2. Gruppe der Kinder mit Sprachentwicklungsstörung

Die Rekrutierung der Kinder mit Sprachentwicklungsstörung erfolgte nach Aufnahme zur stationären logopädischen Therapie im Schwerpunkt Kommunikationsstörungen der Universitätsmedizin Mainz. Hier werden seit 40 Jahren Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen diagnostiziert und im Rahmen einer täglichen logopädischen Intensivtherapie stationär therapiert. Ziel einer stationären Behandlung ist die Verbesserung sprachlicher Defizite und die bestmögliche sprachliche Förderung der Kinder, auch im Hinblick auf die Ermöglichung des Besuchs einer Regelschule. Nach ärztlicher Aufnahme auf der Station erfolgte das Aufklärungsgespräch und im stationären Verlauf die Stimmfelddiagnostik durch die Mitarbeiter*innen der Logopädie. Im Schwerpunktzentrum Kommunikationsstörungen erfolgt die Einteilung des Schweregrads der Sprachentwicklungsstörung anhand eines diagnostischen Verfahrens, das mittels verschiedener Tests einen Punktwert produziert. Eine kliniksinterne Tabelle ermittelt dann den Schweregrad der SES. Eine genauere Beschreibung hierzu findet sich in Kapitel 2.5.

3.3. Gruppe der Kinder mit Hörstörung

Die Kinder mit Hörstörung waren allesamt bekannte Patient*innen und wurden im Rahmen der routinemäßigen Nachuntersuchung für die Teilnahme an der Studie rekrutiert. Diese

Nachuntersuchung umfasst die Anamnese, eine ärztliche Untersuchung und eine audiologische Testung zur Überprüfung der Höreräteeinstellungen bzw. Einstellung des CI, um eine möglichst optimale Hörversorgung zu gewährleisten. Hier wurden Kinder mit einer mindestens mittelgradigen Hörstörung auf dem besserhörenden Ohr nach WHO eingeschlossen. Eine einseitige Normakusis oder eine nur leichtgradige Hörstörung einseitig waren hier ein zusätzliches Ausschlusskriterium. Die Einteilung des Schweregrads der Hörstörung erfolgte anhand der WHO-Tabelle mittels aktuellem Audiogramm (ohne Hörhilfe). Es werden die Werte des Hörverlustes in Dezibel bei den Frequenzen 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz addiert und der Mittelwert errechnet. Dementsprechend ist ein Hörverlust von 26 bis 40 dB als leichtgradig, ein Hörverlust von 41 bis 60 dB als mittelgradig, ein Hörverlust von 61 bis 80 dB als hochgradig und ein Hörverlust von über 81 dB als an Taubheit grenzend einzustufen.

3.4. Kontrollgruppe

Für die vergleichende Statistik wurden Normdaten herangezogen, die 2018 von Thomas Berger et al. an der Universität Leipzig publiziert wurden (vgl. Berger et al., 2019) (vgl. Dienerowitz et al., 2021). Hier wurden im Rahmen der LIFE-Child-Studie insgesamt 1352 männliche und 1274 weibliche Teilnehmer*innen zwischen 6 und 17 Jahren untersucht. Es wurde ebenso wie in Mainz eine Stimmfelduntersuchung nach Empfehlungen der Europäischen Laryngologischen Gesellschaft (vgl. Dejonckere et al. 2001) durchgeführt und mittlere Frequenz und Intensität für die vier subjektiven Lautstärken leise (hier Level 1), Gesprächslautstärke (hier Level 2), Klassenzimmerlautstärke (hier Level 3) und Rufstimme (hier Level 4) aufgezeichnet. Als Kontrollgruppe für die vorliegende Studie wurde aus der o. g. Studie die Gruppe der 5,5- bis 10,5-jährigen Kinder herangezogen. Diese bestand aus 572 Probanden und 497 Probandinnen.

3.5. Die Stimmtestung

3.5.1. Ablauf der Stimmtestung

Der Untersuchungsablauf zur Stimmfelddiagnostik entspricht den Empfehlungen der Europäischen Laryngologischen Gesellschaft (ELS) (vgl. Dejonckere et al. 2001) und wird seit Jahren in dieser Form in einem standardisierten Verfahren in der Klinik durchgeführt. Die Testung erfolgte durch zwei erfahrene Logopäd*innen der Klinik für Kommunikationsstörungen. Das Mikrofon wurde mit 30 cm Entfernung zum stehenden Kind auf Mundhöhe eingestellt. Mit Anleitung durch die Logopäd*in wurde das Kind gebeten, in leiser, normaler, lauter und sehr lauter Phonation von eins bis zehn zu zählen. Dies diente der Anfertigung des Sprechstimmfeldes, aus dem die Mittelwerte der Tonhöhe in Hertz und Lautstärke in Dezibel für die genannten Phonationsstärken leise (1), normal (2), laut (3) und sehr laut (4) extrahiert wurden.

Zur Anfertigung des Singstimmfeldes wurde das Kind angeleitet, sowohl in leiser als auch in lauter Phonation vom tiefsten möglichen bis zum höchsten möglichen Ton auf /a:/ zu singen. Nach Aufnahme der Stimmfelder wurde das Kind gebeten, den Laut /a:/ in normaler Tonhöhe für die längstmögliche Dauer zu halten. Dies diente zur Aufnahme von Jitter und maximaler

Phonationszeit. Die gesamte Untersuchung dauerte, je nach Konzentration und Mitarbeit des Kindes, ca. 10 bis 15 Minuten.

3.5.2. Verwendete Geräte

Die für die Stimmfelddiagnostik eingesetzten Geräte wurden seit vielen Jahren für die Routinediagnostik in der Klinik verwendet und sind hierfür geprüft und zugelassen. Als Software kam lingWaves Version 3.1.3 der Firma Wevosys zum Einsatz. Dieses Programm lief auf einem Computer der Firma Dell, Intel Core i3, mit 8GB RAM. Zur Stimmaufzeichnung wurde das Mikrophon Center 322 Sound Level Meter verwendet.

3.5.3. Erfasste Variablen

3.5.3.1. Deskriptive Variablen

Die erfassten Variablen schlossen für beide Gruppen Geburtsdatum, Alter und Geschlecht ein. In der Gruppe der Kinder mit SES wurden außerdem der Schweregrad der Sprachentwicklungsstörung von mittelgradig, schwer oder schwerste Störung sowie das zusätzliche Vorhandensein einer Hörstörung erfasst.

Bei den Kindern mit Hörstörung wurden Grad der Schwerhörigkeit des linken und rechten Ohres sowie die Art der Hörhilfenversorgung des jeweiligen Ohres aufgenommen. Ergänzend wurde das Vorhandensein einer Sprachentwicklungsstörung notiert.

3.5.3.2. Variablen der Stimmfeldmessung

Zur Aufzeichnung des Sprechstimmfelds wurden die mittlere Frequenz in Hertz und die mittlere Lautstärke in Dezibel für alle vier Phonationsstärken der Sprechstimme erfasst. Im Singstimmfeld wurden Lautheitsumfang in Dezibel und Frequenzumfang der Singstimme in Hertz und Halbtönen aufgezeichnet. Ebenso wurden Jitter und Maximale Phonationszeit (MPT) gemessen.

3.5.4. Statistische Auswertung

Die Erfassung der deskriptiven Parameter Alter, Geschlecht, Grad der Hörstörung rechts und links sowie die genutzte Hörhilfe rechts und links, eine begleitende SES bei Hörstörung, der Grad der SES und der untersuchten Stimmparameter sowie oben genannter Variablen und Merkmale erfolgte mithilfe von Microsoft Word Excel. Hiermit wurden außerdem Mittelwerte, Standardabweichungen, Median-, Maximal- und Minimalwert der Frequenzen und Lautstärken für die vier aufgezeichneten Stimmstärken berechnet und mit Microsoft Word in Tabellen eingefügt sowie zur visuellen Darstellung Tortendiagramme angefertigt.

Es wurden Boxplots zur graphischen Darstellung der untersuchten Stimmparameter mit GraphPad erstellt. Zum statistischen Vergleich der Mittelwerte für Frequenz und Intensität in den vier subjektiven Lautstärken wurden die oben beschriebenen Normdaten von Berger et al. (2018) herangezogen. Die Prüfung der Normalverteilung erfolgte nach Kolmogorov-Smirnov und es wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse (two way ANOVA) mit dem Statistik-Programm GraphPad PRISM 8 durchgeführt. Es erfolgte eine Aufteilung nach Gruppenzugehörigkeit (CI/HA und SES aus Mainz und Kontrollgruppe aus Leipzig) und nach Geschlecht. Als Post Hoc Test wurde der Dunnett-Test für multiples Testen verwendet und

das Konfidenzintervall wurde bei 95 % festgelegt. Die entsprechenden Graphen wurden ebenfalls mit GraphPad PRISM 8 erstellt.

4. Ergebnisse

4.1. Deskriptive Statistik zur Gruppe der Kinder mit Sprachentwicklungsstörung

4.1.1. Geschlechterverteilung

Insgesamt wurden 97 Kinder mit Sprachentwicklungsstörung in die Studie eingeschlossen, hiervon waren 75 % (N=73) männlich und 25 % (N=24) weiblich.

4.1.2. Altersverteilung

20 % (N=19) der teilnehmenden Kinder waren zum Testzeitpunkt 5 Jahre alt; 39 % (N=38) der Kinder waren 6 Jahre alt; 22 % (N=21) der Kinder waren 7 Jahre alt; 16 % (N=16) der Kinder waren 8 Jahre alt und 3 % (N=3) der Kinder waren 9 Jahre alt.

4.1.3. Verteilung Schweregrad Sprachentwicklungsstörung

Es hatten 21 % (N=20) der Kinder eine mittelgradige SES, 51 % (N=49) eine schwere SES und 29 % (N=28) eine schwerste SES.

4.1.4. Erhobene Parameter im Stimmfeld

Die Kinder wurden angeleitet, in vier abgestuften Lautstärken zu sprechen, in leisester möglicher, normaler, lauter Stimme, sowie Rufstimme. Für die Parameter mittlere Frequenz sowie mittlere Intensität für die vier gemessenen Lautstärken des Sprachstimmfeldes, sowie für den Umfang der Stimmfrequenzen und Stimmintensität im Singstimmfeld wurden Mittelwert, Standardabweichung, Median-, sowie Maximal- und Minimalwert errechnet.

4.1.4.1. Sprechstimmfeld bei SES männlich

Es zeigte sich im Sprechstimmfeld eine Zunahme der mittleren Intensität bei leisester Phonation von 53,7 dB (SD=4,3), auf 61,8 dB (SD=5,9) bei normaler Phonation, über 74,4 dB (SD=6,6) bei lauter Phonation und bis auf 89,2 dB (SD=8,8) bei Rufstimme.

Die mittlere Frequenz zeigte eine Zunahme von 242 Hz (SD=43,5) in der leisesten Phonationsstärke auf 263,3 Hz (SD=37,3) in normaler Phonationsstärke auf eine Frequenz von 302,8 Hz (SD 52,8) bei lauter Phonation sowie auf 348,7 Hz (SD=53,8) bei Rufstimme (vgl. Tabelle 4 und Abbildung 9,10 und 11).

4.1.4.2. Sprechstimmfeld bei SES weiblich

Im Sprechstimmfeld der Probandinnen mit SES wurden ähnliche Werte zu denen der Probanden mit SES gemessen. Bei leisester Phonation konnten niedrigere und in den restlichen drei Lautstärken etwas höheren Frequenzwerten als bei den männlichen Kinder aufgezeichnet werden. Hier zeigte sich im Sprechstimmfeld eine Zunahme der mittleren Intensität von 54,1 dB (SD=3,9) bei leisester Phonation auf 62,2 dB (SD=5,1) bei normaler Lautstärke auf 75,5 dB (SD=5,9) bei lauter Phonation und auf 91,8 dB (SD=7,1) bei Rufstimme. Die mittlere Frequenz zeigte eine Zunahme von der leisesten Phonationsstärke von 240,3 Hz (SD=37,5) auf 269,6 Hz (SD=34) in normaler Phonationsstärke und auf eine

Frequenz von 324,4 Hz (SD= 58,2) bei lauter Phonation sowie auf 360,9 Hz (SD= 49,3) bei Rufstimme (vgl. Tabelle 4 und Abbildung 9, 10 und 11).

SES Sprechstimmfeld						
	Geschlecht					
	Männlich			Weiblich		
	Mittelwert	N	SD	Mittelwert	N	SD
mF1 (Hz)	242	72	43,5	240,3	24	37,5
mF2 (Hz)	263,3	73	37,3	269,6	24	34
mF3 (Hz)	302,8	73	52,8	324,4	24	58,2
mF4 (Hz)	348,7	72	53,8	360,9	24	49,3
ml1 (dB)	53,7	72	4,3	54,1	24	3,9
ml2 (dB)	61,8	73	5,9	62,2	24	5,1
ml3 (dB)	74,4	73	6,6	75,5	24	5,9
ml4 (dB)	89,2	72	8,8	91,8	24	7,1

ml= mittlere Intensität, mF= mittlere Frequenz, SD= Standardabweichung

Tabelle 4: Sprechstimmfeld der Kinder mit SES

Anmerkung: 1-4 sind die subjektiven Lautstärken

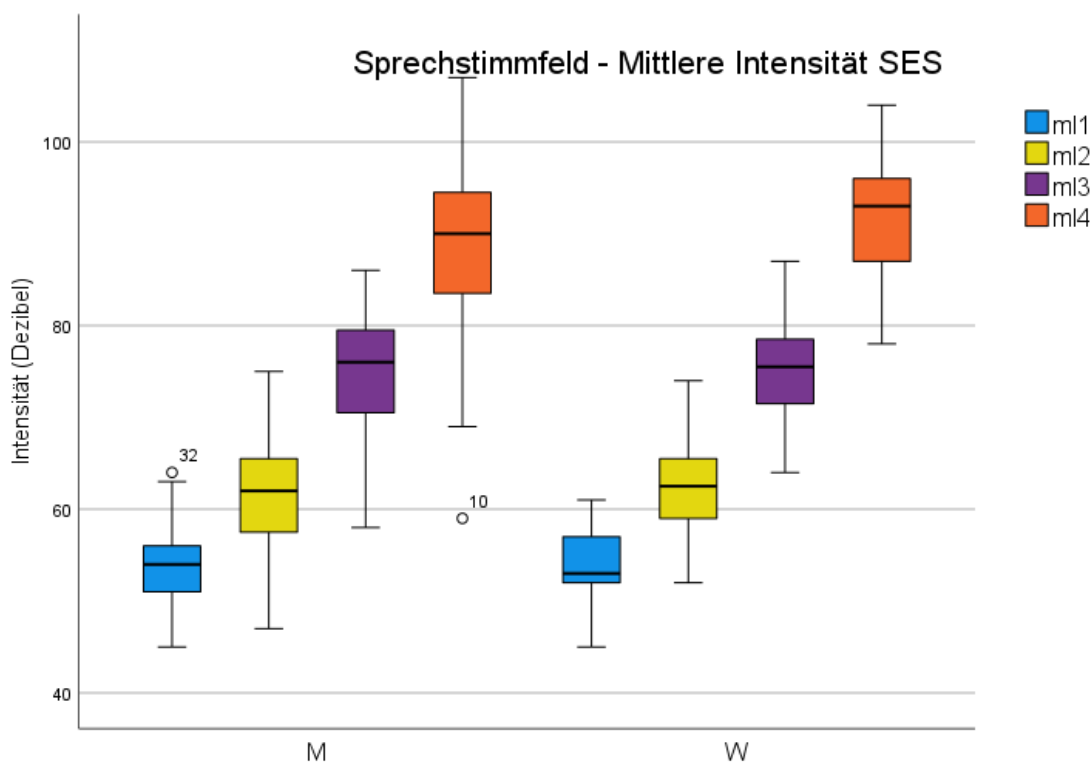


Abbildung 10: Verteilung der Intensität im Sprechstimmfeld der Kinder mit SES

Anmerkung: ml bezeichnet die mittlere Intensität, 1-4 die jeweilige subjektive Lautstärke, somit ist ml1 die mittlere Intensität bei leisest möglicher Sprechstimme

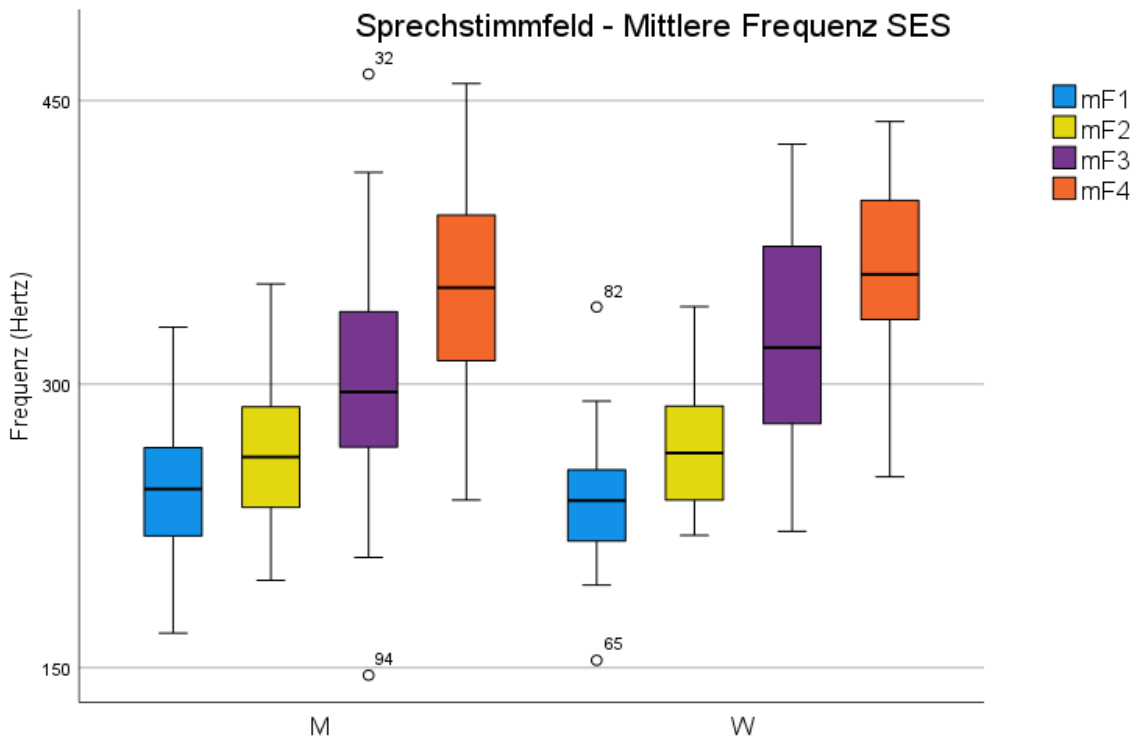


Abbildung 11: Verteilung der Frequenz im Sprechstimmfeld der Kinder mit SES

Anmerkung: mF bezeichnet die mittlere Frequenz, 1-4 die jeweilige subjektive Lautstärke, somit ist mF1 die mittlere Frequenz bei leisest möglicher Sprechstimme

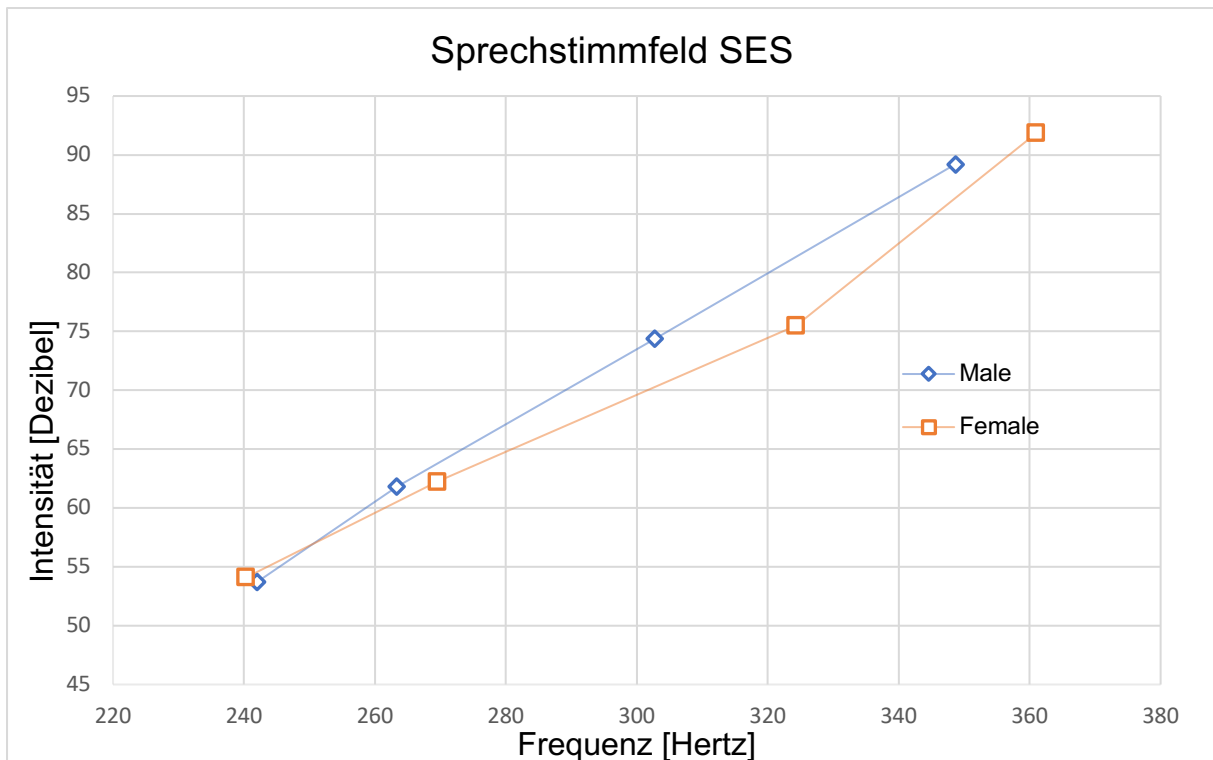


Abbildung 12: Zusammenhang von Intensität und Frequenz im Sprechstimmfeld der Kinder mit SES

Anmerkung: die vier Punkte entsprechen den subjektiven Lautstärken 1-4

4.1.4.3. Singstimmfeld bei SES männlich

Im Singstimmfeld ließ sich ein mittlerer Intensitätsumfang von 40,3 dB zwischen leisester und lautester Intensität ermitteln, mit einer SD von 12,2 dB. Im Frequenzumfang zeigte sich ein Unterschied zwischen Minimal- und Maximalwerten mit einem mittleren Wert von 20,8 Halbtönen und einer SD von 8,3 HT bzw. 503,8 Hz und SD=289,4 Hz (vgl. Tabelle 5 sowie Abbildung 12, 13 und 14). Die aufgezeichneten Leistungen im Singstimmfeld unterlagen großen individuellen Schwankungen, was sich hier in der Standardabweichung zeigen lässt.

4.1.4.4. Singstimmfeld bei SES weiblich

Im Singstimmfeld ließ sich ein mittlerer Intensitätsumfang von 42,2 dB mit Standardabweichung von 11,9 dB auswerten. Ähnlich zur männlichen Untergruppe wurde im Frequenzumfang der Singstimme ein Unterschied zwischen Minimal- und Maximalwerten mit einem mittleren Wert von 22,8 Halbtönen mit einer Standardabweichung von 8,7 HT bzw. 584,5 Hz und einer Standardabweichung von 291,2 Hz ermittelt (vgl. Tabelle 5, sowie Abbildung 12, 13 und 14).

SES Singstimmfeld						
	Geschlecht					
	Männlich			Weiblich		
	Mittelwert	N	SD	Mittelwert	N	SD
Δ Ising (dB)	40,1	73	12,2	41,8	24	11,9
Δ Fsing (HT)	20,7	73	8,3	22,1	24	8,7
Δ Fsing (Hz)	501,1	73	289,4	527,4	24	291,2

dB= Dezibel, HT= Halbtöne, Hz= Hertz, SD= Standardabweichung, Δ = Differenz Minimal- und Maximalwert, Ising= Intensität Singstimme, Fsing= Frequenz Singstimme

Tabelle 5: Singstimmfeld der Kinder mit SES, Intensitäts- und Frequenzumfang

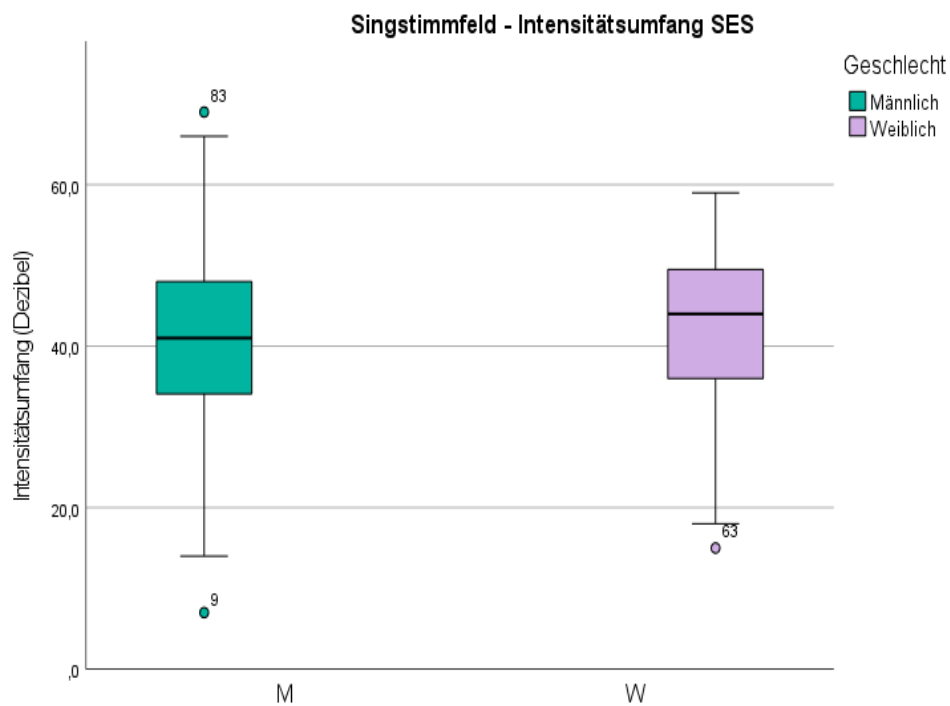


Abbildung 13: Singstimmfeld Intensitätsumfang der Kinder mit SES

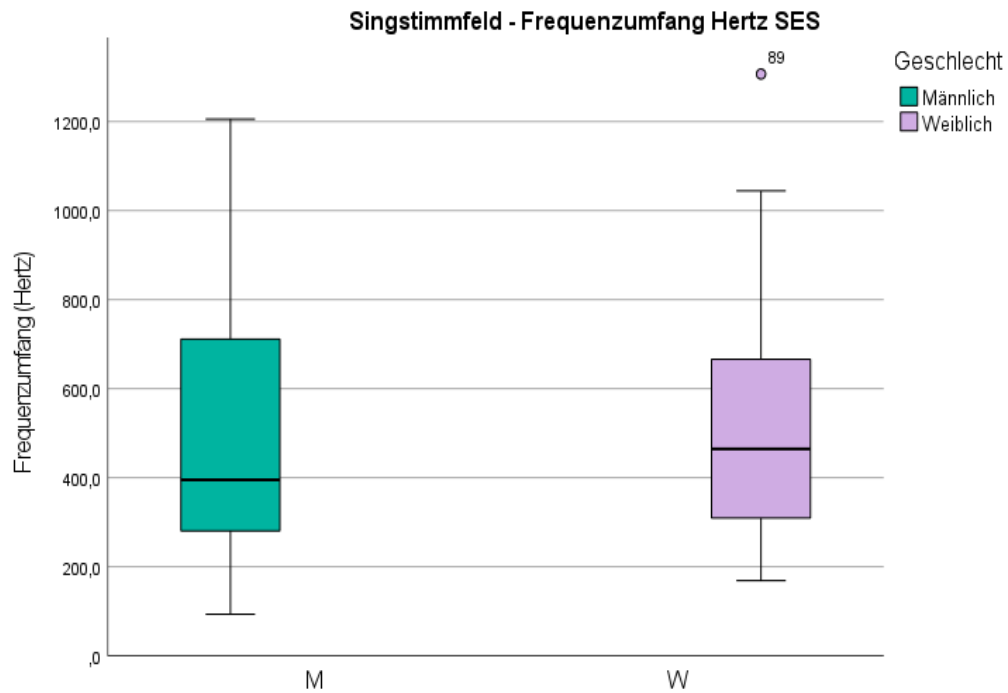


Abbildung 14: Singstimmfeld Frequenzumfang in Hertz der Kinder mit SES

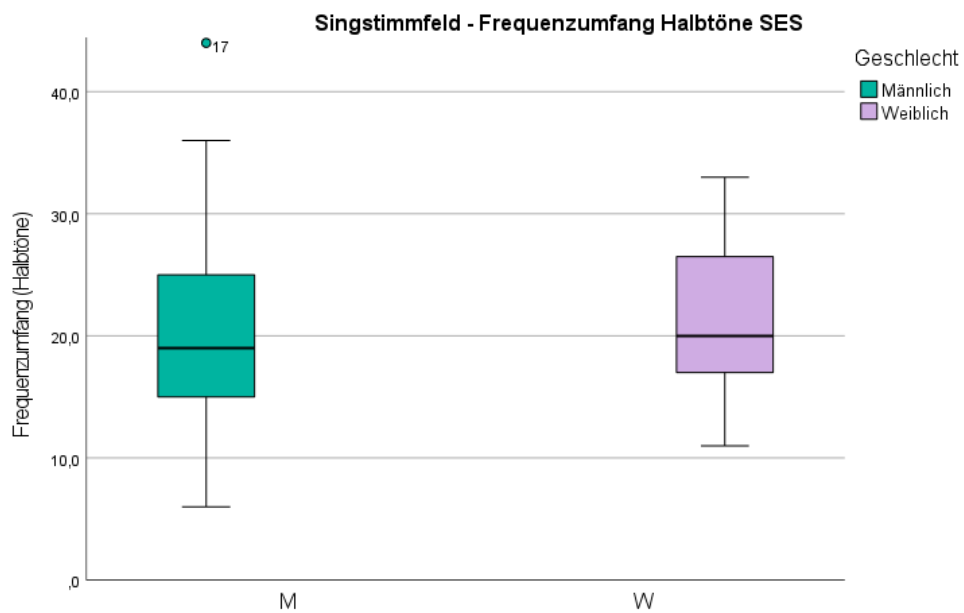


Abbildung 15: Singstimmfeld Frequenzumfang in HT der Kinder mit SES

4.2. Deskriptive Statistik zur Gruppe der Kinder mit Hörstörung

4.2.1. Geschlechterverteilung

Insgesamt wurden 46 Kinder mit Hörstörung in die Studie eingeschlossen, hiervon waren 52 % (N=24) männlich und 48 % (N=22) weiblich.

4.2.2. Altersverteilung

Wir konnten 11 % (N=5) Kinder im Alter von 5 Jahren; 20 % (N=9) Kinder im Alter von 6 Jahren; 22 % (N=10) Kinder im Alter von 7 Jahren; 20 % (N=9) Kinder im Alter von 8 Jahren; 13 % (N=6) Kinder im Alter von 9 Jahren und 15 % (N=7) Kinder im Alter von 10 Jahren in die Studie einschließen.

4.2.3. Schweregrad Hörstörung und Hörhilfen-Versorgung

Nach WHO-Kriterien bestand eine mittelgradige Hörminderung bei 24 % (N=11) der Kinder rechtsseitig sowie 24 % (N=11) der Kinder linksseitig, eine hochgradige Hörminderung bestand bei 30 % (N=14) der Kinder rechtsseitig und 26 % (N=12) der Kinder linksseitig, eine Hörrestigkeit bestand bei 46 % (N=21) der Kinder rechtsseitig und 50 % (N=23) der Kinder linksseitig (vgl. Abbildung 16 und 17).



Abbildung 16: Grad der Hörstörung rechts Abbildung 17: Grad der Hörstörung links

16 der Kinder (35 %) waren beidseits CI versorgt, 24 der Kinder (52 %) waren beidseits mit Hörgerät ausgestattet, 5 der Kinder (11 %) waren einseitig Hörgerät- und einseitig CI-versorgt und 1 Kind (2 %) hatte nur ein einseitiges CI (vgl. Abbildung 18).

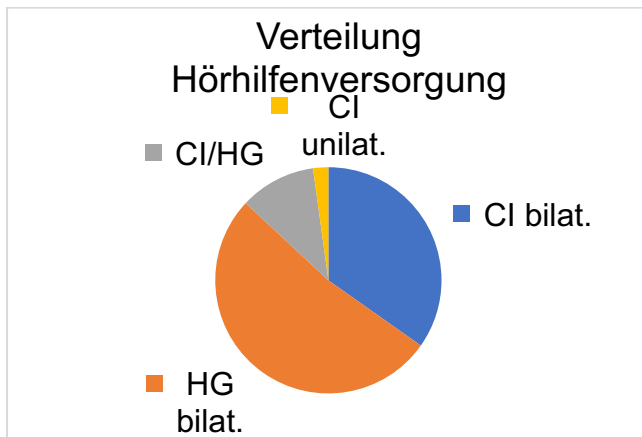


Abbildung 18: Verteilung der Hörhilfenversorgung

4.2.4. Begleitende Sprachentwicklungsstörung

72 % (N=33) der Kinder hatten eine begleitende Sprachentwicklungsstörung. Keine begleitende SES wiesen 28 % (N=13) der Kinder auf.

4.2.5. Erhobene Parameter im Stimmfeld

Für die Parameter mittlere Frequenz sowie die mittlere Intensität für die vier gemessenen Lautstärken des Sprechstimmfeldes als auch für den Umfang der Stimmfrequenzen und Stimmintensität im Singstimmfeld wurden Mittelwert, Standardabweichung, Median-, sowie Maximal- und Minimalwert errechnet.

4.2.5.1. Sprechstimmfeld bei Hörstörung männlich

Hier zeigte sich im Sprechstimmfeld eine Zunahme der mittleren Intensität bei leisester Phonation mit 52,2 dB (SD=3,5) und 62,1 dB (SD=4,2) bei normaler Lautstärke sowie 71,9 dB (SD=6,5) bei lauter Phonation und auf 88,7 dB (SD=7,1) bei Rufstimme. Die mittlere Frequenz zeigte eine Zunahme von der leisesten Phonationsstärke von 239,9 Hz (SD=40,8), auf 252,7 Hz (SD=27,2) in normaler Phonationsstärke auf eine Frequenz von 287,9 Hz (SD=52,4) bei lauter Phonation sowie auf 338,6 Hz (SD=63,5) bei Rufstimme (vgl. Tabelle 6 sowie Abbildung 19, 20 und 21).

4.2.5.2. Sprechstimmfeld bei Hörstörung weiblich

Hier zeigte sich im Sprechstimmfeld eine Zunahme der mittleren Intensität von 52,2 dB (SD=4,4) bei leisester Phonation auf 61,3 dB (SD=5,9) bei normaler Phonation und 70,2 dB (SD=7,82) bei lauter Phonation sowie auf 88,4 dB (SD=10,1) bei Rufstimme. Die mittlere Frequenz nahm von der leisesten Phonationsstärke von 243,8 Hz (SD=25,5) auf 260,4 Hz (SD=45,1) in normaler Phonationsstärke zu, um eine Frequenz von 284,7 Hz (SD=49,3) bei lauter Phonation, sowie 349,4 Hz (SD=49,5) bei Rufstimme zu erreichen (vgl. Tabelle 6, sowie Abbildung 19, 20 und 21)

CI/HA Sprechstimmfeld						
	Geschlecht					
	Männlich			Weiblich		
	Mittelwert	N	SD	Mittelwert	N	SD
mF1 (Hz)	239,9	24	40,8	243,8	22	25,5
mF2 (Hz)	252,7	24	27,2	260,4	22	45,1
mF3 (Hz)	287,9	24	52,4	284,7	22	49,3
mF4 (Hz)	338,6	24	63,5	349,4	22	49,5
mI1 (dB)	52,2	24	3,5	52,2	22	4,4
mI2 (dB)	62,1	24	4,2	61,3	22	5,9
mI3 (dB)	71,9	24	6,5	70,2	22	7,8
mI4 (dB)	88,7	24	7,1	88,4	22	10,1

ml= mittlere Intensität, mF= mittlere Frequenz, SD= Standardabweichung

Tabelle 6: Sprechstimmfeld der Kinder mit CI/HA
 Anmerkung: 1-4 bezeichnet die subjektiven Lautstärken

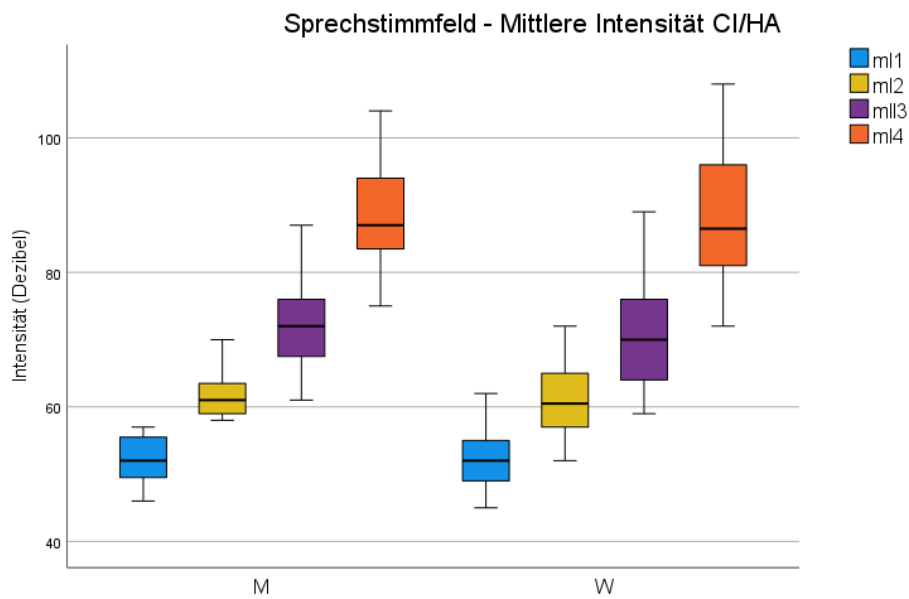


Abbildung 19: Verteilung der Intensität im Sprechstimmfeld der Kinder mit CI/HA

Anmerkung: ml bezeichnet die mittlere Intensität, 1-4 die jeweilige subjektive Lautstärke, somit ist ml1 die mittlere Intensität bei leisest möglicher Sprechstimme

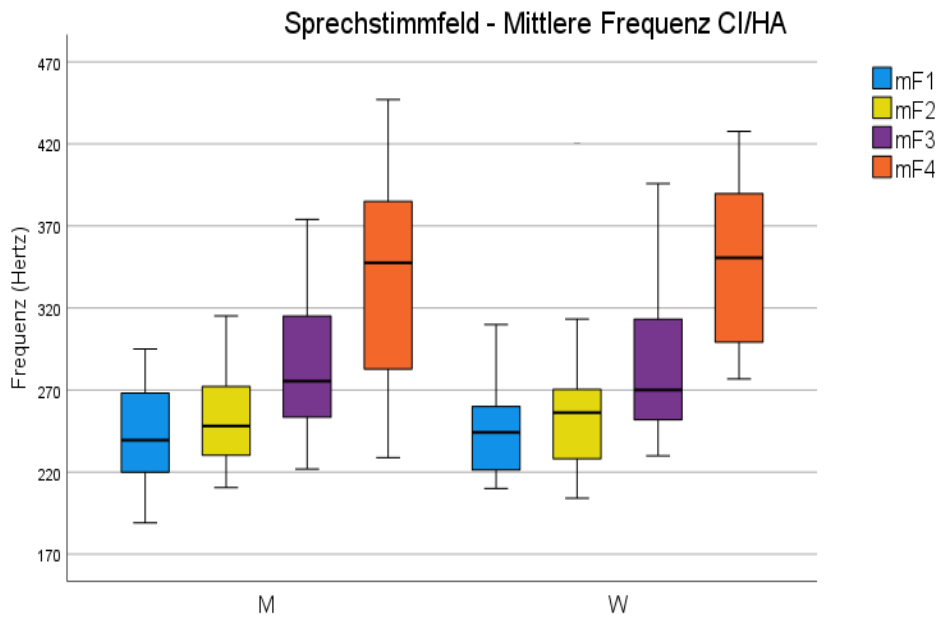


Abbildung 20: Verteilung der Frequenz im Sprechstimmfeld der Kinder mit CI/HA

Anmerkung: mF bezeichnet die mittlere Frequenz, 1-4 die jeweilige subjektive Lautstärke, somit ist mF1 die mittlere Frequenz bei leisest möglicher Sprechstimme

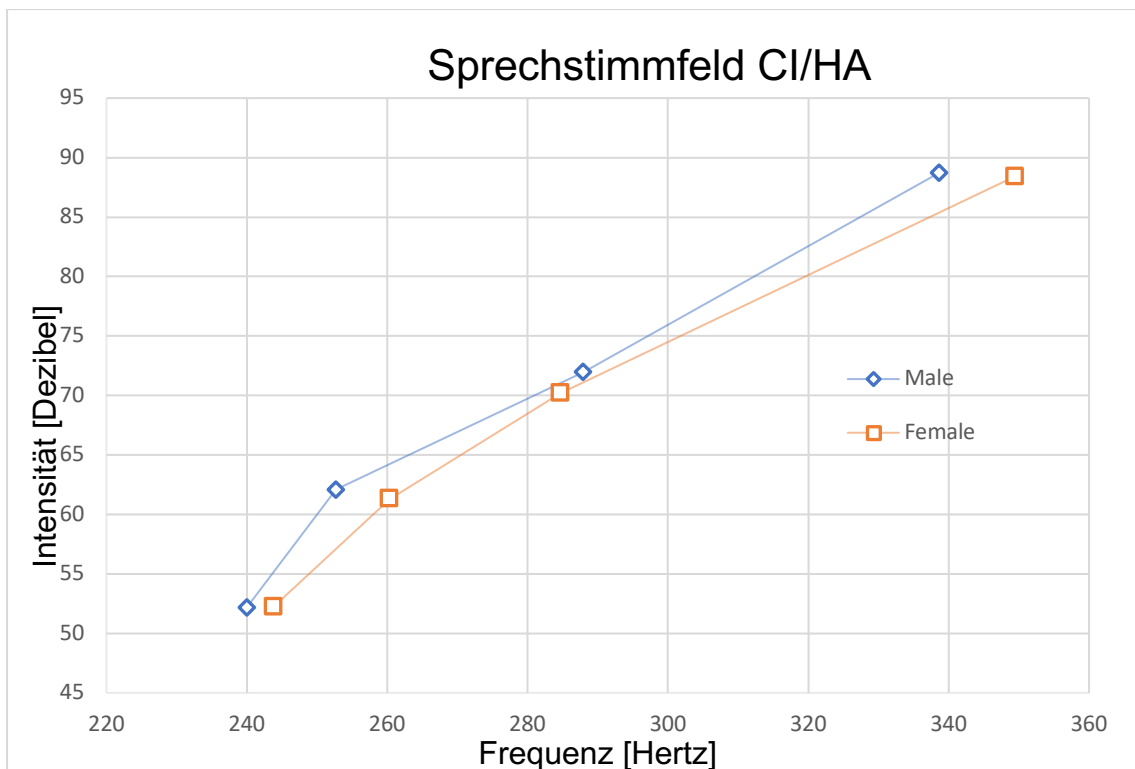


Abbildung 21: Zusammenhang von Frequenz und Intensität Sprechstimmfeld der Kinder mit CI/HA

Anmerkung: die vier Punkte entsprechen den subjektiven Lautstärken 1-4

4.2.5.3. Singstimmfeld bei Hörstörung männlich:

Im Singstimmfeld ließ sich ein mittlerer Intensitätsumfang von 37,5 dB (SD=7,1) auswerten. Im Frequenzumfang der Singstimme wurde, ähnlich der Gruppe der Kinder mit SES, ein Unterschied zwischen Minimal- und Maximalwerten von im Mittel 19,5 Halbtönen mit SD=5,1 HT bzw. 417,9 Hz und SD=165,9 Hz ermittelt (vgl. Tabelle 7 sowie Abbildung 22, 23 und 24).

4.2.5.4. Singstimmfeld bei Hörstörung weiblich

Im Singstimmfeld ließ sich ein mittlerer Intensitätsumfang von 35,7 dB auswerten (SD=7,7). Wiederum wurde im Frequenzumfang der Singstimme ein Unterschied zwischen Minimal- und Maximalwerten ermittelt, mit einem mittleren Wert von 18,8 Halbtönen bzw. 408,9 Hz und SD von 5,9 HT und 238,4 Hz (vgl. Tabelle 7 sowie Abbildung 22, 23 und 24).

CI/HA Singstimmfeld						
	Geschlecht					
	Männlich			Weiblich		
	Mittelwert	N	SD	Mittelwert	N	SD
Δ Ising (dB)	37,5	24	7,1	35,7	22	7,7
Δ Fsing (HT)	19,5	24	5,1	18,8	22	5,9
Δ Fsing (Hz)	417,9	24	165,9	408,9	22	238,4

dB= Dezibel, HT= Halbtöne, Hz= Hertz, SD= Standardabweichung, Δ = Differenz Minimal- und Maximalwert, Ising=Intensität Singstimme, Fsing= Frequenz Singstimme

Tabelle 6: Singstimmfeld der Kinder mit CI/HA, Intensitäts- und Frequenzumfang

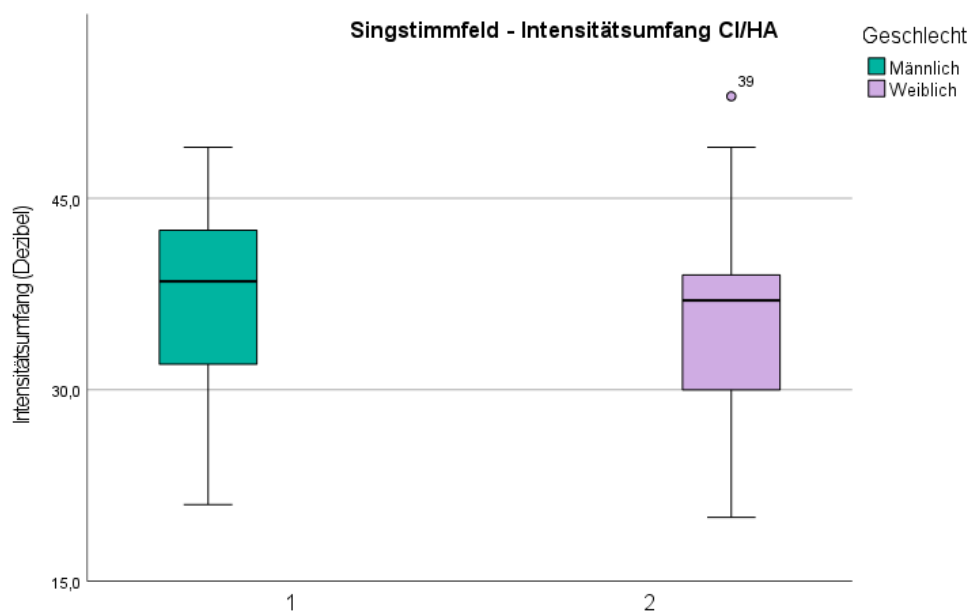


Abbildung 22: Singstimmfeld Intensitätsumfang CI/HA

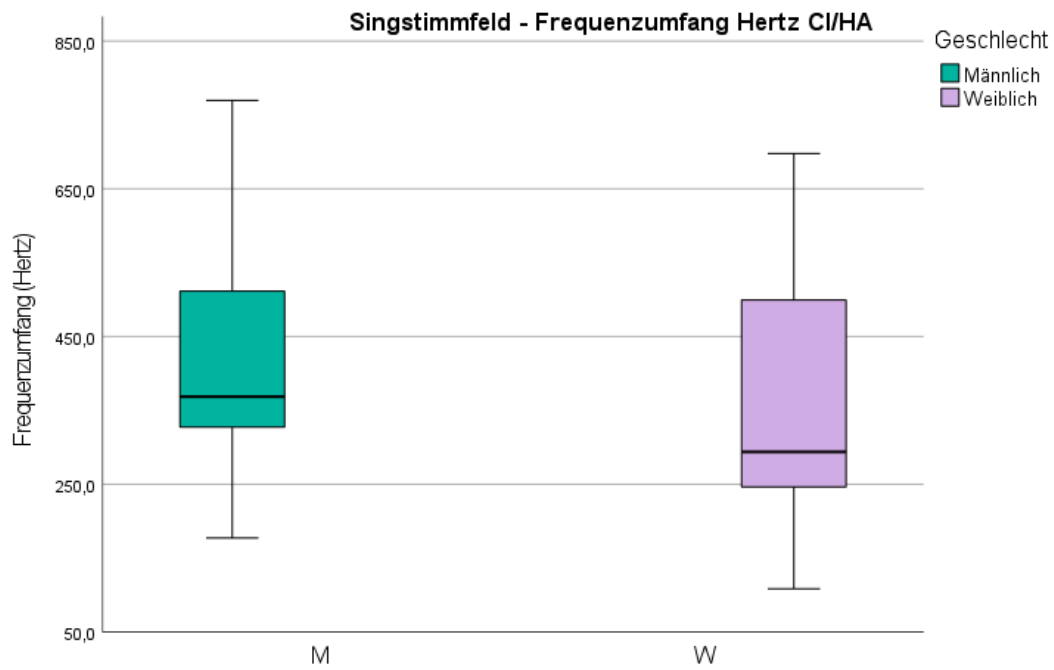


Abbildung 23: Singstimmfeld Frequenzumfang (Hz) der Kinder mit CI/HA

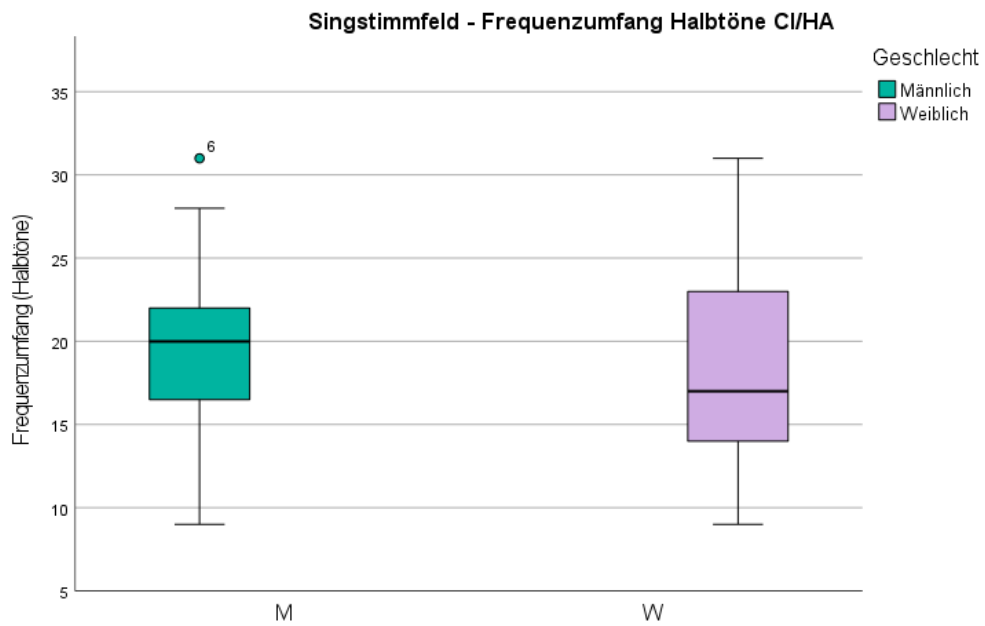


Abbildung 24: Singstimmfeld Frequenzumfang (HT) der Kinder mit CI/HA

4.3. ANOVA-Vergleich der Mittelwerte im Sprechstimmfeld:

Zum Vergleich der Mittelwerte von Frequenz und Intensität für die 4 verschiedenen subjektiven Lautstärken leise (entsprechend Level 1 in der Kontrollgruppe), normal (entsprechend Level 2 in der Kontrollgruppe), laut (entsprechend Level 3 in der Kontrollgruppe) und Rufstimme (entsprechen Level 4 in der Kontrollgruppe) wurde eine Two-Way ANOVA der Kontrollgruppe gegen jeweils die Gruppe der Kinder mit Hörstörung und die Gruppe der Kinder mit Sprachentwicklungsstörung, aufgeteilt nach Geschlecht, durchgeführt. Die Darstellung der P-Werte in den Diagrammen erfolgte mittels Asterisken, mit nachfolgender Einteilung: * bezeichnet einen P-Wert < 0,05, ** einen P-Wert < 0,01, *** einen P-Wert <0,001 sowie **** einen P-Wert <0,0001.

4.3.1. Leise Stimme/Level 1

Die mittlere Stimmfrequenz der weiblichen Kontrollgruppe (N=497) in Level 1 betrug 204,5 Hz mit einer Standardabweichung von 41,5 Hz sowie 197 Hz mit einer Standardabweichung von 39,2 Hz; bei der männlichen Kontrollgruppe (N=572). Im Vergleich mit den Gruppen der Kinder mit SES und Hörstörung zeigte sich sowohl in der weiblichen als auch der männliche Untergruppe ein signifikanter Unterschied (vgl. Abbildung 25).

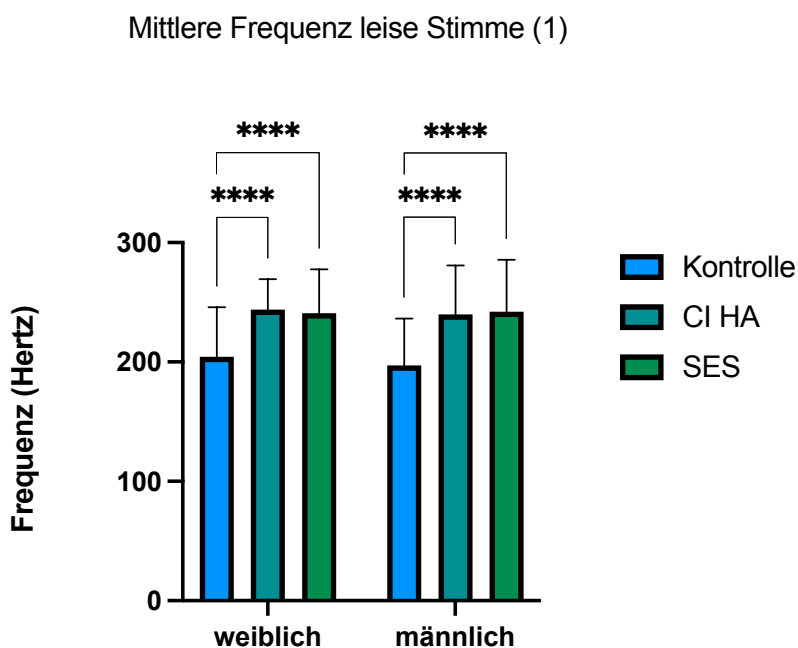


Abbildung 25: Vergleich der Frequenz leise Stimme/Level 1: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES

Die mittlere Stimmintensität der weiblichen Kontrollgruppe (N=497) in Level 1 betrug 51,8 dB mit einer Standardabweichung von 2,9 dB sowie 52,2 dB mit einer Standardabweichung von 3,1 dB bei der männlichen Kontrollgruppe (N=572). Im Vergleich mit den Gruppen der Kinder mit SES und Hörstörung zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der männlichen Gruppe der Kinder mit SES sowie der weiblichen Gruppe der Kinder mit SES. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zu der Gruppe der weiblichen und männlichen Kinder mit Hörstörung (vgl. Abbildung 26). Die Daten der

Kontrollgruppe wurden aus der Publikation zu Normdaten der Sprechstimme von Kindern und Jugendlichen von Berger et. al. entnommen (Berger et al., 2019).

Mittlere Lautstärke leise Stimme (1)

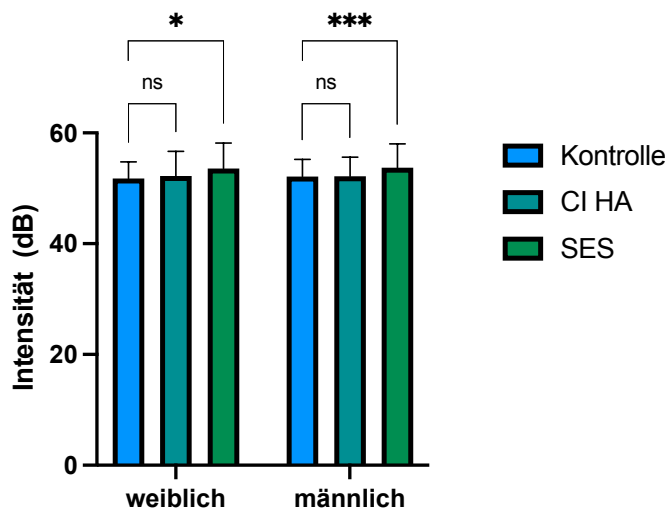


Abbildung 26: Vergleich der Intensität leise Stimme/Level 1: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES

4.3.2. Normale Stimme/Level 2:

Die mittlere Stimmfrequenz der weiblichen Kontrollgruppe (N=497) in Level 2 betrug 223,3 Hz mit einer Standardabweichung von 34,2 Hz sowie 223,3 Hz, mit einer Standardabweichung von 34,8 Hz bei der männlichen Kontrollgruppe (N=572).

Im Vergleich mit den Gruppen der Kinder mit SES und Hörstörung zeigte sich ein signifikanter Unterschied sowohl für die beiden weiblichen als auch die beiden männlichen Gruppen (vgl. Abbildung 27).

Mittlere Frequenz normale Stimme (2)

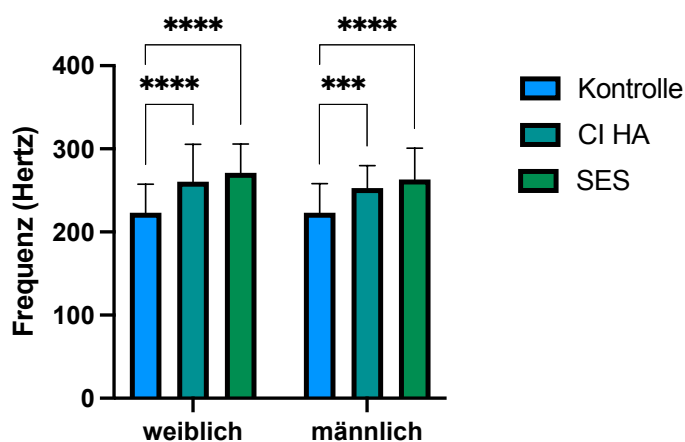


Abbildung 27: Vergleich der Frequenz normale Stimme/Level 2: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES

Die mittlere Stimmintensität der weiblichen Kontrollgruppe (N=497) in Level II betrug 58,6 dB mit einer Standardabweichung von 3,3 dB sowie 59,2 dB mit einer Standardabweichung von 3,3 dB bei der männlichen Kontrollgruppe (N= 572).

Im Vergleich mit den Gruppen der Kinder mit SES und Hörstörung zeigte sich sowohl für die männlichen und weiblichen Untergruppen mit SES und CI/HA ein signifikanter Unterschied (vgl. Abbildung 28). Die Daten der Kontrollgruppe wurden aus der Publikation zu Normdaten der Sprechstimme von Kindern und Jugendlichen von Berger et. al. entnommen (Berger et al., 2019).

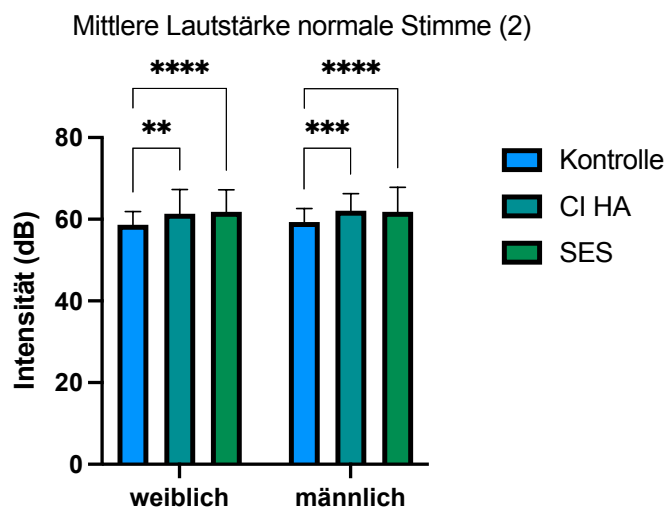


Abbildung 28: Vergleich der Intensität normale Stimme/ Level 2: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SE

4.3.3. Laute Stimme/Level 3

Die mittlere Stimmfrequenz der weiblichen Kontrollgruppe (N=497) in Level 3 betrug 250,3 Hz mit einer Standardabweichung von 34,7 Hz sowie 253,7 Hz mit einer Standardabweichung von 34,4 Hz bei der männlichen Kontrollgruppe (N=572). Im Vergleich mit den Gruppen der Kinder mit SES und Hörstörung zeigte sich auch hier für die beiden weiblichen und männlichen Untergruppen ein signifikanter Unterschied (vgl. Abbildung 29).

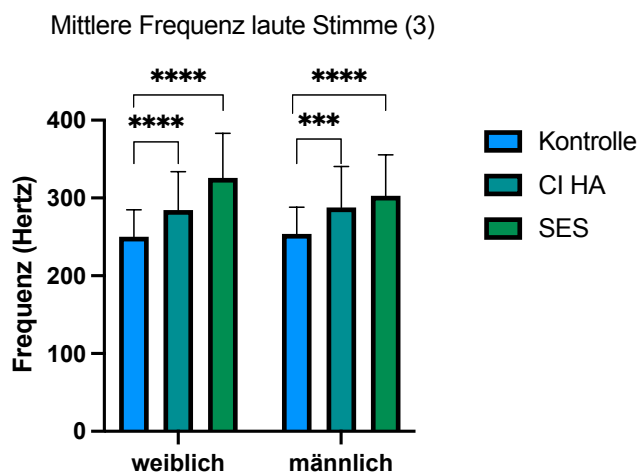


Abbildung 29: Vergleich der Frequenz laute Stimme/ Level 3: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES

Die mittlere Stimmintensität der weiblichen Kontrollgruppe (N=497) in Level 3 betrug 65,5 dB, mit einer Standardabweichung von 4,2 dB sowie 66,8 dB mit einer Standardabweichung von 4,3 dB bei der männlichen Kontrollgruppe (N=572). Im Vergleich mit den Gruppen der Kinder mit SES und Hörstörung zeigte sich für beide weiblichen und männlichen Untergruppen ein signifikanter Unterschied (vgl. Abbildung 30). Die Daten der Kontrollgruppe wurden aus der Publikation zu Normdaten der Sprechstimme von Kindern und Jugendlichen von Berger et. al. entnommen (Berger et al., 2019).

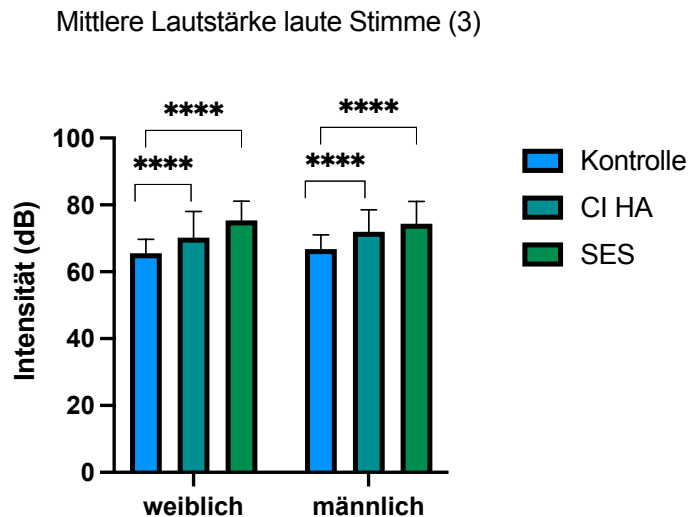


Abbildung 30: Vergleich der Intensität laute Stimme/ Level 3: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES

4.3.4. Rufstimme/Level 4

Die mittlere Stimmfrequenz der weiblichen Kontrollgruppe (N=497) in Level 4 betrug 315,7 Hz mit einer Standardabweichung von 42,6 Hz sowie 311,8 Hz, mit einer Standardabweichung von 44,9 Hz; bei der männlichen Kontrollgruppe (N 572). Im Vergleich mit den Gruppen der Kinder mit SES und Hörstörung zeigte sich für beide männlichen und weiblichen Untergruppen ein signifikanter Unterschied (vgl. Abbildung 31).

Mittlere Frequenz Rufstimme (4)

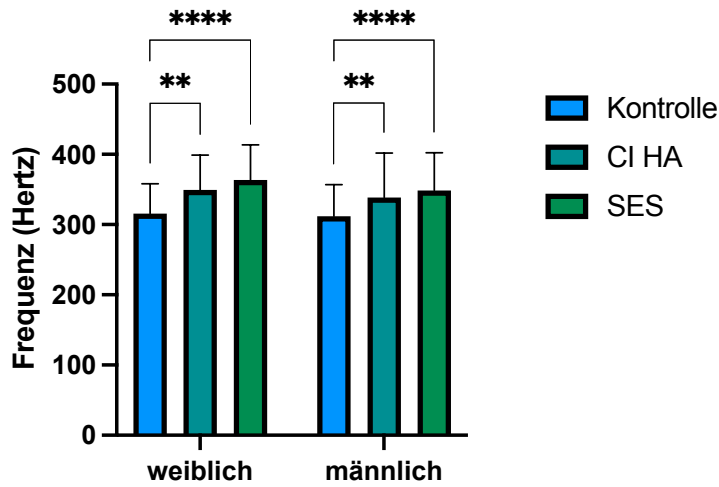


Abbildung 31: Vergleich der Frequenz Rufstimme/Level 4: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES

Die mittlere Stimmintensität der weiblichen Kontrollgruppe (N=497) in Level 4 betrug 79,8 dB mit einer Standardabweichung von 5,6 dB sowie 82,5 dB mit einer Standardabweichung von 6,5 dB bei der männlichen Kontrollgruppe (N=572). Im Vergleich mit den Gruppen der Kinder mit SES und Hörstörung zeigte sich für beide männlichen und weiblichen Untergruppen ein signifikanter Unterschied (vgl. Abbildung 32). Die Daten der Kontrollgruppe wurden aus der Publikation zu Normdaten der Sprechstimme von Kindern und Jugendlichen von Berger et. al. entnommen (Berger et al., 2019).

Mittlere Lautstärke Rufstimme (4)

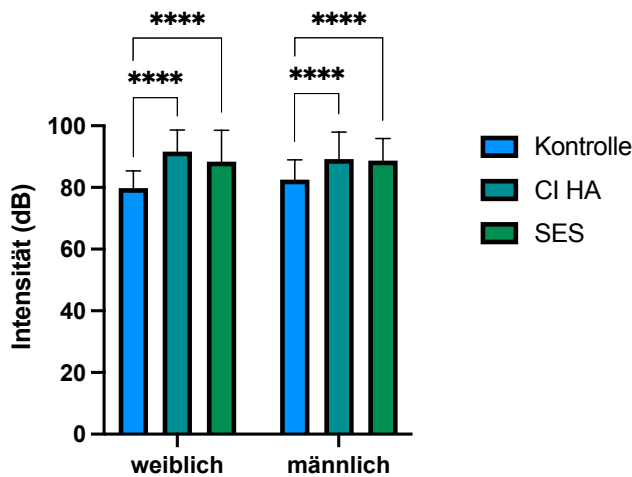


Abbildung 32: Vergleich der Intensität Rufstimme/Level 4: Kontrolle vs. Hörstörung vs. SES

4.4. Gegenüberstellung der Mittelwerte im Singstimmfeld

Es wurden die Daten der 7 bis 10-jährigen Kinder aus Leipzig herangezogen. Aufgrund der deutlichen Größenunterschiede der jeweiligen Stichproben erfolgte eine rein vergleichende Betrachtung der Werte. Da Unterschiede statistisch nicht auswertbar waren, konnten nur Tendenzen beschrieben werden. Der Frequenzumfang der Stimmen in Hertz sowie Halbtönen zeigte hier deutliche Unterschiede, mit dem größten Frequenzumfang aus der in Leipzig getesteten Normgruppe, gefolgt von den Kindern mit Sprachentwicklungsstörung und geringeren Messwerten für die Kinder mit Hörstörung. Hingegen zeigten sich im Bereich des Lautstärkeumfangs der kindlichen Singstimmen die größten Messwerte für Kinder mit SES, mit Abnahme für die Kinder mit Hörstörung und anschließend gefolgt von den Daten aus Leipzig (vgl. Tabelle 8). Die Daten der Kontrollgruppe wurden aus der Publikation zu Normdaten der Singstimme von Kindern und Jugendlichen von Dienerowitz et. al. entnommen (Dienerowitz et al., 2021).

	Kontrolle m (7-10a)	Kontrolle w (7-10a)	SES m	SES w	CI/HA m	CI/HA w
Lautstärkeumfang (dB)	32 - 32,5	30,1- 31,4	40,1	41,8	37,5	35,7
Frequenzumfang (HT)	23,3 - 24,9	22,7- 24,9	20,6	22,1	19,5	18,6

Tabelle 7: Vergleich der Mittelwerte im Singstimmfeld

Anmerkung: es sind der Lautstärkeumfang in Dezibel, sowie der Frequenzumfang in Halbtönen der drei verglichenen Gruppen dargestellt

5. Diskussion

5.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

In der Testung konnten im Vergleich mit den Normwerten aus Leipzig im Sprechstimmfeld in allen vier subjektiven Lautstärken signifikant höhere mittlere Frequenzen gemessen werden. Diese Beobachtung betrifft beide Geschlechter sowohl in der Gruppe der Kinder mit SES als auch in der Gruppe der Kinder mit Hörstörung. Die mittlere Intensität im Sprechstimmfeld der leisen Lautstärke (1) war für beide Geschlechter der Kinder mit SES signifikant höher als die der Kontrollgruppe, die der Kinder mit Hörstörung hingegen nicht. Für die Lautstärke 2 bis 4 (normale Stimmlage, laute Stimme, Rufstimme) zeigten sich wiederum für beide Geschlechter der Mainzer Gruppen mit SES und Hörstörung signifikant höhere Werte als in der Kontrollgruppe aus Leipzig.

Ein statistischer Vergleich der Singstimmfelder war nicht möglich. Es ließ sich jedoch beobachten, dass der Frequenzumfang in Halbtönen in beiden Geschlechtern aus Leipzig höher war als bei den Kindern mit SES und noch höher als bei den Kindern mit Hörstörung. Gegenteilig verhielt sich der Lautstärkeumfang mit dem größten Umfang bei den Kindern mit SES, gefolgt von den Kindern mit Hörstörungen und der Kontrollgruppe aus Leipzig.

5.2. Studienkollektiv

Es konnte ein deutliches Überwiegen der männlichen Kinder in der Gruppe der SES mit 75 % gezeigt werden. In mehreren Studien wurde eine höhere Prävalenz von SES oder Sprachentwicklungsverzögerung bei männlichen Kindern beschrieben (vgl. Black, 2015) (vgl. Tomblin et al., 1997) (vgl. Eadie, 2015), (vgl. Shriberg, 1999). Andere Studien zeigen hier jedoch ausgewogene Geschlechterverhältnisse (vgl. Walter, 2007), so dass nicht mit ausreichender Sicherheit eine Aussage bezüglich der Geschlechterprädominanz bei SES getroffen werden kann. Ob somit eine Überrepräsentation männlicher Kinder in dieser Studie vorliegt, kann nicht angegeben werden. Da männliche und weibliche Kinder getrennt betrachtet wurden, hat dies keinen Einfluss auf die Berechnungen, jedoch würde die statistische Aussagekraft mit größerer Fallzahl zunehmen. In der Gruppe der Kinder mit Hörstörung zeigte sich ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis.

Mit 11 % bis 22 % der Kinder in der jeweiligen Altersgruppe von 5,5 bis 10,5 Jahren war das Alter der Patient*innen mit Hörstörung relativ gleichmäßig verteilt. Dies kann damit erklärt werden, dass die Kinder regelmäßig ambulant zur Kontrolle in der Ambulanz vorstellig wurden, und hier alle Altersklassen eingeschlossen werden konnten. In der Gruppe der Kinder mit SES wurde eine Häufung im Alter von 5 bis 7 Jahren gesehen. 81 % der Proband*innen fielen in diese Alterskategorie, was darin begründet lag, dass die stationäre Intensivtherapie bei unzureichender Besserung im ambulanten Setting vorzugsweise noch vor dem Eintritt in die Schule stattfand.

Die Vorselektion der Kinder aus dem stationären Aufenthalt spiegelte sich auch in der Verteilung des Schweregrads der SES wider. 80 % der getesteten Kinder hatten eine schwer- oder schwerstgradige SES. Eine stationäre Therapie im Sinne einer Komplexbehandlung mit mehreren Sitzungen und ggfs. zusätzlicher Ergo- und

Physiotherapie sollte bei ausbleibendem Therapieerfolg im ambulanten Setting und einem persistierenden, schweren Störungsbild erfolgen (vgl. Keilmann, 2011). Da Kinder mit leichtgradiger Störung also größtenteils ambulant therapiert wurden, wurden sie in der vorliegenden Studie nicht präsentiert.

5.3. Grundfrequenz und Sprechstimme

Die Normdaten aus Leipzig wiesen für das Sprechstimmfeld in der Konversationsstimme (Stufe 2) mittlere Frequenzen von 223,3 Hz (männlich) bzw. 223,3 Hz (weiblich) auf. Die mittlere Intensität betrug 59,3 dB (männlich) bzw. 58,6 dB (weiblich). In der vorliegenden Studie zeigten sich bei indifferenter bzw. normallauter Sprechstimme (Stufe 2) hingegen höhere Grundfrequenzen. Bei hörgeschädigten Kindern wurde dies bereits in mehreren Studien beschrieben und es wird in Kapitel 5.5. auf die Thematik eingegangen. Auffällig war, dass die Kinder mit SES ebenso eine höhere Stimmfrequenz zeigten, und zwar bei normal lauter Sprechstimme 263,3 Hz (männlich) und 269,6 Hz (weiblich). Somit lag die Frequenz noch höher als die der hörgeschädigten Kinder, welche bei indifferenter Stimmlage 252,7 Hz (männlich) und 260,4 Hz (weiblich) erreichten. Im Vergleich zu den Referenzdaten aus Leipzig zeigen sich für alle vier subjektiven Lautstärken signifikante Unterschiede in der Frequenz. Sowohl zwischen der Gruppe der Kinder mit Hörstörung und der Referenzgruppe als auch zwischen der Gruppe der Kinder mit SES und der Referenzgruppe zeigen sich höhere Frequenzlagen der Kinder aus Mainz. Dies betraf beide Geschlechter.

Im Vergleich der Intensitäten zeigte sich für die leise Stimmlage ein signifikanter Unterschied zwischen den Werten aus Leipzig und den Kindern mit SES für beide Geschlechter. Hier zeigten sich signifikant höhere Stimmlautstärken der Mainzer Kinder. Kein signifikanter Unterschied war in der leisen Stimmlage zwischen den hörgeschädigten Kindern und der Leipziger Gruppe zu sehen. Dies war ein überraschendes Ergebnis, da man aufgrund der schlechteren auditorischen Rückkopplung erwartet hätte, dass die Kinder mit CI/HA in der leisesten möglichen Stimmlage lauter sprechen würden als der normalhörende Vergleich. In den drei weiteren Lautstärken war genau dieser Effekt zu sehen, mit einer signifikant höheren Intensität für beide Geschlechter der Gruppe mit CI/HA als der Referenzgruppe. Interessanterweise galt dies auch für die Kinder mit SES, die in allen vier subjektiven Lautstärken signifikant höhere mittlere Dezibelwerte erreichten als die Kontrollgruppe in Leipzig. Es war anzunehmen, dass hier das Testsetting mit den bekannten Logopädinnen, bei denen die Kinder sich wohl fühlten, ursächlich war.

Es ließen sich mehrere Studien zu einzelnen Stimmparametern bei Kindern finden. Hier wurden jedoch keine Sprechstimmfelder nach ELS-Protokoll untersucht, sondern die Grundfrequenz bei gehaltenem Ton und, je nach Studie, noch weitere akustische Parameter. Ein genauer Vergleich war aus diesem Grund also nicht möglich. Es wird dennoch im Folgenden versucht, Tendenzen zu beschreiben. Da der gehaltene Ton in indifferenter Stimmlage aufgezeichnet wurde, sollte er mit Sprechstimmlevel II (Konversationsstimme) verglichen werden. Kent et. al. veröffentlichten eine Studie an 158 Kindern, die mittels KayPENTAX-System getestet wurden. Die Altersgruppe 4 bis 6 Jahre umfasste 28 Kinder und die Gruppe 7 bis 9 Jahre 30 Kinder. Hier konnten Grundfrequenzen von 257 Hz (weiblich) und 245,2 Hz (männlich) im Alter von 4 bis 6 Jahren und 244,8 Hz (weiblich) und 241,6 Hz (männlich) im Alter von 7 bis 9 Jahren gezeigt werden. Der Jitter betrug im Alter von 4 bis 6 Jahre 2,53 % (weiblich) und 2,17 % (männlich) sowie 2,35 % (weiblich) und

1,14 % (männlich) im Alter von 7 bis 9 Jahre (vgl. Kent et al., 2021). Verglichen mit den Werten aus Leipzig zeigten diese Kinder also eine höhere Grundfrequenz, welche aber niedriger war als die Werte der in Mainz getesteten Kindern. Hoffmann und Cielo konnten ebenfalls mit dem KayPENTAX-System zeigen, dass bei dysphonen Kindern die Grundfrequenz niedriger lag als bei stimmgesunden Kindern. Sie ermittelten ein F_0 von 255 Hz (5 bis 5,11 Jahre), 253,1 Hz (6 bis 6,11 Jahre) und 241,3 Hz (7 bis 7,11 Jahre) und Jitter von respektive 1,9 %, 1,8 % und 1,2 %. Insgesamt zeigte sich eine Abnahme von F_0 und Jitter mit dem Alter (vgl. Hoffmann, 2021). Auch hier zeigten sich Grundfrequenzen, die sich zwischen den in Leipzig und Mainz ermittelten Werten einordnen lassen.

In einer Studie an 335 Kindern, die ebenfalls mit KayPENTAX untersucht wurden, wurden durch Maturo et. al. die Grundfrequenz und der Jitter untersucht. Hier zeigten sich im Alter von 5 - 10 Jahren Grundfrequenzen von 249 - 277 Hz bei den weiblichen und 226 - 266 Hz bei den männlichen Kindern mit einem Jitter von 0,68 bis 1,72 % (weiblich) und 1,56 bis 2,02 % (männlich). Die Kinder wurden hier instruiert, bei unangestregter Stimmlage /a:/ für 4 Sekunden zu halten (vgl. Maturo, 2012). In dieser Studie wurden für die Mädchen Werte gemessen, die teilweise ähnlich hoch oder noch höher als die der in Mainz ermittelten Werte lagen und somit höher als die Normwerte aus Leipzig. Bei den männlichen Teilnehmern wurden Werte bestimmt, die in den jüngeren Altersgruppen ($F_0 = 266$ Hz; 5 Jahre) an den Werten aus Mainz lagen und mit zunehmendem Alter ($F_0 = 226$ Hz; 10 Jahre) den Werten aus Leipzig ähnelten.

Die Frequenz und Lautstärke bei gehaltenem Ton /a:/ wurden ebenso mit dem gleichen System von Weinrich et al. getestet. Hier wurden die Kinder instruiert, bei indifferenter Stimmlage nach maximaler Inspiration den Ton zu halten. Es wurden für die Kinder von 6 bis 9,1 Jahren (N=20) die mittlere Lautstärke und die mittlere Frequenz aufgezeichnet. Als Mittelwerte wurden 77,39 dB und 235,58 Hz (weiblich) und 78,18 dB und 219,03 Hz (männlich) aufgezeichnet. Zudem wiederholten die Kinder bei drei subjektiven Lautstärken die Silben /pa/ (leise, normal, laut), die Lautstärkedifferenz bei den Mädchen betrug 36,98 dB (45,31 bis 82,29 dB) und 36,79 dB bei den Jungen (46,82 bis 83,6 dB) im Alter von 6 bis 9,11 Jahren (vgl. Weinrich, 2013). Hier zeigten sich also Grundfrequenzen, die bei den männlichen Kindern unter den Werten aus Leipzig und Mainz und bei den Mädchen zwischen den Werten aus Leipzig und Mainz lagen.

5.4. Singstimmfeld

Im Vergleich zu den Referenzdaten aus Leipzig fiel auf, dass die Mainzer Testgruppen einen größeren Lautstärkenumfang in der Singstimmessung erreichten. Insbesondere die Mädchen mit SES erreichten mit 41,8 dB Intensitätsumfang ca. 10 dB mehr als die Kontrollgruppe mit 30,1 dB bis 31,4 dB. Zusätzlich fiel auf, dass der Frequenzumfang in den Gruppen der Kinder mit CI/HA und SES geringer war als der, der Referenzgruppe aus Leipzig. Die hörgeschädigten Kinder zeigten hier den geringsten Frequenzumfang mit durchschnittlich 18,6 Halbtönen (weiblich) und 19,5 Halbtönen (männlich) auf mit Vergleich bis zu 24,9 Halbtönen bei den Jungen und Mädchen der LIFE-Studie.

1995 untersuchten Böhme und Stuchlik an 277 stimmlich untrainierten Kindern die Singstimme mittels Stimmfeldmessung. Den Kindern wurde ein Ton auf dem Klavier präsentiert, den diese nachsingen sollten, je in leisester und lautester Stimme. In der Gruppe

der 7- bis 10-jährigen Kinder wurde bei „g“ (196 Hz) ein SPL von 50 dB bis 66 dB (weiblich) und 53 bis 70 dB (männlich) und bei c³ (1046,5 Hz) von 74 dB bis 88 dB (weiblich) und 78 dB bis 89 dB (männlich) gemessen. Die Kinder konnten teilweise nicht alle vorgegebenen Töne nachsingen. Es wurde jedoch versucht, für die vorgegebenen Töne minimale und maximale Intensität aufzuzeichnen. Der höchste Lautstärkeumfang wurde bei c¹ gemessen (51 dB bis 81 dB) (Böhme, 1995). Der maximale Lautstärkeumfang lag also bei 30 dB, ähnlich den Werten aus Leipzig.

Ähnliche Stimmfeldmessungen wurden von Wuyts et. al. an 94 stimmgesunden Kindern und 136 dysphonen Kindern bei gehaltenem Ton /a:/ in den höchsten und niedrigsten möglichen Frequenzen und Lautstärken vorgenommen. Die stimmgesunden 6- bis 11-jährigen Mädchen erreichten Werte von 196 Hz bis 893 Hz (Δ 698 Hz bzw. 27,1 HT) bei Lautstärken von 47,8 dB bis 96 dB (Δ 48,2 dB). Die stimmgesunden Jungen wurden unterteilt in eine Gruppe von 6 bis 7 Jahre. Hier zeigten sich Frequenzumfänge von 194 Hz bis 791 Hz (Δ 532 Hz, bzw. 23 HT) und Lautstärkeumfang von 48,6 dB bis 97,2 dB (Δ 47,9 dB). Die 8- bis 11-jährigen wiesen noch höhere Umfänge von 194 Hz bis 923 Hz (Δ 740 Hz bzw. 28,7 HT) und 48,6 dB bis 101,7 dB (Δ 53,8 dB) auf (vgl. Wuyts, 2003). Somit wurden also deutlich größere Frequenz- und Intensitätsumfänge als bei den Kindern der vorliegenden Studie und auch der Leipziger Kontrollgruppe gemessen.

In einer weiteren Publikation zu o. g. Untersuchung zeigten Heylen et.al., dass dysphone Kinder im Vergleich eine niedrigere Grundfrequenz und einen geringeren Frequenzumfang als stimmgesunde Kinder aufwiesen (vgl. Heylen, 1998). Hier wurden 94 stimmgesunde und 136 dysphone Kinder zwischen 6 und 11 Jahren nach Standard der ELS untersucht. Es zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede für alle gemessenen Punkte, außer der niedrigsten Frequenz F_{0 low}. McAllister untersuchte Stimmfelder an 60 Kindern im Alter von 10 Jahren mit und ohne Stimmstörung. Die Kinder sollten in einer vorgegebenen Tonhöhe den Laut /a:/ so laut und leise wie möglich nachsingen. Bei den stimmgesunden Kindern wurden Frequenzumfänge von durchschnittlich 196 Hz bis 784 Hz (24 HT) und Lautstärkeumfänge von 21,4 dB ermittelt (vgl. McAllister, 1994). Der Frequenzumfang ähnelte hier der Kontrollgruppe aus Leipzig und lag somit höher als bei den selbst untersuchten Gruppen. Der Intensitätsumfang zeigte sich um ca. 10 dB verringert zur Kontrollgruppe und damit auch niedriger als bei den Mainzer Gruppen.

Zusammenfassend ließ sich zeigen, dass verglichen mit den in Mainz getesteten Kindern in den o. g. Studien an stimmgesunden und dysphonen Kindern höhere Frequenzumfänge gemessen wurden. Der Umfang der Intensität lag in manchen Studien höher und in anderen niedriger als bei den Gruppen mit CI/HA und SES. Bei den hörgeschädigten Kindern wurden ein geringerer Frequenz- und Intensitätsumfang aufgrund der reduzierten Rückkopplung erwartet. Hierauf wird im folgenden Kapitel näher eingegangen. Zu Kindern mit Sprachentwicklungsstörung gab es bisher keine Daten zur stimmlichen Leistung mit denen wir einen Vergleich ziehen können. Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass dies rein deskriptiv betrachtet wurde.

5.5. Stimme bei Hörstörung

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass Kinder mit Hörstörung lauter und höher sprechen als die Kinder, die als Referenz genutzt wurden. Zusätzlich konnte im

Vergleich gezeigt werden, dass der Umfang der Singstimme in Lautstärke geringer als bei den Kindern mit SES war. Außerdem war der Tonhöhenumfang der Singstimme kleiner als bei den Kindern mit SES und der Referenzgruppe.

Es wird angenommen, dass das fehlende auditorische Feedback der eigenen Stimme bei hörgestörten Personen zu einer schlechteren Kontrolle von Larynxstellung, Stimmlippenspannung, Zusammenspiel der intrinsischen Larynxmuskulatur und subglottischem Druck führt (vgl. Das et al., 2013). Dies beeinflusst die Atmung, Phonation und Artikulation und macht sich durch eine veränderte Grundfrequenz und Variabilität in der Stimmfrequenz und -intensität bemerkbar (vgl. Monsen, 1979) (vgl. Selleck 2014). Insbesondere die erhöhte Grundfrequenz wird immer wieder in Studien an hörgeschädigten Individuen beschrieben. Ursächlich hierfür wird eine erhöhte laryngeale Spannung beschrieben, die aber durch Stimmtraining reduziert werden kann (vgl. Wirz, 1981).

Zur Stimmfrequenz bei Hörschädigung untersuchte Horii 12 schwerhörige Frauen zwischen 16 und 19 Jahren und verglich diese mit 12 normalhörenden Frauen. Die hörgeschädigten Frauen zeigten signifikant höhere Grundfrequenzen bei Spontansprache und Lesestimme als die normalhörenden Probandinnen (vgl. Horii, 1982). Ähnlich konnten Dehqan et. al. und Jafari et.al. an Kindern mit Hörstörung und Kindern mit CI im Vergleich mit normalhörenden Kindern höhere Werte bei der Grundfrequenz, dem Jitter und Shimmer nachweisen (vgl. Dehqan, 2011) (vgl. Jafari et al., 2017). Coelho et.al. führten zwei Studien zur Stimmleistung bei Kindern mit CI durch. In der einen Studie wurden die Stimmen der Kinder beim Zählen und beim Halten des Tons /a:/ auditiv-perzeptiv von verschiedenen Untersuchern bewertet und die akustischen Parameter Grundfrequenz, Standardabweichung von der Grundfrequenz sowie Jitter, Shimmer, Noise to Harmonics Ratio, Soft Phonation-Index und Vocal Turbulence-Index mit einem Stimmprogramm aufgezeichnet. Die Sprachwahrnehmung wurde anhand von zweisilbigen Wörtern getestet, es mussten Wörter, Konsonanten und Phoneme erkannt werden. Insbesondere die Erkennung von Konsonantenphonemen bereitet hörgeschädigte Personen Schwierigkeiten. Diese wurden dann mit den Spracherkennungstests korreliert. Es zeigten sich bei den Kindern mit besserem Abschneiden in den Spracherkennungstests eine höhere Stimmstabilität in der auditiv perzeptiven Bewertung. Je mehr Konsonanten von den Kindern erkannt wurden, desto höher lag deren stimmliche Grundfrequenz. Es zeigte sich zudem eine geringere Standardabweichung im Einzelnen von der Grundfrequenz, was wiederum als stabilere Stimmlage interpretiert wurde (vgl. Coelho, 2009). In einer weiteren Studie an 51 Kindern zwischen 3 und 5,9 Jahren mit unilateralem CI wurden Stimmproben mit gehaltenem Ton /a:/, Zählen und Spontansprache aufgezeichnet und stimmakustisch ausgewertet. Anhand der Zählstimme und Spontansprache wurden die Grundfrequenz sowie die minimale und maximale Frequenz und ihr Umfang in Hertz und Halbtönen gemessen. Die Autoren konnten eine Korrelation zwischen schlechtem Abschneiden bei Spracherkennungstests und höherer Grundfrequenz in der Spontansprache und bei gehaltenem Vokal /a:/ zeigen (vgl. Coelho, 2016).

In einer französischen Studie von Guerrero Lopez et.al. wurde die Stimmleistungen von 20 Kindern mit CI und 20 Kindern mit konventionellem Hörgerät mit der von 38 normalhörenden Kindern verglichen. Die Autoren konnten zwar auch zeigen, dass die Grundfrequenz der Sprechstimme bei normalhörenden Kindern niedriger ist als bei hörgestörten Kindern, sich diese Werte bei der lauten Stimme jedoch annähern. Die Kinder mit CI zeigten hier im Gegenteil zu den Kindern mit Hörgerät Werte beim Shimmer, Jitter und der Noise to

Harmonics Ratio, die denen der normalhörenden Kinder ähnelten (vgl. Guerrero Lopez et al., 2013). Die Noise to Harmonics Ratio bezeichnet, wie viel der Stimmenergie in der akustischen Welle als periodische Komponente (Harmonics) und wie viel als aperiodische Komponente (Noise) vorliegt. Die Veränderung einiger stimmlicher Parameter nach CI-Implantation über einen Zeitraum von 2 Jahren wurde von Wang et.al. an 30 Kindern mit Hörstörung und 15 normalhörenden Kindern als Kontrollgruppe getestet. Die Kinder wurden vor der Implantation und 1, 3, 6, 12 und 24 Monate nach der Implantation untersucht. Es zeigte sich nach 6 Monaten eine signifikante Abnahme von Jitter und Shimmer. Die Grundfrequenz und die SD der Grundfrequenz hingegen zeigten erst nach 12 Monaten eine signifikante Abnahme. Zusätzlich wurde der subglottische Druck gemessen. Präoperativ wies dieser erhöhte Werte auf, während nach 24 Monaten kein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe mehr gemessen werden konnte (vgl. Wang, 2017).

In einer weiteren chinesischen Studie wurden die Kontrolle von Rhythmus, Tonhöhe und „dem Treffen des richtigen Tons“ beim Singen an 37 prälingual ertaubten, hörhilferversorgten Kindern und 37 normalhörenden Kindern verglichen. Die Kinder sangen eigens ausgewählte Lieder vor, die aufgezeichnet und ausgewertet wurden. Bei den hörgeschädigten Kindern zeigte sich eine deutlich größere Abweichung in Halbtönen vom Zielton und eine deutliche Verringerung des Tonhöhenumfangs, mit dem ein Lied vorgetragen wurde (vgl. Mao, 2013).

Zusammenfassend zeigen die o. g. Studien, dass Kinder mit Hörstörung eine höhere Grundfrequenz und höhere Irregularitätsparameter (Jitter und Shimmer) aufweisen und bei der Singstimme einen geringeren Frequenzumfang als normalhörende Kinder haben. Kinder mit Cochlea Implantat schnitten in einer Studie besser ab als Kinder mit konventionellem Hörgerät. Mit zunehmender Tragedauer des Implantats konnte eine Verbesserung der stimmlichen Leistungsparameter gesehen werden. In der vorliegenden Studie aus Mainz konnten an den Kindern mit Hörstörung im Vergleich zu der Kontrollgruppe ebenso eine höhere stimmliche Grundfrequenz in der Sprechstimme, als auch ein geringerer Frequenzumfang in der Singstimme beschrieben werden.

5.6. Stimme bei Stimmtraining

Wie der Begriff „Stimmtraining“ vermuten lässt, kann auch die menschliche Stimme geschult werden. Erfolgt dies unter regelmäßigen und professionell angeleiteten Bedingungen, können der Stimmumfang erweitert und die Stimmwahrnehmung und -kontrolle verbessert werden (vgl. Fuchs, 2009b). In der vorliegenden Untersuchung fällt insbesondere auf, dass die Kinder mit SES bei den Testungen der Singstimme deutlich höhere Werte beim Intensitätsumfang als die Kinder in der Kontrollgruppe und die Kinder mit Hörstörungen zeigten. Dies konnte aufgrund der kleinen Fallzahlen nicht statistisch getestet werden und musste rein deskriptiv betrachtet werden. Es ist davon auszugehen, dass dies zum einen mit den Rahmenbedingungen der Studie zusammenhängt. Die Kinder befanden sich in einer gewohnten Umgebung mit Logopädinnen, die sie bereits im Rahmen der Therapie betreuten. Zusätzlich erhielten die Kinder zum Testzeitpunkt intensive Therapieeinheiten und trainierten ihre Stimme so täglich. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass die vorher bereits ambulante oder auch stationäre logopädische Therapie im Sinne eines „Stimmtrainings“ zu diesen guten Werten beigetragen hat. In Studien wiesen regelmäßig singende Kinder einen größeren Tonhöhen- und Dynamikumfang vor, als Kinder, die nicht regelmäßig sangen (vgl. Fuchs, 2006) (vgl. Siupsinskiene, 2011) (vgl. Schneider, 2010). Pribuisiene et. al. bezifferten

diesen Unterschied mit durchschnittlich 4 Halbtönen (vgl. Pribuisiene, 2011). Professionell singende Erwachsene können deutlich höhere Werte des subglottischen Drucks erreichen und so einen größeren Stimmumfang nutzen (vgl. Akerlund, 1994).

5.7. Einschränkungen

Im Folgenden soll auf mögliche Fehlerquellen und Einschränkungen eingegangen werden. Bei Betrachtung der dargestellten Ergebnisse muss beachtet werden, dass es sich um Daten von Proband*innen im Alter von 5,5 bis 10,5 Jahren handelt. Dieses Alter wurde bewusst gewählt, da die Kinder einerseits alt genug sein mussten, die ihnen gestellte Aufgabe zu verstehen und andererseits noch nicht die Mutation durchlaufen haben sollten um einen Vergleich zu ermöglichen. Die Tagesform und Persönlichkeit des jeweiligen Kindes konnten Auswirkungen auf die Messungen haben. So konnten das Testsetting, die Motivation durch die testende Person und die Stimmungslage zu lauterem oder leiserem Sprechen und Singen führen. Auch das Austesten der Grenzen der eigenen Stimme fiel einigen Kindern leichter als anderen. Der Abstand zum Mikrophon musste stets nachreguliert werden, da die Proband*innen in dieser ungewohnten Situation nicht immer vermochten, den vorgegebenen Abstand einzuhalten.

Es muss hierbei erwähnt werden, dass die in Leipzig durchgeführten Tests durch von den Phoniater*innen angelernte Kräfte erfolgte. Nach einem Protokoll wurden die Anweisungen vorgelesen und befolgt. Die Untersucher*innen durften motivierend einschreiten und beispielsweise Handsignale geben. In der vorliegenden Studie erfolgte die Testung durch zwei Logopädinnen, die die Kinder, wenn nötig, mehrfach anleiteten und Messungen wiederholten, bis aussagekräftige Stimmfeldmessungen zustande kamen. Dies kann deutliche Auswirkungen auf die Umfangsmessungen haben, da die Kinder motiviert wurden, ihre stimmlichen Grenzen auszutesten. Zudem kannten die Untersucherinnen die Kinder bereits persönlich aus Therapiesitzungen und waren somit bereits vertraute Personen, was die Testatmosphäre für die Kinder entspannte.

Der Vergleich mit den Daten aus Leipzig hatte den Vorteil, eine sehr große Kontrollgruppe zu nutzen, die mit dem gleichen Testprotokoll nach ELS untersucht worden war, wenn auch Tester*innen als auch Ausstattung nicht identisch waren. Es wurden hier die DiVAS® Software und ein USB-Mikrophon mit Headset von XION Medical genutzt. In der vorliegenden Studie konnten 97 der stationären Kinder mit SES und 46 der ambulanten Kinder mit CI oder HA getestet werden. Zusätzlich wird hier nochmal auf Kapitel 5.2 „Studienkollektiv“ verwiesen, da auch die Selektion der Kinder als Einschränkung genannt werden sollte. Da erstmalig Normwerte zur Verfügung standen, war es möglich, auch ohne kliniksinterne Kontrollgruppe Vergleiche zu ziehen, da das gleiche standardisierte Protokoll zur Stimmtestung eingesetzt wurde. Zukünftig wäre es interessant, eine größere Zahl an Proband*innen und zusätzlich eine selbst generierte Kontrollgruppe mit den Normwerten zu vergleichen. Zusätzlich wäre eine Begutachtung der stimmlichen Leistung zu Beginn und Ende der logopädischen Therapie von Interesse.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Stimmprofilen von Kindern mit Hörstörung, die mit Hörgerät oder Cochlea Implantat versorgt wurden, sowie von Kindern mit Sprachentwicklungsstörung und vergleicht diese mit einer Referenzgruppe normalhörender Kinder ohne Sprachentwicklungsstörung aus Leipzig.

Es konnte gezeigt werden, dass die getesteten Kinder mit Hörstörung höher und lauter sprachen als die der Kontrollgruppe, was auf die schlechtere auditorische Rückkopplung zurückgeführt und bereits in vorherigen Studien gezeigt wurde. Überraschenderweise zeigten sich die gleichen Unterschiede bei den Kindern mit SES. In der Testung der Singstimme zeigten beide Gruppen ein schlechteres Abschneiden in Bezug auf den Frequenzumfang, aber bessere Werte in Bezug auf den Lautstärkeumfang als die Gruppe aus Leipzig. Da diese Kinder bereits in logopädischer Therapie waren, hatten sie vorher in gewisser Weise ein Stimmtraining erhalten, was vorteilhaft für ihre Stimmnutzung war.

Als Einschränkungen der vorliegenden Arbeit muss erwähnt werden, dass die Referenzgruppe aus Leipzig zwar nach dem gleichen Protokoll der ELS, jedoch unter anderen Rahmenbedingungen getestet wurde. Hier ist besonders hervorzuheben, dass die Testung in Mainz durch zwei Logopädinnen, die einige Kinder bereits gut kannten, und nicht wie in Leipzig, durch hierfür angelernte Kräfte durchgeführt wurde. Es wäre wünschenswert, weitere, größer angelegte Studien zur stimmlichen Leistung an Kindern mit Kommunikationsstörung mit eigener Kontrollgruppe und wiederholten Messungen über einen längeren Zeitraum durchzuführen, um genauere Aussagen treffen zu können.

Kommunikationsstörungen beeinträchtigen die Lebensqualität und soziale Teilhabe betroffener Kinder und deren Eltern, sodass diese stets frühzeitig und adäquat therapiert werden sollten. Hier steht neben der optimalen Hörhilfenversorgung bei Hörstörung die logopädische Behandlung im Fokus.

Dies ist nach unserem Wissen die erste Studie, die zusätzlich zu Kindern mit Hörstörung die stimmlichen Leistungsparameter sprachentwicklungsgestörter Kinder getestet hat und diese mit hörgeschädigten Kindern und einer Referenzgruppe verglich. Durch eine stationäre Behandlung sprachentwicklungsgestörter Kinder wurde es logistisch ermöglicht, dieses Patient*innenkollektiv ausführlich im Rahmen klinischer Studien zu untersuchen und mehr Informationen zu ihren Kommunikationsfähigkeiten zu sammeln.

Literaturverzeichnis

- AKERLUND, L. & GRAMMING, P. 1994. Average loudness level, mean fundamental frequency, and subglottal pressure: comparison between female singers and nonsingers. *J Voice*, 8, 263-70.
- ARAS, I., STEVANOVIĆ, R., VLAHOVIĆ, S., STEVANOVIĆ, S., KOLARIĆ, B. & KONDIĆ, L. 2014. Health related quality of life in parents of children with speech and hearing impairment. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 78, 323-9.
- AWMF-LL 2020. S2k Leitlinie Cochlea-Implantat Versorgung, Online. https://register.awmf.org/assets/guidelines/017-071I_S2k_Cochlea-Implantat-Versorgung-zentral-auditorische-Implantate_2020-12.pdf
- AWMF-LL. 2010. Sprachentwicklungsstörungen bei Kindern: Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie [Online]. https://register.awmf.org/assets/guidelines/049006_S1_Sprachentwicklungsstoerung_lang_09-2008_09-2013.pdf
- AWMF-LL. 2013. Periphere Hörstörungen im Kindesalter. Online <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/049-010>
- AWMF-LL. 2022. S3-Leitlinie Therapie von Sprachentwicklungsstörungen. https://register.awmf.org/assets/guidelines/049015I_S3_Therapie_von_Sprachentwicklungsstörungen_Text_2022-12.pdf
- AWMF-LL. 2023. Diagnostik und Therapie von Störungen der Stimmfunktion (Dysphonien). Online. https://register.awmf.org/assets/guidelines/049-008I_S2k_Diagnostik-Therapie-Stoerungen-der-Stimmfunktion-Dysphonien_2023-01.pdf
- BERGER, T., PESCHEL, T., VOGEL, M., PIETZNER, D., POULAIN, T., JURKUTAT, A., MEURET, S., ENGEL, C., KIESS, W. & FUCHS, M. 2019. Speaking Voice in Children and Adolescents: Normative Data and Associations with BMI, Tanner Stage, and Singing Activity. *J Voice*, 33, 580.e21-580.e30.
- BLACK, L. I., VAHRATIAN, A. & HOFFMAN, H. J. 2015. Communication Disorders and Use of Intervention Services Among Children Aged 3-17 Years: United States, 2012. *NCHS Data Brief*, 1-8.
- BÖHME, G. & STUCHLIK, G. 1995. Voice profiles and standard voice profile of untrained children. *J Voice*, 9, 304-7.
- BOONS, T., BROKX, J., FRIJNS, J., PHILIPS, B., VERMEULEN, A., WOUTERS, J. & VAN WIERINGEN, A. 2013. Newborn hearing screening and cochlear implantation: impact on spoken language development. *B-ent*, Suppl 21, 91-8.
- BOSELEY, M. E., CUNNINGHAM, M. J., VOLK, M. S. & HARTNICK, C. J. 2006. Validation of the Pediatric Voice-Related Quality-of-Life survey. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 132, 717-20.
- CIELO, C. A. & CAPPELLARI, V. M. 2008. Maximum phonation time in pre-school children. *Braz J Otorhinolaryngol*, 74, 552-60.
- COELHO, A. C., BEVILACQUA, M. C., OLIVEIRA, G. & BEHLAU, M. 2009. Relationship between voice and speech perception in children with cochlear implant. *Pro Fono*, 21, 7-12.
- COELHO, A. C., BRASOLOTTO, A. G., BEVILACQUA, M. C., MORET, A. L. & BAHMAD JÚNIOR, F. 2016. Hearing performance and voice acoustics of cochlear implanted children. *Braz J Otorhinolaryngol*, 82, 70-5.
- CONNOR, N. P., COHEN, S. B., THEIS, S. M., THIBEAULT, S. L., HEATLEY, D. G. & BLESS, D. M. 2008. Attitudes of children with dysphonia. *J Voice*, 22, 197-209.

- CONTI-RAMSDEN, G. & BOTTING, N. 2008. Emotional health in adolescents with and without a history of specific language impairment (SLI). *J Child Psychol Psychiatry*, 49, 516-25.
- DAS, B., CHATTERJEE, I. & KUMAR, S. 2013. Laryngeal Aerodynamics in Children with Hearing Impairment versus Age and Height Matched Normal Hearing Peers. *ISRN Otolaryngol*, 2013, 394604.
- DEHQAN, A. & SCHERER, R. C. 2011. Objective voice analysis of boys with profound hearing loss. *J Voice*, 25, e61-5.
- DEJONCKERE, P. H., BRADLEY, P., CLEMENTE, P., CORNUT, G., CREVIER-BUCHMAN, L., FRIEDRICH, G., VAN DE HEYNING, P., REMACLE, M. & WOISARD, V. 2001. A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. Guideline elaborated by the Committee on Phoniatrics of the European Laryngological Society (ELS). *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 258, 77-82.
- DEJONCKERE, P. H., REMACLE, M., FRESNEL-ELBAZ, E., WOISARD, V., CREVIER-BUCHMAN, L. & MILLET, B. 1996. Differentiated perceptual evaluation of pathological voice quality: reliability and correlations with acoustic measurements. *Revue de laryngologie - otologie - rhinologie*, 117, 219-224.
- DIENEROWITZ, T., PESCHEL, T., VOGEL, M., POULAIN, T., ENGEL, C., KIESS, W., FUCHS, M. & BERGER, T. 2021. Establishing Normative Data on Singing Voice Parameters of Children and Adolescents with Average Singing Activity Using the Voice Range Profile. *Folia Phoniatr Logop*, 73, 565-576.
- DIPPOLD, S., WOLF-MÜHLBAUER, J., LÄSSIG, A., KAINZ, M.-A., ECHTERNACH, M. & KEILMANN, A. 2021. Langzeitverlauf nach stationärer Sprachtherapie: schulische und sprachliche Entwicklung von Kindern mit schwerer spezifischer Sprachentwicklungsstörung (SES). *HNO*, 69, 978-986.
- DUFLO, S. & THIBEAULT, S. 2006. Anatomy of the Larynx and Physiology of Phonation. *Textbook of Laryngology, Albert, Merati, Bielałowicz*.
- EADIE, P., MORGAN, A., UKOUMUNNE, O. C., TTOFARI EECEN, K., WAKE, M. & REILLY, S. 2015. Speech sound disorder at 4 years: prevalence, comorbidities, and predictors in a community cohort of children. *Dev Med Child Neurol*, 57, 578-84.
- ECKEL, SPRINZL, SITTEL, KOEBKE, DAMM & STENNERT 2000. Zur Anatomie von Glottis und Subglottis beim kindlichen Kehlkopf. *HNO* 2000 · 48:501–507 © Springer-Verlag.
- EICHHORN, J. T., KENT, R. D., AUSTIN, D. & VORPERIAN, H. K. 2018. Effects of Aging on Vocal Fundamental Frequency and Vowel Formants in Men and Women. *J Voice*, 32, 644 e1-644 e9.
- FINGER, L. S., HOFFMANN, C. F. & CIELO, C. A. 2021. Maximum Phonation Time and Body Mass Index in Nondysphonic Eutrophic Children. *J Voice*, 35, 500.e1-500.e7.
- FITCH, J. L. & HOLBROOK, A. 1970. Modal vocal fundamental frequency of young adults. *Arch Otolaryngol*, 92, 379-82.
- FOX-BOYER, A. V. 2020. *TROG-D, Test zur Überprüfung des Grammatikverständnisses*, Schulz-Kirchner.
- FRANK, G. & GRZIWOTZ, P. 1978. *Dysgrammatiker-Prüfmaterial*, Ravensburg, Sprachheilzentrum.
- FRIEDRICH, G. & DEJONCKERE, P. H. 2005. [The voice evaluation protocol of the European Laryngological Society (ELS) -- first results of a multicenter study]. *Laryngorhinootologie*, 84, 744-52.

- FUCHS, M. 2008a. [Diagnostics and therapy of dysphonia suitable for the ages and developmental stages of children and adolescents (part 2)]. *Laryngorhinootologie*, 87, 86-91.
- FUCHS, M. 2008b. [Landmarks of physiological development of the voice in childhood and adolescence (Part 1)]. *Laryngorhinootologie*, 87, 10-6.
- FUCHS, M., HEIDE, S., HENTSCHEL, B., GELBRICH, G., MAKUCH, A., THIEL, S., TÄSCHNER, R. & DIETZ, A. 2006. [Vocal efficiency parameters in children and adolescents: effect of physical development and singing activity]. *Hno*, 54, 971-80.
- FUCHS, M., MEURET, S., STUHRMANN, N. C. & SCHADE, G. 2009a. [Dysphonia in children and adolescents]. *Hno*, 57, 603-14.
- FUCHS, M., MEURET, S., THIEL, S., TÄSCHNER, R., DIETZ, A. & GELBRICH, G. 2009b. Influence of singing activity, age, and sex on voice performance parameters, on subjects' perception and use of their voice in childhood and adolescence. *J Voice*, 23, 182-9.
- GIOVANNI A., D. S. 2009. Physiology of Voice Production. *Remacle M., Eckel H. (eds) Surgery of Larynx and Trachea. Springer, Berlin, Heidelberg.*
- GRAY, S., SMITH, M. & SCHNEIDER, H. 1996. Voice disorders in children.
- GRIMM, H. & AL., E. 2004. Sprachscreening im Vorschulalter: Wie viele Kinder brauchen tatsächlich eine Sprachförderung? *In: Frühförderung interdisziplinär*, 23 (2004) 3, S. 108-117
- GUERRERO LOPEZ, H. A., MONDAIN, M., AMY DE LA BRETÈQUE, B., SERRAFERO, P., TROTTIER, C. & BARKAT-DEFRADAS, M. 2013. Acoustic, aerodynamic, and perceptual analyses of the voice of cochlear-implanted children. *J Voice*, 27, 523.e1-17.
- HANSEN, G. & NICOLAI, T. 2014. Erkrankungen des Kehlkopfs. *In: REINHARDT, D., NICOLAI, T. & ZIMMER, K.-P. (eds.) Therapie der Krankheiten im Kindes- und Jugendalter.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- HARTNICK, C. J., VOLK, M. & CUNNINGHAM, M. 2003. Establishing normative voice-related quality of life scores within the pediatric otolaryngology population. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 129, 1090-3.
- HEBBEL, G. & HORN, R. 1976. *French-Bilder-Intelligenz-Test: FBIT; Manual; [deutsche Bearbeitung des pictorial test of intelligence von Joseph L. French]*, Beltz.
- HERBST, C. T. 2020. Electroglottography - An Update. *J Voice*, 34, 503-526.
- HEYLEN, L., WUYTS, F. L., MERTENS, F., DE BODT, M., PATTYN, J., CROUX, C. & VAN DE HEYNING, P. H. 1998. Evaluation of the vocal performance of children using a voice range profile index. *J Speech Lang Hear Res*, 41, 232-8.
- HINTERMAIR, M. 2006. Parental resources, parental stress, and socioemotional development of deaf and hard of hearing children. *J Deaf Stud Deaf Educ*, 11, 493-513.
- HIRANO, M. 1974. Morphological Structure of the Vocal Cord as a Vibrator and its Variations. *Folia Phoniatica* 26.
- HIRANO, M. 1981. Clinical Examination of Voice. . *Springer Verlag Wien/NewYork.*
- HIRANO, M., KAKITA, Y., OHMARU, K. & KURITA, S. 1982. Structure and Mechanical properties of the Vocal Fold. *Speech and Language*, 7, 271-297.
- HIRANO, M., KURITA, S., KIYOKAWA, K. & SATO, K. 1986. Posterior glottis. Morphological study in excised human larynges. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 95, 576-81.
- HIRSCHBERG, J., DEJONCKERE, P. H., HIRANO, M., MORI, K., SCHULTZ-COULON, H. J. & VRTICKA, K. 1995. Voice disorders in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 32 Suppl, S109-25.

- HOBSON, H., KALSI, M., COTTON, L., FORSTER, M. & TOSEEB, U. 2022. Supporting the mental health of children with speech, language and communication needs: The views and experiences of parents. *Autism Dev Lang Impair*, 7, 23969415221101137.
- HOFFMANN, C. F. & CIELO, C. A. 2021. Characteristics of the Voice of Dysphonic School Children from 4:0 to 7:11 Years Old. *J Voice*, 35, 664.e11-664.e19.
- HOLLIN, H. 2014. Vocal fold dynamics for frequency change. *J Voice*, 28, 395-405.
- HOOPER, C. R. 2004. Treatment of voice disorders in children.
- HORII, Y. 1982. Some voice fundamental frequency characteristics of oral reading and spontaneous speech by hard-of-hearing young women. *J Speech Hear Res*, 25, 608-10.
- HUTTUNEN, K., RIMMANEN, S., VIKMAN, S., VIROKANNAS, N., SORRI, M., ARCHBOLD, S. & LUTMAN, M. E. 2009. Parents' views on the quality of life of their children 2-3 years after cochlear implantation. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 73, 1786-94.
- JAFARI, N., IZADI, F., SALEHI, A., DABIRMOGHADDAM, P., YADEGARI, F., EBADI, A. & MOGHADAM, S. T. 2017. Objective Voice Analysis of Pediatric Cochlear Implant Recipients and Comparison With Hearing Aids Users and Hearing Controls. *J Voice*, 31, 505.e11-505.e18.
- KAHANE, J. C. 1978. A morphological study of the human prepubertal and pubertal larynx. *Am J Anat*, 151, 11-9.
- KARNELL, M. P., MELTON, S. D., CHILDES, J. M., COLEMAN, T. C., DAILEY, S. A. & HOFFMAN, H. T. 2007. Reliability of clinician-based (GRBAS and CAPE-V) and patient-based (V-RQOL and IPVI) documentation of voice disorders. *J Voice*, 21, 576-90.
- KAYES, G. 2015. Structure and Function of the Singing voice. *The Oxford handbook of Singing*.
- KEILMANN, A. & KIESE-HIMMEL, C. 2011. [Inpatient language therapy in children with severe specific language impairments]. *Laryngorhinootologie*, 90, 677-82.
- KEMPSTER, G. B., GERRATT, B. R., VERDOLINI ABBOTT, K., BARKMEIER-KRAEMER, J. & HILLMAN, R. E. 2009. Consensus auditory-perceptual evaluation of voice: development of a standardized clinical protocol. *Am J Speech Lang Pathol*, 18, 124-32.
- KENT, R. D., EICHHORN, J. T. & VORPERIAN, H. K. 2021. Acoustic parameters of voice in typically developing children ages 4-19 years. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 142, 110614.
- KETELAAR, L., RIEFFE, C., WIEFFERINK, C. H. & FRIJNS, J. H. 2013. Social competence and empathy in young children with cochlear implants and with normal hearing. *Laryngoscope*, 123, 518-23.
- KIESE-HIMMEL, C. 2005. *Aktiver Wortschatztest für 3- bis 5-jährige Kinder (AWST-R)*, Göttingen, Hogrefe.
- KIESE-HIMMEL, C. 2016. *Körperinstrument Stimme*.
- LASS, N. J., RUSCELLO, D. M., STOUT, L. L. & HOFFMANN, F. M. 1991. Peer perceptions of normal and voice-disordered children. *Folia Phoniatr (Basel)*, 43, 29-35.
- MAO, Y., ZHANG, M., NUTTER, H., ZHANG, Y., ZHOU, Q., LIU, Q., WU, W., XIE, D. & XU, L. 2013. Acoustic properties of vocal singing in prelingually-deafened children with cochlear implants or hearing aids. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 77, 1833-40.
- MATURO, S., HILL, C., BUNTING, G., BALLIF, C., MAURER, R. & HARTNICK, C. 2012. Establishment of a normative pediatric acoustic database. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 138, 956-61.

- MAY-MEDERAKE, B. 2012. Early intervention and assessment of speech and language development in young children with cochlear implants. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 76, 939-46.
- MCALLISTER, A., SEDERHOLM, E., SUNDBERG, J. & GRAMMING, P. 1994. Relations between voice range profiles and physiological and perceptual voice characteristics in ten-year-old children. *J Voice*, 8, 230-9.
- MCALLISTER, A. & SJOLANDER, P. 2013. Children's voice and voice disorders. *Semin Speech Lang*, 34, 71-9.
- MELCHERS, P. & PREUß, U. 1994. *Kaufman assessment battery for children: K-ABC; deutschsprachige Fassung*, Swets und Zeitlinger.
- MERATI, A. L., KEPPEL, K., BRAUN, N. M., BLUMIN, J. H. & KERSCHNER, J. E. 2008. Pediatric Voice-Related Quality of Life: findings in healthy children and in common laryngeal disorders. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 117, 259-62.
- MONSEN, R. B., ENGBRETSON, A. M. & VEMULA, N. R. 1979. Some effects of deafness on the generation of voice. *J Acoust Soc Am*, 66, 1680-90.
- NAWKA, T., ROSANOWSKI, F. & GROSS, M. 2014. [How to render an expert opinion on dysphonia]. *Laryngorhinootologie*, 93, 591-8.
- NEUMANN, K., ARNOLD, B., BAUMANN, A., BOHR, C., EULER, H. A., FISCHBACH, T., HAUSSCHILD, J., HEINRICH, D., KEILMANN, A., KÖHLER, C., KRÄGELOH-MANN, I., KUMMER, P., MATHMANN, P., NOTERDAEME, M., PLONTKE, S., SCHLIEWENZ, R., SCHMID, R., SCHMITZ-SALUE, C., SCHRÖDER, M., SEIDEL, A., WICHMANN, J. & KIESE-HIMMEL, C. 2021. Neue Terminologie für Sprachentwicklungsstörungen? *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 169, 837-842.
- NICHOLAS, J. G. & GEERS, A. E. 2003. Personal, social, and family adjustment in school-aged children with a cochlear implant. *Ear Hear*, 24, 69s-81s.
- POSSAMAI, V. & HARTLEY, B. 2013. Voice disorders in children.
- PRIBUISIENE, R., ULOZA, V. & KARDISIENE, V. 2011. Voice characteristics of children aged between 6 and 13 years: impact of age, gender, and vocal training. *Logoped Phoniatri Vocol*, 36, 150-5.
- QUANJER, P. H., STANOJEVIC, S., COLE, T. J., BAUR, X., HALL, G. L., CULVER, B. H., ENRIGHT, P. L., HANKINSON, J. L., IP, M. S., ZHENG, J. & STOCKS, J. 2012. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J*, 40, 1324-43.
- RAVEN, J. C. 1962. Coloured Progressive Matrices, Sets A, A_B, B. *HK Lewis*.
- REGHUNATHAN, S. & BRYSON, P. C. 2019. Components of Voice Evaluation. *Otolaryngol Clin North Am*, 52, 589-595.
- RIEDLER, J., 2011. Respiroirsche Notfälle im Kindes- und Jugendalter
- RUSCELLO, D. M., LASS, N. J. & PODBESEK, J. 1988. Listeners' perceptions of normal and voice-disordered children. *Folia Phoniatri (Basel)*, 40, 290-6.
- SATALOFF, R. T., HEMAN-ACKAH, Y. D. & HAWKSHAW, M. J. 2007. Clinical anatomy and physiology of the voice. *Otolaryngol Clin North Am*, 40, 909-29, v.
- SATO, K., HIRANO, M. & NAKASHIMA, T. 2001. Fine structure of the human newborn and infant vocal fold mucosae. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 110, 417-24.
- SCHNEIDER-STICKLER, B. 2016. Stimmumfangsprofilmessung. *Sprache, Stimme, Gehör*.
- SCHNEIDER-STICKLER, B. 2021. Stimmdiagnostik bei phonochirurgischen Eingriffen. *HNO*, 69, 705-711.
- SCHNEIDER-STICKLER & BIGENZAHN, W. 2013. Stimmdiagnostik-Ein Leitfaden für die Praxis. 2.

- SCHNEIDER, B., ZUMTOBEL, M., PRETTENHOFER, W., AICHSTILL, B. & JOCHER, W. 2010. Normative voice range profiles in vocally trained and untrained children aged between 7 and 10 years. *J Voice*, 24, 153-60.
- SCHÖNWEILER, R. 1992. [Examination of 1,300 children for incidence and therapy of hearing disorders in pediatric speech disorders]. *Laryngorhinootologie*, 71, 637-43.
- SCHULTZ-COULON, H.-J. 1990. Historische Entwicklung der Stimmfeldmessung. *Stimmfeldmessung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- SCHUTTE, H. K. & SEIDNER, W. 1983. Recommendation by the Union of European Phoniaticians (UEP): standardizing voice area measurement/phonetography. *Folia Phoniatr (Basel)*, 35, 286-8.
- SEIDNER, W. & WENDLER, J. 2010. Die Sängerstimme.
- SELLECK, M. A. & SATALOFF, R. T. 2014. The impact of the auditory system on phonation: a review. *J Voice*, 28, 688-93.
- SHRIBERG, L. D., TOMBLIN, J. B. & MCSWEENEY, J. L. 1999. Prevalence of speech delay in 6-year-old children and comorbidity with language impairment. *J Speech Lang Hear Res*, 42, 1461-81.
- SIUPSINSKIENE, N. & LYCKE, H. 2011. Effects of vocal training on singing and speaking voice characteristics in vocally healthy adults and children based on choral and nonchoral data. *J Voice*, 25, e177-89.
- SUNDBERG, J. 1987. The Science of the Singing Voice.
- TELLEGEN, P. J. 1996. Snijders-Omen Non verbaler Intelligenztest, SON-R 2 1/2-7.
- TITZE, I. R. 1992. Phonation threshold pressure: a missing link in glottal aerodynamics. *J Acoust Soc Am*, 91, 2926-35.
- TOMBLIN, J. B., RECORDS, N. L., BUCKWALTER, P., ZHANG, X., SMITH, E. & O'BRIEN, M. 1997. Prevalence of specific language impairment in kindergarten children. *J Speech Lang Hear Res*, 40, 1245-60.
- VAN DEN BERG, J. 1958. Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *J Speech Hear Res*, 1, 227-44.
- VINCENTI, V., BACCIU, A., GUIDA, M., MARRA, F., BERTOLDI, B., BACCIU, S. & PASANISI, E. 2014. Pediatric cochlear implantation: an update. *Ital J Pediatr*, 40, 72.
- WADMAN, R., DURKIN, K. & CONTI-RAMSDEN, G. 2008. Self-esteem, shyness, and sociability in adolescents with specific language impairment (SLI). *J Speech Lang Hear Res*, 51, 938-52.
- WADMAN, R., DURKIN, K. & CONTI-RAMSDEN, G. 2011. Social stress in young people with specific language impairment. *J Adolesc*, 34, 421-31.
- WALTER, M. 2007. Ergebnisse einer epidemiologischen Untersuchung zur Häufigkeit sprachlicher Förderbedürftigkeit bei Vorschulkindern in Bayern. *Spracheheilarbeit* 2007;52:146-151.
- WANG, Y., LIANG, F., YANG, J., ZHANG, X., LIU, J. & ZHENG, Y. 2017. The Acoustic Characteristics of the Voice in Cochlear-Implanted Children: A Longitudinal Study. *J Voice*, 31, 773.e21-773.e26.
- WEINRICH, B., BREHM, S. B., KNUDSEN, C., MCBRIDE, S. & HUGHES, M. 2013. Pediatric normative data for the KayPENTAX phonatory aerodynamic system model 6600. *J Voice*, 27, 46-56.
- WENDLANDT, W. 2017. Sprachstörungen im Kindesalter.
- WENDLER, J., RAUHUT, A. & KRÜGER, H. 1986. Classification of voice qualities. *Journal of Phonetics*, 14, 483-488.

- WENDLER, J., SEIDNER, W. & EYSHOLDT, U. 2015. Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie.
- WIRZ, S. L., SUBTELNY, J. D. & WHITEHEAD, R. L. 1981. Perceptual and spectrographic study of tense voice in normal hearing and deaf subjects. *Folia Phoniatr (Basel)*, 33, 23-36.
- 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. *J Speech Lang Hear Res*, 43, 796-809.
- WUYTS, F. L., HEYLEN, L., MERTENS, F., DU CAJU, M., ROOMAN, R., VAN DE HEYNING, P. H. & DE BODT, M. 2003. Effects of age, sex, and disorder on voice range profile characteristics of 230 children. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 112, 540-8.
- ZHANG, Z. 2016. Mechanics of human voice production and control. *J Acoust Soc Am*, 140, 2614.
- ZOROWKA, P. & WEBER, B. 2013. Sprachentwicklungsstörungen. . FRIEDRICH, G., BIGENZAHN, W. & ZOROWKA, P. (eds.) *Phoniatrie und Pädaudiologie: Einführung in die medizinischen, psychologischen und linguistischen Grundlagen von Stimme, Sprache und Gehör. 5., überarbeitete Auflage ed. Bern: Hans Huber.*
- ZRAICK, R. I., KEMPSTER, G. B., CONNOR, N. P., THIBEAULT, S., KLABEN, B. K., BURSAC, Z., THRUSH, C. R. & GLAZE, L. E. 2011. Establishing validity of the Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice (CAPE-V). *Am J Speech Lang Pathol*, 20, 14-22.

Danksagung

Tabellarischer Lebenslauf Julia Gerlich