

HNO 2006 · 54:971–980  
 DOI 10.1007/s00106-005-1307-1  
 Online publiziert: 10. August 2005  
 © Springer Medizin Verlag 2005

**Redaktion**  
 M. Ptok, Hannover

M. Fuchs<sup>1</sup> · S. Heide<sup>1</sup> · B. Hentschel<sup>2</sup> · G. Gelbrich<sup>3</sup> · A. Makuch<sup>4</sup> · S. Thiel<sup>1</sup> ·  
 R. Täschner<sup>1</sup> · A. Dietz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abteilung für Stimm-, Sprach- und Hörstörungen (Phoniatrie und Audiologie) –  
 Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde/Plastische Operationen,  
 Universitätsklinikum Leipzig AöR

<sup>2</sup> Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie

<sup>3</sup> Koordinierungszentrum für Klinische Studien der Universität Leipzig

<sup>4</sup> Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Poliklinik für  
 Kinderzahnheilkunde und Kieferorthopädie der Universität Leipzig

# Stimmleistungsparameter bei Kindern und Jugendlichen

## Einfluss der körperlichen Entwicklung und der sängerischen Aktivität

Bei der phoniatischen Betreuung der Kinder- und Jugendstimme ist eine alters- und geschlechtsspezifische Entwicklung bis zum Erreichen des Erwachsenenalters zu berücksichtigen, d. h. alle Parameter der Stimmleistung und -qualität unterliegen einer physiologischen Dynamik. Die klinische Erfahrung und die Erkenntnisse aus der Literatur [4, 9, 13, 15, 19] zeigen, dass ein Training der Sing- und Sprechstimme Stimmleistungs- und -qualitätsparameter positiv beeinflussen kann. Insofern stellt sich bei der Bewertung der funktionsdiagnostischen Ergebnisse häufig die Frage nach alters- und geschlechtsspezifischen Normwerten der Kinder- und Jugendstimme und inwieweit eine Erweiterung dieser Normwerte durch ein stimmliches Training möglich ist.

In diesen Altersgruppen wird insbesondere die Singstimme typischerweise individuell oder gemeinschaftlich im Gesangsunterricht an Musikschulen und in Kinder- und Jugendchören trainiert. Demgegenüber spielt die Ausbildung der Sprechstimme unter künstlerischen Aspekten vor dem Erwachsenenalter kaum eine Rolle. Es ist zu vermuten, dass die

sängerische Aktivität und damit der postulierte Einfluss auf die Stimmleistungs- und -qualitätsparameter sowohl vom Ausmaß der stimmlichen Belastung als auch von der Quantität und Qualität der gesangspädagogischen Betreuung beeinflusst werden.

Um die gesamte stimmliche Leistung differenzierter zu beschreiben, ist die Untersuchung einerseits von Leistungsparametern und andererseits von Klangstrukturen und – soweit bei der Kinderstimme schon möglich – Qualitätsmerkmalen sinnvoll. Bezüglich der Stimmleistungsparameter scheint die Entwicklung bei Knaben- und Mädchenstimmen vor dem Stimmwechsel sehr ähnlich zu verlaufen, während sie nach der Mutation, in der der Larynx seine dritte Funktion als sekundäres Geschlechtsmerkmal erhält, deutliche Unterschiede aufweist.

Hinsichtlich der Klangstrukturen wurden in der Literatur bei der Sprechstimme des Kindes Geschlechtsunterschiede beispielsweise bei der Grundfrequenz und den Vokalformantfrequenzen schon ab etwa dem 4. Lebensjahr beschrieben [22], die auf unterschiedliche Dimensionen des

Vokaltraktes zurückgeführt werden [27]. Andererseits gelang es in großen Hörversuchen nicht, die Singstimmen von Knaben und Mädchen zu differenzieren [14]. Ein Training der Singstimme wirkt sich schon bei Kindern positiv auf die Periodizität der Stimmlippenschwingung im Sinne einer spezifischen und besseren biomechanischen Abstimmung im Stimmapparat aus [6].

Die vorliegende Arbeit widmet sich der Untersuchung mehrerer Stimmleistungsparameter, da diese in der klinischen (und gesangspädagogischen) Praxis mit einfacheren Methoden zu ermitteln sind als akustische Parameter und damit für eine umfassende Einschätzung der Stimmproduktion im Zusammenhang mit dem laryngostroboskopischen Befund schnell zur Verfügung stehen.

Mehrere Studien haben über das gesamte vergangene Jahrhundert verschiedene Stimmleistungsparameter bei Kindern und Jugendlichen beschrieben, wobei in nahezu allen Veröffentlichungen aber jeweils nur entweder Probanden mit erhöhter oder ohne erhöhte stimmliche Aktivität untersucht wurden. Außerdem

**Tab. 1** Tonhöhenumfänge bei Kindern und Jugendlichen (Vergleich der Ergebnisse aus der Literatur)

Ungeschulte Stimmen		Geschulte Stimmen		
Tonhöhenumfang in Halbtönen	Literaturquelle	Tonhöhenumfang in Halbtönen		Literaturquelle
8 (7-Jährige)	Paulsen 1900 [20]	Knabenstimmen	31/32 (1./2. Sopran)	Brunner, Frank 1978 [4] (Wiener Sängerknaben)
20 (14-Jährige)			26/29 (1./2. Alt)	
16 (7-Jährige)	Fröschels 1920 [8]		29 (9- bis 13-Jährige)	Holtmann 1986 [13] (Tölzer Knabenchor)
26 (14-Jährige)				
21 (Knabenstimmen)	Naidr, Zboril, Sevcik 1965 [18]		31/31 (1./2. Sopran)	Fuchs 1997 [9] (Thomanerchor Leipzig)
			27/31 (1./2. Alt)	
20–23 (7- bis 14-Jährige)	Frank, Sparber 1970 [7]	Mädchenstimmen	27,5–29 (10- bis 11-Jährige)	Narewski 1999 [19] (MDR-Kinderchor Leipzig)
26 (Ø)	Hacki, Heitmüller 1999 [11]		31–33 (12- bis 13-Jährige)	
29	Böhme, Stuchlik 1995 [3]		32–32 (14- bis 15-Jährige)	
			30–30 (16- bis 18-Jährige) vor/nach Probe	

Vergleich ungeschulte – geschulte Stimmen: 24 Halbtöne (Ø) – Berger/Walde 2002 [2]

sind die erhobenen Daten aufgrund methodischer Unterschiede nur teilweise vergleichbar. Dennoch ermöglichen die erhobenen Befunde, Normwertbereiche für den Tonhöhenumfang und die mittlere ungespannte Sprechstimmlage bei den jeweils definierten Untersuchungsgruppen und deren altersabhängige Entwicklung zu beschreiben. Im Folgenden soll auf die bisherigen Erkenntnisse bezüglich der einzelnen Stimmleistungsparameter eingegangen werden:

### Tonhöhenumfänge

Eine Zusammenstellung repräsentativer Daten bei singenden und nicht singenden Kindern findet sich in **Tab. 1**. In einigen weiteren Publikationen werden Tonhöhenumfänge bei physiologischen und pathologischen (z. B. Stimmlippenknötchen) Kehlkopfbefunden verglichen [5, 29]. Aufgrund der unterschiedlichen Methodik zur Bestimmung des Tonhöhenumfangs (gebrochene Dur-Akkorde oder aufwärts und abwärts gesungene Tonleitern [1, 7, 9, 11, 19], Daten aus dem Singstimmprofil [3, 11, 28] sowie aus dem Elektrolottogramm [16, 21], Mittelwertbestimmungen aus Wiederholungen, Motivation der Probanden, Beurteilung des physiologischen oder musikalischen Stimmumfangs) besteht nur eine sehr eingeschränkte Vergleichbarkeit.

Berger u. Walde [2] konnten nachweisen, dass der Einsatz unterschiedlicher Methoden, z. B. Tonvorgabe durch ein Instrument oder Gebrauch der eigenen Stimme, auch zu unterschiedlichen

Ergebnissen bei der Ermittlung des Tonhöhenumfangs führten. Trotz dieser Einschränkungen lassen sich größere Stimmumfangs bei singenden im Vergleich zu gleichaltrigen nicht singenden Kindern und Jugendlichen nachweisen, die sich in der Gruppe der Chorsänger nach einer stimmlichen Belastung (z. B. Probe) noch um einige Halbtöne ausweiten. Berger et al. untersuchten 110 Kinder im Alter zwischen 7 und 9 Jahren und konnten einen positiven Einfluss der eigenen stimmlichen und musikalischen Aktivität sowie der musikalischen Ausbildung und Aktivität der Eltern auf die Stimmumfangs der Kinder nachweisen [2].

Eine statistisch signifikante Veränderung der Tonhöhenumfänge in den beiden Gruppen (ungeschulte und geschulte Stimmen) innerhalb eines Zeitraums von über 100 Jahren (Publikationen zwischen 1900 und 2002) lässt sich – auch unter Berücksichtigung der erwähnten methodischen Unterschiede – nicht feststellen.

### Dynamikumfangs

Zur Beschreibung der Intensitätsdynamik einer kindlichen Stimme eignen sich insbesondere die minimale und maximale Intensität im Singstimmprofil sowie die Form der Verlaufskurve der maximalen Intensitäten in Abhängigkeit von der jeweiligen Frequenz („Forte-Kurve“; [12]). Damit gelingt es, zwischen Kindern mit und ohne Stimmstörung zu differenzieren und die Registergrenze zwischen Modal- und Falsettregister zu identifizieren [28, 29]. Nach unserem Wissen existieren kei-

ne Vergleiche zwischen Kindern und Jugendlichen mit und ohne Ausbildung der Singstimme, wobei zu erwarten ist, dass sich ein Training auch auf eine Erweiterung des Dynamikumfangs auswirkt.

### Mittlere ungespannte Sprechstimmlage

Die Entwicklung der mittleren ungespannten Sprechstimmlage vollzieht sich vor der Mutation bei Knaben und Mädchen gleich. Als durchschnittliche Werte werden Frequenzen zwischen 220 und 262 Hz für Knaben und zwischen 211 und 281 Hz für Mädchen angegeben, wobei keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Geschlechtern bestehen [16, 24, 26]. Ebenso ließen sich keine Unterschiede zwischen gleichaltrigen Kindern unterschiedlicher Rassen nachweisen [17].

Longitudinale Untersuchungen bei Chorknaben zeigten, dass die Einzelwerte bis zu 12 Monaten vor Beginn der Mutation in einem konstanten Bereich zwischen 220 und 260 Hz lagen. In der Prämutationsphase bündeln sich die Einzelwerte und fallen nahezu linear im Mittel um 5 Hz/Monat ( $p < 0,001$ ) ab, bis die Männerstimmlage erreicht ist [9]. Chorsängerinnen wiesen ein Absinken der Durchschnittswerte der mittleren ungespannten Sprechstimmlage zwischen den Altersgruppen 10–11 Jahre (245 Hz) und 12–13 Jahre (228 Hz) auf, zwischen 12 und 18 Jahren stabilisierten sich diese zwischen 223 und 228 Hz [19].

### M. Fuchs · S. Heide · B. Hentschel · G. Gelbrich · A. Makuch · S. Thiel · R. Täschner · A. Dietz **Stimmleistungsparameter bei Kindern und Jugendlichen. Einfluss der körperlichen Entwicklung und der sängerischen Aktivität**

#### Zusammenfassung

Der Einfluss von Singen und Stimmtraining auf die Stimmleistung bei Kindern ist bekannt. Es fehlt bisher an einer vergleichenden Studie zwischen sängerisch aktiven und nicht aktiven Kindern, die den Einfluss von Alter und Geschlecht berücksichtigt. Daher existieren auch noch keine Normwertbereiche für die Beurteilung in der klinischen Praxis.

Folgende Parameter wurden bei 164 gesunden Kindern und Jugendlichen (90 Knaben, 74 Mädchen, 11–16 Jahre), von denen 78 in Kinder- und Jugendchören waren und 86 keine regelmäßige sängerische Aktivität aufwiesen, untersucht: Tonhöhen- und Dynamikumfang, jeweils mit ihren Grenzen, mittlere gespannte und ungespannte Sprechstimmlage, Stimmstärke (Kommandostimme) und Tonhaldedauer. Die statistische Analyse erfolgte mit einer dreifaktoriellen Varianzanalyse.

Sängerisch aktive Kinder weisen signifikant größere Tonhöhen- und Dynamikumfang auf ( $p < 0,0001$ ), wobei sich auch die jeweiligen Grenzen außer bei der unteren Tonhöhenumfangsgrenze signifikant unterscheiden ( $p < 0,0001$ ). Sängerisch aktive Knaben benutzen

eine höhere mittlere gespannte Sprechstimmlage. Bei der Prüfung der Stimmstärke mit der Kommandostimme war kein signifikanter Einfluss der sängerischen Aktivität nachweisbar ( $p = 0,051$ ), es bestanden jedoch tendenziell größere Stimmstärken bei den singenden Probanden. Als unerwartetes Ergebnis traten bei den nicht singenden Probanden in beiden Geschlechtern signifikant längere Tonhaldedauern auf ( $p < 0,0001$ ), was wir auf methodische Ursachen zurückführen.

Die sängerische Aktivität im Kindes- und Jugendalter hat positive Einflüsse auf mehrere Stimmleistungsparameter, wobei die vorliegenden Daten sowohl bei der klinischen und gesangspädagogischen Betreuung von jungen Sängern als auch von nicht singenden Kindern genutzt werden können, um Normwertbereiche abzuschätzen. Für die Messung ist insbesondere das Singstimmprofil geeignet.

#### Schlüsselwörter

Stimmleistung bei Kindern · Tonhöhen- und Dynamikumfang · Sängerische Aktivität · Normwertbereiche · Singstimmprofil

### Vocal efficiency parameters in children and adolescents. Effect of physical development and singing activity

#### Abstract

The influence of physical development and singing activity on vocal efficiency in children and adolescents is well known from clinical experience. There is, however, no comparative study between singing and non-singing children which also considers the influence of age and gender. Therefore, standard values for evaluation in clinical practice are missing.

We examined the following parameters in 164 healthy children and adolescents (90 boys, 74 girls; 11–16 years), 86 without singing activity (group A) and 78 members of children's and youth choirs (group B): frequency and dynamic range of voice and its borders with a voice range profile, mean fundamental frequency (normal and loud phonation), maximum voice intensity, and maximum duration of intonation. The statistical analysis was performed using three-way ANOVA.

We found significantly higher ranges of frequency and intensity in singing children and adolescents ( $p < 0,0001$ ). The borders of the dynamic range and the upper border of the frequency range were significantly high-

er in group B ( $p < 0,0001$ ). The boys in group B used a higher mean fundamental frequency during loud phonation. There were no significant differences between groups in maximum voice intensity ( $p = 0,051$ ) but a tendency towards higher values in singing children. As an unexpected result, we found significantly higher values in maximum duration of intonation in group A ( $p < 0,0001$ ) independent of age and gender, which seems to be related to the methods used.

Regular training of the singing voice results in positive effects on several voice parameters in children as well as adolescents. Our results can be used for estimating standard values in professional clinical and educational care of young singing voices and non-singing children. For this purpose, voice range profile is particularly suitable.

#### Keywords

Vocal efficiency in children · Frequency and dynamic range · Singing activity · Normal values · Voice range profile

Da die mittlere ungespannte Sprechstimmlage an genetisch determinierte laryngeale Voraussetzungen geknüpft ist, sind im Vergleich zwischen sängerisch aktiven und nicht aktiven Kindern und Jugendlichen keine Unterschiede zu erwarten. Bei der Prüfung der gespannten Sprechstimmlage könnte sich aber ein Training der Sing- und Sprechstimme widerspiegeln.

#### Stimmstärke und Tonhaldedauer

Nach unserem Wissen existieren in der Literatur keine vergleichenden Angaben über die Stimmstärke (unter Verwendung der Kommandostimme) und der Tonhaldedauer bei singenden und nicht singenden Kindern und Jugendlichen. Es ist jedoch zu erwarten, dass – wie auch bei den Erwachsenen – ein Kind oder Jugendlicher mit einer gut trainierten Atemfunktion und besseren Abstimmung der Anteile des Stimmapparates (insbesondere Nutzung der Resonanz) bessere Werte bei der Messung beider Parameter erbringt als seine stimmlich nicht ausgebildeten Altersgenossen.

Es fehlt daher an vergleichenden Untersuchungen über die Beeinflussung von Stimmleistungsparametern durch die sängerische Aktivität unter Berücksichtigung der alters- und geschlechtsspezifischen Entwicklung. Eine vollständige Untersuchung aller genannten Stimmleistungsparameter bei jeweils gleichaltrigen singenden und nicht singenden Kindern und Jugendlichen erscheint uns für einen umfassenden Vergleich der beiden Gruppen unerlässlich.

Von der Kenntnis des Einflusses von Alter, Geschlecht und sängerischer Aktivität wäre einerseits die Beschreibung von Normwertbereichen möglich, die in der klinischen und gesangspädagogischen Praxis helfen können, die stimmliche Leistung eines Kindes oder Jugendlichen umfassend einzuschätzen. Andererseits ließen sich insbesondere für Sänger in Kinder- und Jugendchören, aber auch für „Problemfälle“ im Einzel-Gesangsunterricht wertvolle Informationen für eine optimale phoniatische Betreuung in Zusammenarbeit mit dem Gesangspädagogen ableiten. So könnten beispielsweise Hinweise für die stimmliche Eignung in

Tab. 2 Ergebnisse der einzelnen Parameter (arithmetisches Mittel (95%-KI), bei den Frequenzen wurden zur Orientierung die psychoakustischen Notationen angegeben)

Parameter	Sänger						Nichtsänger					
	Knaben		Mädchen		Knaben		Mädchen		Knaben		Mädchen	
	<13,5 Jahre	≥13,5 Jahre										
	n=26	n=21	n=20	n=11	n=30	n=13	n=34	n=9	n=30	n=13	n=34	n=9
<b>Physiologischer Tonhöhenumfang</b> [Halbtöne]	26,5 (23,9–29,1)	26,5 (24,0–29,0)	26,5 (24,2–28,8)	27,5 (24,6–30,5)	18,9 (16,4–21,4)	19,2 (15,8–22,6)	22,3 (20,6–23,9)	24,0 (19,4–28,6)	18,9 (16,4–21,4)	19,2 (15,8–22,6)	22,3 (20,6–23,9)	24,0 (19,4–28,6)
Obere Tonhöhenumfangsgrenze [Hz]	823,0 (739,4–906,5)	541,6 (446,2–637,1)	812,0 (724,0–900,0)	820,2 (721,4–918,9)	578,3 (506,1–650,5)	338,1 (253,5–422,7)	653,4 (600,5–706,3)	721,1 (554,0–888,1)	578,3 (506,1–650,5)	338,1 (253,5–422,7)	653,4 (600,5–706,3)	721,1 (554,0–888,1)
Untere Tonhöhenumfangsgrenze [Hz]	174,2 (161,4–189,0)	114,7 (96,6–132,9)	171,9 (163,8–180,1)	166,2 (151,0–181,4)	185,0 (176,2–193,8)	105,7 (91,1–120,2)	177,7 (169,4–186,0)	175,1 (156,6–193,5)	185,0 (176,2–193,8)	105,7 (91,1–120,2)	177,7 (169,4–186,0)	175,1 (156,6–193,5)
<b>Dynamikumfang</b> [dB]	44,2 (41,0–47,5)	40,9 (36,8–44,9)	29,9 (25,5–34,4)	38,1 (32,8–43,4)	21,4 (18,6–24,2)	23,2 (18,7–27,8)	23,7 (20,6–26,9)	25,3 (20,7–29,9)	21,4 (18,6–24,2)	23,2 (18,7–27,8)	23,7 (20,6–26,9)	25,3 (20,7–29,9)
Maximale Intensität [dB]	92,5 (90,2–94,7)	89,6 (86,4–92,9)	81,8 (78,3–85,2)	88,1 (82,7–93,5)	75,8 (74,2–77,5)	76,0 (71,4–80,6)	76,3 (73,8–78,8)	77,6 (73,8–81,5)	75,8 (74,2–77,5)	76,0 (71,4–80,6)	76,3 (73,8–78,8)	77,6 (73,8–81,5)
Minimale Intensität [dB]	48,2 (46,7–49,7)	48,8 (47,0–50,5)	51,8 (49,8–53,9)	50,0 (46,9–53,1)	54,5 (52,7–56,3)	52,8 (50,2–55,3)	52,6 (50,4–54,7)	52,3 (47,1–57,6)	54,5 (52,7–56,3)	52,8 (50,2–55,3)	52,6 (50,4–54,7)	52,3 (47,1–57,6)
Differenz der mittleren ungespannten und gespannten SSL	3,9 (2,7–4,6)	4,5 (3,7–5,9)	2,2 (1,5–2,9)	2,9 (1,9–3,9)	2,3 (1,9–2,7)	2,5 (1,8–3,1)	1,9 (1,7–2,2)	2,4 (2,0–2,8)	2,3 (1,9–2,7)	2,5 (1,8–3,1)	1,9 (1,7–2,2)	2,4 (2,0–2,8)
<b>Mittlere ungespannte SSL</b> [Hz]	229,8 (210,6–249,0)	154,3 (133,2–167,6)	245,3 (237,8–252,7)	225,4 (213,0–237,8)	238,4 (229,1–247,7)	155,8 (131,9–179,7)	243,5 (234,8–252,2)	232,1 (219,8–244,4)	238,4 (229,1–247,7)	155,8 (131,9–179,7)	243,5 (234,8–252,2)	232,1 (219,8–244,4)
<b>Mittlere gespannte SSL</b> [Hz]	286,3 (260,6–304,5)	196,7 (176,7–217,8)	279,5 (264,4–294,7)	267,9 (244,3–291,4)	272,0 (262,5–281,5)	179,8 (151,8–207,9)	272,2 (263,4–281,1)	267,1 (255,2–279,0)	272,0 (262,5–281,5)	179,8 (151,8–207,9)	272,2 (263,4–281,1)	267,1 (255,2–279,0)
<b>Stimmstärke</b> [dB]	80,7 (78,3–83,2)	78,4 (75,6–81,1)	76,8 (74,7–78,9)	81,5 (77,2–86,0)	77,6 (75,7–79,4)	76,6 (74,0–79,3)	76,6 (74,8–78,4)	79,4 (75,5–83,4)	77,6 (75,7–79,4)	76,6 (74,0–79,3)	76,6 (74,8–78,4)	79,4 (75,5–83,4)
<b>Tonhaltedauer</b> [s]	13,7 (12,2–15,2)	14,3 (12,0–16,5)	11,8 (10,6–13,0)	13,7 (11,7–15,8)	16,8 (15,2–18,4)	14,8 (11,8–17,7)	14,4 (12,7–16,0)	18,0 (14,6–21,4)	16,8 (15,2–18,4)	14,8 (11,8–17,7)	14,4 (12,7–16,0)	18,0 (14,6–21,4)

**Tab. 3** Einfluss von Geschlecht, Alter und sängerischer Aktivität – Ergebnisse der Varianzanalysen (p-Werte)

Parameter	Signifikanz des Einflusses auf die einzelnen Parameter						
	Geschlecht	Alter	Sängerische Aktivität	Unter Berücksichtigung der Wechselwirkung von			
				Geschlecht und Alter	Geschlecht und sängerischer Aktivität	Alter und sängerischer Aktivität	Geschlecht, Alter und sängerischer Aktivität
<b>Physiologischer Tonhöhenumfang</b>	0,022	0,436	<0,0001	0,525	0,071	0,798	0,923
Obere Tonhöhenumfangsgrenze	<0,0001	0,001	<0,0001	<0,0001	0,137	0,430	0,885
Untere Tonhöhenumfangsgrenze	<0,0001	<0,0001	0,382	<0,0001	0,493	0,371	0,220
<b>Dynamikumfang</b>	0,025	0,199	<0,0001	0,073	<0,0001	0,916	0,060
Maximale Intensität	0,022	0,328	<0,0001	0,033	0,001	0,757	0,106
Minimale Intensität	0,459	0,340	<0,0001	0,789	0,035	0,859	0,257
Differenz der mittleren ungespannten und gespannten SSL	0,001	0,024	<0,0001	0,927	0,008	0,282	0,480
<b>Mittlere ungespannte SSL</b>	<0,0001	<0,0001	0,382	<0,0001	0,676	0,809	0,590
<b>Mittlere gespannte SSL</b>	<0,0001	<0,0001	0,161	<0,0001	0,437	0,989	0,600
<b>Stimmstärke</b>	0,754	0,256	0,051	0,004	0,484	0,899	0,379
<b>Tonhaltedauer</b>	0,582	0,171	0,001	0,019	0,268	0,775	0,143

Signifikante Zusammenhänge sind kursiv gesetzt.

Chören mit hoher stimmlicher Aktivität gewonnen werden.

## Methoden

Wir untersuchten 164 stimmgesunde Probanden (90 Knaben, 74 Mädchen) im Alter zwischen 11 und 16 Jahren, die wir in Leipziger Chören und an einem Gymnasium rekrutierten. Es wurden sängerisch aktive (im Folgenden „Sänger“) und nicht aktive (im Folgenden „Nichtsänger“) Kinder und Jugendlichen beider Geschlechter untersucht.

Einschlusskriterium für die Gruppe der Sänger war eine regelmäßige kontrollierte sängerische Aktivität (Gesangsunterricht, Chorsingen, solistisches Singen) über den Musikunterricht hinaus für mehr als 3 Monate. Diese wurden sowohl von den lokalen Organisatoren als auch von den Kindern selbst erfragt.

In die Gruppe der Nichtsänger wurden Schülerinnen und Schüler des Leipziger Anton-Phillip-Reclam-Gymnasiums aufgenommen, die zum Zeitpunkt der Untersuchung und in den davor liegenden 5 Jahren nicht im Sinne der oben genannten Einschlusskriterien sängerisch aktiv waren. Folgende Chöre nahmen an der Studie teil: Thomanerchor Leipzig

(Knabenchor) mit 60 Probanden, Schola cantorum Leipzig (Mädchenchor) mit 14 Probanden, Gewandhaus-Kinderchor (gemischter Chor) mit 16 Probanden. Aus weiteren Chören (z. B. MDR-Kinderchor, Kinderchor der Oper Leipzig, Schulchöre) untersuchten wir einzelne Probanden. Ausschlusskriterien für die Aufnahme in die Studie waren:

1. Vorliegen einer Erkrankung des Stimmapparates oder anderer schwerer Erkrankungen, die die Stimme beeinflussen,
2. Vorliegen einer psychiatrisch-neurologischen oder psychologischen Erkrankung,
3. Vorliegen einer gravierenden beidseitigen Hörstörung von mindestens jeweils 40 dB in 2 der Frequenzen 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz,
4. mangelnde Compliance.

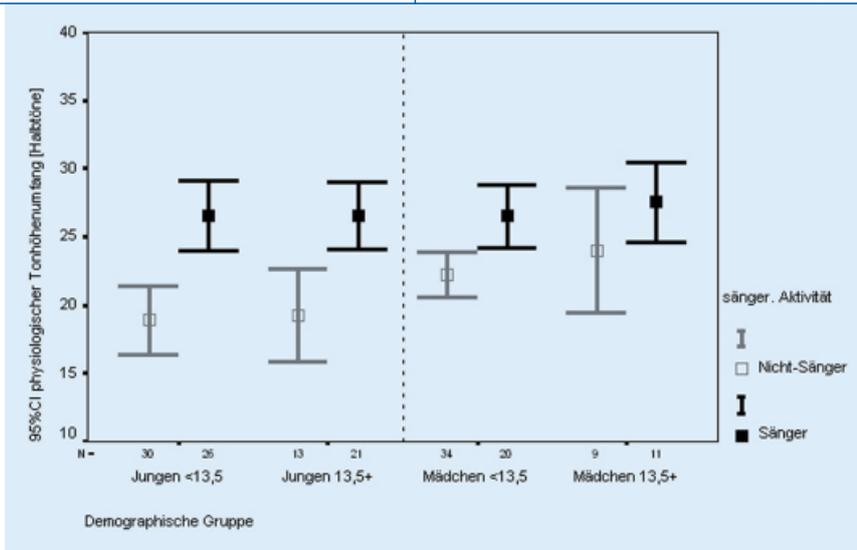
Bei jedem Probanden wurde eine ausführliche Anamnese unter besonderer Berücksichtigung der stimmlichen Entwicklung und den Stimmapparat beeinflussender Erkrankungen erhoben. Außerdem führten wir einen kompletten HNO-Spiegelstatus inklusive Stimmgabeluntersuchungen nach Weber und Rinne sowie eine Videolaryngostroboskopie

durch. Bei pathologischen Befunden der Stimmgabelversuche erfolgte die Durchführung eines Tonschwellenaudiogramms in unserer Abteilung.

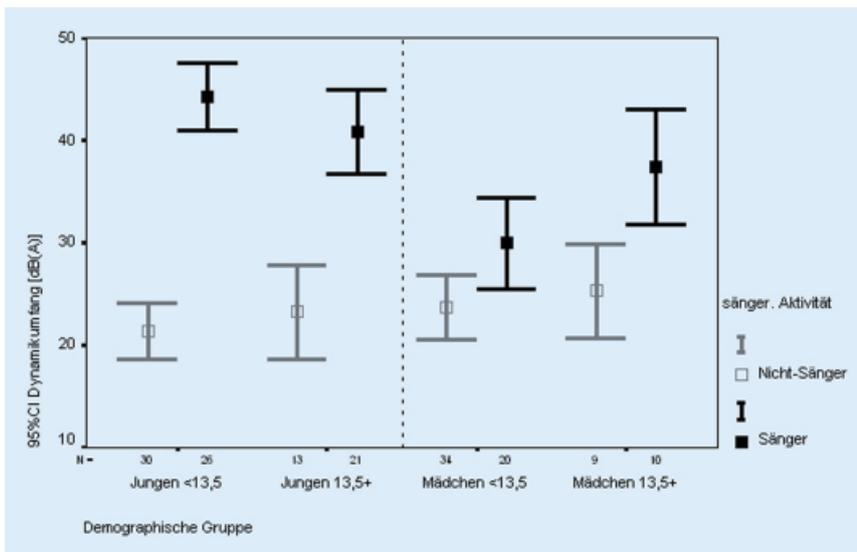
Anschließend bestimmten wir folgende Stimmleistungsparameter:

1. physiologischer Tonhöhenumfang mit oberer und unterer Tonhöhenumfangsgrenze,
2. Dynamikumfang (maximale und minimale Intensität im Singstimmprofil),
3. mittlere ungespannte und gespannte Sprechstimmlage,
4. Stimmstärke (Kommandostimme),
5. Tonhaltedauer.

Die Messung des Tonhöhenumfangs, dessen Grenzen und der Sprechstimmlagen erfolgte mit Hilfe eines Keyboards durch Auf- und Abwärtssingen einer Tonleiter bzw. durch Zählen von 21 aufwärts. Die Stimmstärke wurde unter Verwendung der Kommandostimme („Auf die Plätze – fertig – los!“) mit einem Schallpegelmessgerät (ATMOS SMO3) ermittelt. Weiterhin erfolgte die Messung des Singstimmprofils gemäß den Vorgaben der Union der Europäischen Phoniater [23] unter Verwendung eines Stimmfeldmessgerätes TUR SFo2 (Medizintechnik Dresden).



**Abb. 1** ▲ Einfluss von Alter, Geschlecht und sängerischer Aktivität auf den physiologischen Tonhöhenumfang (95%-Konfidenzintervall)



**Abb. 2** ▲ Einfluss von Alter, Geschlecht und sängerischer Aktivität auf den Dynamikumfang (95%-Konfidenzintervall)

Zur Beurteilung des Einflusses von Geschlecht, Alter und sängerischer Aktivität auf die Stimmleistungs- und -qualitätsparameter wurden dreifaktorielle Varianzanalysen gerechnet. Um aus klinischer Sicht die Effekte von Pubertät und Mutation zu untersuchen, wurden 2 Altersgruppen gebildet: für Probanden unter 13,5 Jahren und für solche, die mindestens 13,5 Jahre alt waren. Zur Prüfung von Wechselwirkungen zwischen den 3 Faktoren wurden Wechselwirkungsterme modelliert. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS®.

## Ergebnisse

Alle 164 Kinder und Jugendlichen konnten in die Studie eingeschlossen werden, es lagen von allen Probanden vollständige Datensätze vor.

Eine Übersicht über die Ergebnisse aller Parameter findet sich in **Tab. 2**. Die Ergebnisse der dreifaktoriellen Varianzanalyse sind in **Tab. 3** zusammengefasst. Die exemplarische graphische Veranschaulichung erfolgt in Fehlerbalken mit 95%-Konfidenzintervall. Im Folgenden wird auf die einzelnen Parameter eingegangen.

## Physiologischer Tonhöhenumfang, obere und untere Tonhöhenumfangsgrenze

Die Sänger weisen in beiden Geschlechtern größere Tonhöhenumfänge auf als die Nichtsänger ( $p < 0,0001$ ), wobei die Unterschiede bei den Knaben deutlicher als bei den Mädchen sind (**Abb. 1**). Das ist darauf zurückzuführen, dass die nicht singenden Knaben noch geringere Tonhöhenumfänge haben als die nicht singenden Mädchen. Zwischen den beiden Altersgruppen innerhalb der Geschlechter bestehen keine Unterschiede, d. h. vor und nach der Mutation sind die beschriebenen Verhältnisse vergleichbar. Die größere Streuung bei den älteren nicht singenden Mädchen ist durch die kleine Probandenzahl bedingt.

Der Unterschied der Tonhöhenumfänge ist nahezu ausschließlich auf die Erweiterung der oberen Stimmumfangsgrenze zurückzuführen ( $p < 0,0001$ ), während sich die untere Grenze nicht signifikant unterschied ( $p = 0,368$ ). Bei den Knaben zeigt sich mit zunehmendem Alter ein Absinken beider Umfangsgrenzen im Rahmen der Mutation. Bei den Mädchen zeigt sich bei der unteren Grenze die Tendenz, dass regelmäßig singende Mädchen einen gering auch nach unten erweiterten Tonhöhenumfang aufweisen.

## Dynamikumfang mit minimaler und maximaler Intensität im Singstimmprofil

Die Dynamikumfänge sowie die minimalen und maximalen Intensitäten sind unabhängig vom Alter und vom Geschlecht in der Gruppe der Sänger signifikant größer als in Gruppe A (jeweils  $p < 0,0001$ ). Innerhalb dieser Gruppe sind die Unterschiede bezüglich des Dynamikumfanges und der maximalen Intensität bei den Knaben signifikant stärker ausgeprägt als bei den Mädchen (jeweils  $p < 0,0001$ ). Bei den singenden Mädchen fällt zudem als Tendenz auf, dass nach der Mutation die Dynamikumfänge größer werden, weil auch die maximale Intensität zunimmt und die minimale Intensität abnimmt (**Abb. 2**).

## Mittlere ungespannte und gespannte Sprechstimmlage

Die mittleren ungespannten und gespannten Sprechstimmlagen wiesen zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede auf. Erwartungsgemäß spiegelte sich das bei Knaben stärker ausgeprägte Kehlkopfwachstum während der Mutation in signifikanten Einflüssen des Alters und des Geschlechts bzw. der Wechselwirkung zwischen beiden Variablen wider.

Die Differenz oder das Intervall der psychoakustischen Notation zwischen ungespannter und gespannter Sprechstimmlage zeigt eine Signifikanz der Wechselwirkung zwischen Geschlecht und sängerischer Aktivität, d. h., sängerisch aktive Knaben verwenden eine höhere mittlere gespannte Sprechstimmlage als die nicht singenden Jungen (■ Abb. 3).

## Stimmstärke

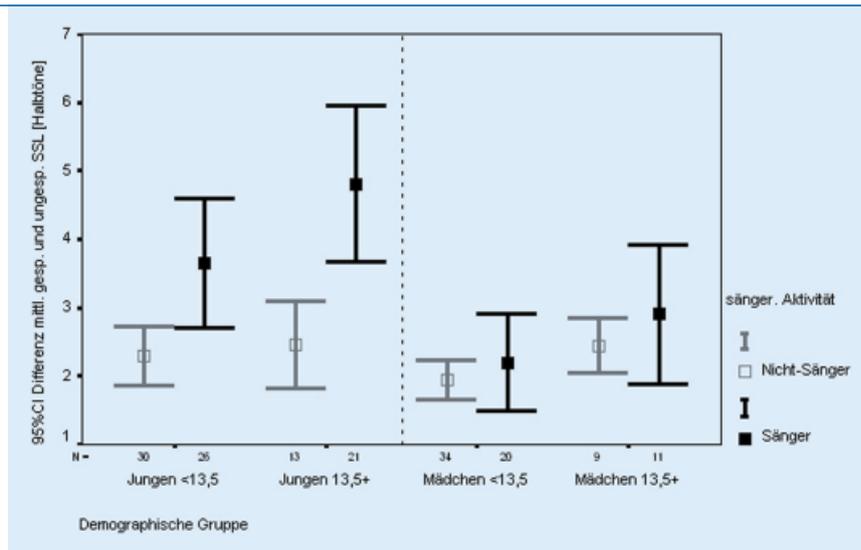
Die Stimmstärken zeigten bei der Prüfung der Kommandostimme keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen ( $p=0,051$ ). Es fielen aber als Tendenz größere Stimmstärken bei den singenden im Vergleich zu den nicht singenden Knaben in beiden Altersgruppen und bei den älteren singenden Mädchen auf.

## Tonhaltedauer

Die Tonhaltedauer war bei den Nichtsängern beider Geschlechter signifikant größer als bei den Sängern ( $p=0,001$ ), was insbesondere bei den jüngeren Knaben und bei den Mädchen in beiden Altersgruppen auffiel.

## Diskussion

Die sängerische Aktivität hat bei Knaben und Mädchen in allen untersuchten Altersgruppen, also auch während des Stimmwechsels, einen signifikant positiven Einfluss auf den Umfang der Stimme hinsichtlich der Tonhöhe und der Intensität. Sängerisch aktive Knaben benutzen eine höhere mittlere gespannte Sprechstimmlage. Bei der Prüfung der Stimmstärke mit der Kommandostimme



**Abb. 3 ▲** Einfluss von Alter, Geschlecht und sängerischer Aktivität auf das Intervall (Differenz) zwischen mittlerer gespannter und ungespannter Sprechstimmlage (95%-Konfidenzintervall)

war kein signifikanter Einfluss der sängerischen Aktivität nachweisbar, es bestanden jedoch tendenziell größere Stimmstärken bei den singenden Probanden. Schließlich traten als unerwartetes Ergebnis in beiden Geschlechtern signifikant längere Tonhaltedauern bei den nicht singenden Probanden auf.

## Tonhöhenumfang

Die Erweiterung des Tonhöhenumfangs durch die höhere obere Grenze lässt sich mit der Trainierbarkeit der laryngealen Muskulatur erklären, während die untere Tonhöhenumfangsgrenze mehr durch andere anatomische Strukturen des Stimmapparates bedingt und mit einem Training weniger beeinflussbar ist. Die diesbezüglichen Erfahrungen von der Erwachsenenstimme lassen sich somit auch auf die Kinderstimme übertragen, wobei sich bei Letzterer zwei gegenläufige Entwicklungsprozesse zeigen, die einer gesangspädagogischen Balance bedürfen: Insbesondere bei den Knaben wird die sängerische Ausbildung zwar zu einer Erweiterung der oberen Stimmumfangsgrenze führen. Diese wird jedoch durch das Kehlkopfwachstum mit dem gesamten Stimmumfang immer weiter nach unten verlagert. Während der Mutation kommt es zum raschen Wachstum des Larynx unter endokriner Steuerung des Testosteron, was in der Regel mit einer Verringerung des Stimmumfangs und Einschränkung

der Stimmleistungs- und -qualitätsparameter verbunden ist, die insbesondere bei Knaben zu einer verminderten Belastbarkeit für die sängerische Aktivität führt.

In den vorliegenden Ergebnissen hat das Alter keinen signifikanten Einfluss auf den Stimmumfang, d. h. die mutationelle Einengung des Stimmumfangs spiegelt sich nicht wider. Die Erklärung liegt in der Tatsache begründet, dass in die dreifaktorielle Analyse Probanden im Alter zwischen 10 und 17 Jahren einfließen und der Zeitpunkt der Mutation interindividuellen Schwankungen unterliegt. So waren z. B. sowohl bereits 11-jährige Knaben und 10-jährige Mädchen als auch noch 14- und 15-jährige Probanden/Probandinnen in der Mutation vertreten.

Unsere Ergebnisse korrelieren besser mit den aktuelleren Angaben in der Literatur [2, 5] als mit den Ergebnissen zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts [8, 20], was auf eine allgemeine Entwicklungstendenz zu einer Erweiterung und Verschiebung der Stimmumfangs- und der Sprechstimmlagen um z. T. 2–3 Halbtöne nach unten hinweist. Demgegenüber zeigte sich, dass Alter und Geschlecht einen signifikanten Einfluss auf die Stimmumfangsgrenzen und die mittleren Sprechstimmlagen haben, also auf Größen, die das Wachstum und die geschlechtsspezifische Entwicklung des Stimmapparates repräsentieren.

## Dynamikumfang

Die Dynamikbreite ist bei singenden Kindern unabhängig vom Alter und vom Geschlecht größer als bei den nicht singenden Probanden, wobei sich beide Grenzen erweitern. Stimmlich trainierte Kinder und Jugendliche sind also in der Lage, deutlich lauter bzw. leiser zu singen, was für ein besseres Steuerungsvermögen der Stimmproduktion und insbesondere des Zusammenspiels zwischen subglottischem Druck und Stimmlippenspannung spricht. Inwieweit bei Kindern auch dynamische Effekte durch die Nutzung von Resonanzstrategien möglich sind, ist noch nicht abschließend untersucht.

Eigene Analysen lassen vermuten, dass nicht – wie im Erwachsenenalter – der Sängermanant eine ausschlaggebende Rolle spielt, sondern das Formanttuning wie bei der Frauenstimme für eine größere stimmliche Effizienz sorgt [10]. Obgleich in der Literatur nach unserem Wissen keine vergleichbaren Untersuchungen über die Dynamikbreite bei Kindern veröffentlicht wurden, eignen sich die Daten als Grundlage für eine erste Definition von Normwerten der sängerisch aktiven und nicht aktiven jungen Stimme.

## Frequenz der Stimmlagen

Die Ergebnisse der Frequenzlagen der mittleren ungespannten Sprechstimmlagen sind gut mit den Angaben mit der Literatur vergleichbar. Eine Beeinflussung der beiden Sprechstimmlagen durch die sängerische Aktivität war nicht erwartet worden. Es zeigte sich jedoch eine tendenzielle Abweichung von dieser Annahme bei den Chorknaben, die höhere gespannte Sprechstimmlagen benutzen als in der nicht singenden Vergleichsgruppe. Diese Tendenz wird signifikant, wenn man das Intervall (Differenz) zwischen beiden Sprechstimmlagen vergleicht: während dieses Intervall in der Gruppe der Nichtsänger zwischen einem Ganzton und einer kleinen Terz liegt, findet sich der Mittelwert bei den jüngeren Chorknaben zwischen kleiner und größerer Terz, bei den älteren Chorknaben bei einer reinen Quarte.

Aus der klinischen Erfahrung ist bekannt, dass bei Werten dieses Intervalls,

die größer als eine Terz sind, die Gefahr einer dauerhaften Stimmüberhöhung im gespannten Sprechen und dadurch einer Stimmstörung resultieren kann, insbesondere da der Larynx während seines mutationellen Wachstums durch eine erhöhte Vulnerabilität gekennzeichnet ist. Daraus kann der Hinweis an die Gesangspädagogen in Knabenhören abgeleitet werden, in besonderem Maße auf den Umgang mit der Sprechstimme und die gespannte Sprechstimmlage zu achten und ggf. einzuwirken.

Die höheren Standardabweichungen der Mittelwerte bei den gemessenen Frequenzen (Tonhöhenumfangsgrenzen und Sprechstimmlagen) ergeben sich aus dem physiologischen Absinken der Frequenzen über die gemessene Altersspanne.

## Abweichungen vom Erwarteten

Von der Erwartung abweichende Ergebnisse fanden sich bei den Parametern Stimmstärke und Tonhaldedauer: Die Stimmstärke zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, bei der Tonhaldedauer fanden sich signifikant größere Werte bei den sängerisch nicht aktiven Probanden. Eine Ursache für diese unerwarteten Resultate könnten einerseits methodische Gründe sein. Die Überprüfung der Kommandostimme scheint nicht die geeignete Untersuchungsmethode für die Kinder- und Jugendstimme zu sein, da diese spezielle Stimmleistung in der alltäglichen Situation nicht trainiert und auch nicht häufig gebraucht wird.

Zudem weisen Wendler et al. darauf hin, dass der Messung der Tonhaldedauer oft eine zu große Aussagekraft zugemessen wird [25]. Andererseits könnte eine weitere Ursache im unterschiedlichen Qualitätsanspruch der Probanden bei der Phonation des ausgehaltenen Vokals liegen. Überspitzt gesagt, gewannen wir bei der Durchführung der Untersuchungen den Eindruck, dass wir bei den sängerisch nicht aktiven Probanden trotz mehrfacher Wiederholung und Anleitung nicht selten die Geräuschhaldedauer statt der Tonhaldedauer registrierten. Das Bestreben der Chorsängerinnen und -sänger, bei dieser Untersuchung einen qualitativ hochwertig gesungenen Ton zu produzieren, könnte zu einer geringeren Dauer geführt haben

und bleibt daher aus methodischer Sicht als kritischer Punkt anzumerken.

Eine weitere Problematik besteht in der Klarheit der Trennung der Gruppen der Sänger und Nichtsänger durch das Kriterium der regelmäßigen kontrollierten sängerischen Aktivität über mehr als 3 Monate. Bereits in der Konzeption der Studie wurden verschiedene methodische Modelle diskutiert, um den Effekt der sängerischen Aktivität herauszuarbeiten. Dabei war es eine wichtige Zielstellung aufzuspüren, wann und in welcher Intensität wesentliche Veränderungen der Stimmleistungsparameter auftreten. Dies erfordert allerdings deutlich größere Fallzahlen, die alle Zeitabschnitte abdecken. Sinnvoller wären zur Erforschung des zeitlichen Verhaltens Untersuchungen im longitudinalen Verlauf.

Aufgrund der auftretenden Inhomogenitäten war es daher nicht sinnvoll, Korrelationen für die gesamte Studienpopulation zu berechnen. Bei der Berechnung der Innergruppenkorrelationen könnte das Problem zu geringer Power auftreten. Für die Fragestellung nach dem Zeitpunkt und der Intensität der Veränderungen der Stimmleistungsparameter wäre zudem eine wesentlich umfangreichere Befragung notwendig gewesen, die für die Studienteilnehmer eine größere Belastung dargestellt hätte und zu Compliance-Problemen hätte führen können. In Abwägung der genannten Aspekte haben wir uns entschlossen, auf longitudinale Untersuchungen zu verzichten und das beschriebene Vorgehen gewählt.

Die Grenze zur Unterscheidung von Sängern und Nichtsängern wurde aus heuristischen Gründen bei 3 Monaten regelmäßiger kontrollierter sängerischer Aktivität gezogen. Aus der Erfahrung heraus, dass bereits nach wenigen Wochen sängerischer Aktivität deutliche Veränderungen der Stimmleistungsparametern zu beobachten waren, schien diese Grenze gerechtfertigt. Dies könnte zwar zur Unterschätzung von Gruppenunterschieden geführt haben, nicht aber zur Darstellung von Unterschieden, die es eigentlich nicht gibt.

Zusammenfassend hat die sängerische Aktivität im Kindes- und Jugendalter positive Einflüsse auf mehrere Stimmleistungsparameter, wobei die vorliegenden

Hier steht eine Anzeige.



Daten sowohl bei der klinischen und gesangspädagogischen Betreuung von jungen Sängern als auch von nicht singenden Kindern genutzt werden können, um Normwertbereiche abzuschätzen.

## Fazit für die Praxis

- **Jungen und Mädchen zwischen 10 und 17 Jahren, die regelmäßig in Kinder- und Jugendchören singen und ihre Stimme trainieren, können statistisch signifikant höher, lauter und leiser singen als ihre gleichaltrigen, sängerisch nicht aktiven Altersgenossen.**
- **Die bei sängerisch aktiven Kindern erweiterten Normwertbereiche für den Tonhöhen- und Dynamikumfang sollten in der klinischen Praxis bei der Beurteilung einer Kinder- und Jugendstimme, insbesondere bei der Zusammenarbeit mit einem Chorleiter oder Gesangspädagogen, berücksichtigt werden.**
- **Dafür eignet sich das Singstimmprofil besser als die Messung der Stimmstärke mit einem Schalldruckpegelmessgerät oder der Tonhaldauer.**

## Korrespondierender Autor

**Dr. M. Fuchs**

Abteilung für Stimm-, Sprach- und Hörstörungen (Phoniatrie und Audiologie) – Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde/Plastische Operationen  
Universitätsklinikum Leipzig AöR  
Liebigstraße 18 a, 04103 Leipzig  
michael.fuchs@medizin.uni-leipzig.de

## Literatur

1. Bennett S (1983) A 3-year longitudinal study of school-aged children's fundamental frequencies. *J Speech Hear Res* 26(1): 137–141
2. Berger R, Walde V (2002) Zur Stimmentwicklung bei Grundschulkindern und ihren musikalischen Aktivitäten. In: Gross M, Kruse E (Hrsg) Aktuelle phoniatrich-pädaudiologische Aspekte 2002/2003, Bd 10. Median, Heidelberg, S 111–115
3. Böhme G, Stuchlik G (1995) Voice profiles and standard voice profile of untrained children. *J Voice* 9(3): 304–307
4. Brunner W, Frank F (1978) Der Einfluss einer mehrstündigen stimmlichen Belastung auf die Singstimme der Wiener Sängerknaben. *Folia Phoniatri Logop* 30: 22–27
5. Campisi P, Tewfik TL, Manoukian JJ, Schloss MD, Pelland-Blais E, Sadeghi N (2002) Computer-assisted voice analysis: establishing a pediatric database. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 128(2): 156–160
6. Dejonckere PH, Wienecke GH, Bloemenkamp D, Lebacqz J (1996) F0-perturbation and F0/loudness dynamics in voices of normal children, with and without education in singing. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 35: 107–115
7. Frank F, Sparber M (1970) Stimmumfänge bei Kindern aus neuer Sicht. *Folia phoniatri logop* 22: 379–402
8. Fröschels E (1920) Untersuchungen über die Kinderstimme. *Zentralbl Psychol* 14: 22–24
9. Fuchs M, Behrendt W, Keller E, Kratzsch J (1999) Methoden der Vorhersage des Eintrittszeitpunktes der Mutation bei Knabenstimmen: Untersuchungen bei Sängern des Thomanerchores Leipzig. *Folia Phoniatri Logop* 51(6): 261–271
10. Fuchs M, Wendler J, Gross C, Gelbrich G, Heidemann S (2004) Sängerknaben im Kindes- und Jugendalter? In: Gross M, Kruse E (Hrsg) Aktuelle phoniatrich-pädaudiologische Aspekte 2004/2005, Bd 12. Median, Heidelberg, S 119–123
11. Hacki T, Heitmüller S (1999) Development of the child's voice: premutation, mutation. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 49: 141–144
12. Heylen L, Wuyts FL, Mertens F, De Bodt M, Pattyn J, Croux C, Van de Heyning PH (1998) Evaluation of the vocal performance of children using a voice range profile index. *J Speech Lang Hear Res* 41(2): 232–238
13. Holtmann J (1986) Quantitative Stimmfeldmessung bei solistischen Knabenstimmen (Tölzer Knabenchor). Universität München, Medizinische Fakultät, Dissertation A, S 203–224
14. Howard DM, Szymanski JE (2000) Listener perception of girls and boys in an English Cathedral choir. *Proceedings of the 6th International Conference on Music Perception and Cognition*: 1–6
15. Kovacic G, Budanovac A (2002) Acoustic characteristics of adolescent actors' and non-actors' voices. *Folia Phoniatri Logop* 54: 125–132
16. Linders B, Massa GG, Boersma B, Dejonckere PH (1995) Fundamental voice frequency and jitter in girls and boys measured with electroglottography: influence of age and height. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 33(1): 61–65
17. Morris R (1997) Speaking fundamental frequency characteristics of 8- through 10-year-old white- and African-American boys. *J Commun Disord* 30: 101–114
18. Naidr J, Zboril M, Sevcik K (1965) Die pubertalen Veränderungen der Stimme bei Jungen im Laufe von 5 Jahren. *Folia phoniatri logop* 17: 1–16
19. Narewski N (1999) Der physiologische Stimmwechsel bei Mädchen unter besonderer Berücksichtigung der sängerischen Belastung. Diplomarbeit Hochschule für Musik und Theater Leipzig, S 27–28
20. Paulsen E (1900) Die Singstimme im jugendlichen Alter und der Schulgesang. Commissions-Verlag von Gnevkow und von Gellhorn, Kiel
21. Pedersen MF, Moller S, Krabbe S, Bennett P (1986) Fundamental voice frequency measured by electroglottography during continuous speech. A new exact secondary sex characteristic in boys in puberty. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 11(1): 21–27
22. Perry TL, Ohde RN, Ashmead DH (2001) The acoustic bases for gender identification from children's voices. *J Acoust Soc Am* 109(6): 2988–2998
23. Schutte HK, Seidner W (1983) Recommendation by the Union of European Phoniatics (UEP) standardizing voice area measurement/phonetographie. *Folia phoniatri logop* 35: 286–288
24. Sorenson DN (1989) A fundamental frequency investigation of children ages 6–10 years old. *J Commun Disord* 22: 115–123
25. Wendler J, Seidner W, Kittel G, Eysoldt U (1996) Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie, 3. Aufl. Thieme, Stuttgart, S 72
26. Wheat MC, Hudson AI (1988) Spontaneous speaking fundamental frequency of 6-year-old black children. *J Speech Hear Res* 31: 723–725
27. White P (1999) Formant frequency analysis of children's spoken and sung vowels using sweeping fundamental frequency production. *J Voice* 13(4): 570–582
28. Wuyts FL, Heyler L, Mertens F, De Bodt M, Van de Heyning PH (2002) Normative voice range profiles of untrained boys and girls. *J Voice* 16: 460–465
29. Wuyts FL, Heylen L, Mertens F, Du Caju M, Rooman R, van de Heyning PH, De Bodt M (2003) Effects of age, sex, and disorder on voice range profile characteristics of 230 children. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 112: 540–548