

**Abb. 6.5** Schmal- und Breitbandspektrogramm einer gesunden Frauenstimme bei Sprechen des Satzes: „Herzlich willkommen an der Abteilung Phoniatrie und Klinische Logopädie des Universitätsspitals Zürich“ ▶ Audio 6.1). Auf der Abszisse (X-Achse) ist der Zeitverlauf dargestellt. Die Ordinate zeigt den Frequenzbereich von 0–5 000 Hz an. Je rötlicher die Färbung, desto intensiver ist der spezifische Teilton. Im Schmalbandspektrum sind der Grundton und klar abgegrenzte regelmäßige Obertöne sichtbar, welche je nach Vokalen und Konsonanten variieren. Das Breitbandspektrum zeigt, dass der Grundton und die ersten Obertöne im Verhältnis intensiver als die folgenden Obertöne repräsentiert sind.

Mit einem Spektrogramm wird die Zusammensetzung des akustischen Stimmsignals aus einzelnen Frequenzen (Grundton und Obertöne) im zeitlichen Verlauf und der Intensität aufgezeichnet:

- a) auf der X-Achse die Zeit (ms),
- b) auf der Y-Achse die Tonhöhe (Hz) mit Grundfrequenz (unterste Linie) und Obertonspektrum.
- c) Der Färbungsgrad gibt die Intensität der einzelnen Frequenzbereiche an (▶ Abb. 6.5).

In der Phonetik und Forensik werden Sonagramme (Spektrogramme) zur Erforschung von Sprach- und Sprechermerkmalen verwendet. Die Beurteilung des Klangspektrums wird anhand des Bildes visuell durchgeführt. Als Kriterien werden u. a. die Obertonspektren der Vokale und Konsonanten sowie die zeitlichen Abläufe bei den Übergängen zwischen verschiedenen Lauten herangezogen [Baken u. Orlikoff, 2000], [Ladefoged u. Johnson, 2011].

Die **Obertonmuster** variieren je nach Größe, Beschaffenheit und Ausformung (durch Artikulationsbewegungen) des Resonanztrakts (▶ Abb. 6.4). Da alle Menschen eine individuelle Architektur der

Resonanzräume haben, sind auch die Obertonmuster unterschiedlich. Für die Auswertung von Spektrogrammen wurden bisher keine einheitlichen klinischen Standards veröffentlicht. Eine sinnvolle Interpretation hängt somit maßgeblich vom Wissen und der Erfahrung des Untersuchers ab [Baken u. Orlikoff, 2000].



Audio 6.1 Normalbefund. R0B0H0, G0R0B0A0S 0.

Schmal- und Breitbandspektrogramme stellen unterschiedliche Schwerpunkte aus dem Frequenzspektrum dar (► Abb. 6.5):

- Das **Schmalbandspektrum** hat eine niedrige Zeit- und hohe Frequenzauflösung.
- Das **Breitbandspektrum** hat eine hohe Zeit- und niedrige Frequenzauflösung.

Beide Darstellungsweisen sind für unterschiedliche Zwecke geeignet. Beispielsweise sind im Schmalbandspektrum Frequenzverläufe besser erkennbar, im Breitbandspektrum lassen sich dagegen Glottisschläge und Vokalformanten besser nachweisen [Baken u. Orlikoff, 2000].

Eine pragmatische Anwendungsmöglichkeit für die Therapie stellt der Einsatz von Spektrogrammen als **Biofeedback-Methode** dar. Der Patient kann im Rahmen von Stimmübungen das von ihm „produzierte“ Obertonspektrum sehen und dieses teilweise bewusst beeinflussen.



**Merke**

**Wann wird die Spektrografie eingesetzt?**

Spektrogramme eignen sich für intraindividuelle Vergleiche. Zusätzlich können Spektrogramme als Biofeedback-Tool zur Darstellung der Resonanzfunktion im Rahmen der Therapie eingesetzt werden. Die Auswertung hängt jedoch maßgeblich vom Vorwissen und von der Erfahrung des Untersuchers ab.

Der DSI wurde an erwachsenen erkrankten und gesunden Stimmen normiert und korreliert mit dem Voice Handicap Index (VHI) [Wuyts et al., 2000], [Hakkesteeft et al., 2006], [Hakkesteeft et al., 2008], [Hakkesteeft et al., 2010].

Die Messwerte müssen jedoch immer kritisch interpretiert werden, da die einzelnen, in den DSI einfließenden Messparameter fehlerhaft sein können.



**Merke**

**Wann werden kombinierte Parameter eingesetzt?**

Kombinierte Parameter eignen sich zur Erstdiagnostik, Verlaufs- und Abschlussuntersuchung für intraindividuelle Vergleiche.

**6.2.5 Aufnahmeausrüstung und Messtechnik**

Akustische Messungen sind durch vielfältige technische Entwicklungen an normalen PCs oder Laptops „per Knopfdruck“ einfach und schnell durchführbar. Kostenfreie Software-Programme wie PRAAT oder VRRRP (► Tab. 6.1) können kommerziellen Programmen unter bestimmten Bedingungen sogar in der Messgenauigkeit überlegen sein [Boersma, 2009], [Maryn et al., 2009]. Im Gegensatz dazu sind kommerzielle Hard- und Softwarepakete jedoch häufig auf Untersuchungsabläufe in der Praxis zugeschnitten und somit im Alltag benutzerfreundlicher. Freie Software sowie kommerzielle Hard- und Softwarepakete sind für

**6.2.4 Kombinierte Parameter: Dysphonia Severity Index**

Kombinierte Parameter für Stimmstörungen entsprechen dem Wunsch des Untersuchers nach einer objektiven Klassifizierung eines Stimmproblems. Indizes wie der Voice Dysfunction Index [Friedrich, 1998] oder der Dysphonia Severity Index [Wuyts et al., 2000] bestimmen den Schweregrad einer Stimmstörung, indem mehrere stimmliche Merkmale oder auch subjektive Beschwerden miteinander verrechnet werden.

Der Dysphonia Severity Index DSI (S.68) setzt sich zusammen aus

- der maximalen Tonhöhe,
- der minimalen Lautstärke,
- dem Jitter und
- der maximalen Phonationsdauer.

**Tab. 6.1** Auswahl von Programmen mit Anbietern zur instrumentellen akustischen Analyse.

Programm	Anbieter
PRAAT	P. Boersma & J. Weenink Universität Amsterdam, NL
VRRRP!!	C. Herbst Universität Wien, A
Speech Tool	J. Hillenbrand Western Michigan University, USA
VidiVoice	Firma VidiVoice
DIVAS und weitere Programme	Firma XION Medicals
lingWaves	Firma Wevosys
Multi Dimensional Voice Program	Firma Kay Pentax

unterschiedliche Anwendungen konzipiert, sodass ein Vergleich zwischen den verschiedenen Funktionen und Preisen lohnenswert ist (► Tab. 6.1).

Unabhängig von der Art der Analyse oder dem Softwaretyp sind die **Qualität der Stimmaufnahme** und ein **normierter Aufnahmeabstand** (10 oder 30 cm) entscheidend für die Güte und Aussagekraft der darauf basierenden Analyse des Stimmsignals.

Die Qualität der Stimmaufnahme wird einerseits durch die technische Ausstattung beeinflusst, wie das Mikrofon und die Auflösung der digitalen Aufnahme. Andererseits sind Umgebungsfaktoren wie Hintergrundlärm entscheidend. Deswegen müssen einige für die Aufnahmequalität wesentliche **technische Merkmale** beachtet werden, um sinnvolle Messergebnisse zu erhalten:

- Alle Aufnahmen sollten in einem ruhigen Raum bei geschlossenem Fenster mit einem gesamten Hintergrundlärm von unter 40 dB(A) gemacht werden.
- Das Signal-Rausch-Verhältnis beträgt idealerweise 42 dB(A), mindestens jedoch 30 dB(A).

In ► Tab. 6.2 sind die wichtigsten messtechnischen Bedingungen und die entsprechenden Literaturangaben zusammengefasst. Zur tieferen Einführung in das Thema Messtechnik wird spezialisierte Literatur empfohlen [Baken u. Orlikoff, 2000].

## 6.3 Stimmumfangsprofile

### 6.3.1 Sprech- und Rufstimme

#### Definition

#### Stimmumfangsprofil der Sprech- und Rufstimme

Das Stimmumfangsprofil (SUM) der Sprech- und Rufstimme ist ein Leistungsprofil bei verschiedenen sprecherischen Aufgaben. Erhoben werden

- die mittlere Sprechstimmlage (F0 Mittelwert/ MSSL) beim spontanen Sprechen,
- das Leistungsprofil von minimaler zu maximaler Tonhöhe und
- die Lautstärke vom sehr leisen Zählen bis hin zum maximal lauten Rufen.

#### Messung

In ► Tab. 6.3 sind die einzelnen Stimmaufgaben mit der jeweiligen Untersuchungsanweisung zusammengefasst.

► Abb. 6.6 zeigt eine typische Untersuchungssituation für Stimmumfangsprofile, Sonagramme und Irregularitätsmessungen.

Bei mittel- und hochgradig heiseren ( $\leq H2$ ) sowie diplophen Stimmen (► Audio 4.1, ► Audio 4.14) oder bei Hintergrundgeräuschen (z.B. raschelnde Kleidung) kann es dazu kommen, dass die Grundfrequenz nicht korrekt erkannt wird. Deswegen sollten die Messergebnisse immer auf ihre Plausibilität überprüft werden. Beispielsweise wird in diesen Fällen empfohlen, die Grundfrequenz zusätzlich auditiv und mit Hilfe eines Klaviers zu untersuchen.

**Tab. 6.2** Zusammenfassung aktueller Empfehlungen zur Messtechnik bei Stimmaufnahmen für instrumentelle akustische Analysen.

Merkmal	Was sollte beachtet werden?	Literatur
Umgebungs-lärm	< 40 dB(A), Fenster geschlossen	[Schutte u. Seidner, 1983] [Titze, 1995], [Deliyski et al., 2006]
Signal-Rausch-Abstand	> 30 dB(A), ideal 42 dB(A)	[Titze, 1995], [Deliyski et al., 2006]
Mikrofon	Kondensator-Mikrofon, balancierter Output, Sensitivität mind. -60 dB(A)	[Titze, 1995], [Deliyski et al., 2006]
Mikrofon-Mund-Abstand	für Messung Lautstärke immer normiert, 30 cm oder $\leq$ 10 cm	[Titze, 1995] [Dejonckere et al., 2001]
Hard-/Software: Aufnahmeauflösung	mindestens 26 000 Hz/12 bit	[Titze, 1995], [Deliyski et al., 2005]

**Tab. 6.3** Untersuchungsanleitung Sprechstimmprofil. Stimmliche Aufgaben und verbale Aufträge des Untersuchers an den Patienten für das Stimmumfangsprofil der Sprech- und Rufstimme.

Merkmal	Untersuchungsanweisung
Spontansprache	„Bitte erzählen Sie mir in 5 Sätzen etwas, z. B.: Wie sind Sie heute hierhergekommen.“
leise zählen	„Bitte zählen Sie so leise wie möglich, aber mit Ton, von 20 bis 30.“
normal laut zählen	„Bitte zählen Sie normal laut von 20 bis 30.“
laute Sprechstimme	„Bitte zählen Sie von 20 bis 30, aber bitte so, als müssten Sie für mehrere Personen in diesem Zimmer sprechen.“
sehr laute Sprechstimme	„Bitte zählen Sie von 20 bis 30, aber bitte so, dass man Sie im Nebenzimmer hören kann.“
Rufstimme	„Bitte rufen Sie 3 Mal, so laut, wie Sie können: ‚Hallo Anton!‘“

M!

### Merke

Die Messergebnisse sollten immer auf ihre Plausibilität überprüft werden.



**Abb. 6.6** Untersuchungssituation von akustischen Analysen. Aufnahme und Messung der Stimme mittels Computer. Verwendet wurde ein Kopfbügelmikrofon mit 30 cm Abstand zum Mund.

## Auswertung und Normwerte

Die Auswertung des Sprech- und Rufstimmprofils stützt sich auf mehrere unterschiedliche Merkmale, die durch eine Behandlung verändert werden können [Baken u. Orlikoff, 2000], [Roussel u. Lobdell, 2006], [Holmberg et al., 2007], [Ma et al., 2007], [Pabon et al., 2011], [Siupsinskiene u. Lycke, 2011], [Hallin et al., 2012]. Diese umfassen:

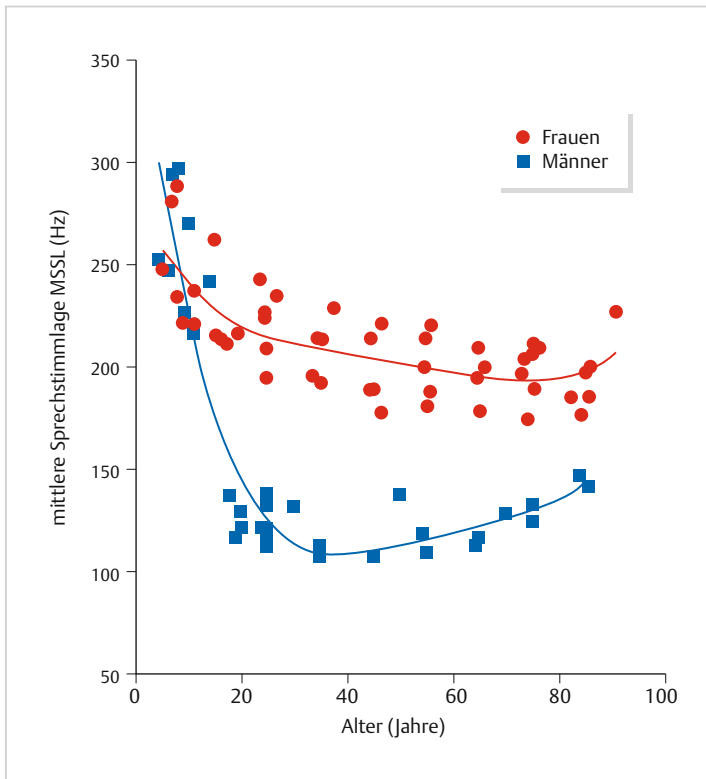
- mittlere Sprechstimmlage (MSSL), in Hz
- Tonumfang beim Sprechen, in Halbtöne (Hb)
- mittlere Sprechlautstärke (MSL), in dB(A)
- Dynamikbreite beim Sprechen, in dB(A)
- maximale Ruflautstärke ( $SPL_{max}$ ), in dB(A)

Eine Stimmerkrankung schränkt das Leistungsprofil der Sprechstimme häufig ein. Somit können Abweichungen von den Normwerten (► Tab. 6.4) auf Erkrankungen hindeuten.

Die angegebenen Werte sollten in Bezug auf das **Alter** und den **Trainingsstatus** des Patienten interpretiert werden. ► Abb. 6.7 zeigt die starke Abhängigkeit der mittleren Sprechstimmlage (MSSL) vom Alter eines Menschen [Baken u. Orlikoff, 2000]. Der erhebliche Einfluss des Trainingszustands einer Stimme wird in ► Abb. 6.11 und ► Abb. 6.12 illustriert [Pabon et al., 2011].

**Tab. 6.4** Normwerte für das Sprechstimmprofil bei ungeübten gesunden Erwachsenen (Frauen und Männer im Alter von 18–67 Jahren). Die Lautstärkeangaben in dB(A) beziehen sich ausschließlich auf einen Messabstand von 30 cm.

Merkmal	Einheit	Frauen		Männer	
		Mittelwert	Spanne	Mittelwert	Spanne
mittlere Sprechstimmlage (MSSL)	Hz	212	164–260	112	89–175
Tonumfang beim Sprechen	Ht	11	5–16	14	7–21
mittlere Sprechlautstärke (MSL)	dB(A)	62	55–69	62	57–68
Dynamikbreite beim Sprechen	dB(A)	28	19–37	30	22–39
maximale Ruflautstärke ( $SPL_{max}$ )	dB(A)	90	82–98	92	85–100



**Abb. 6.7** Normwerte für die mittlere Sprechstimmlage (MSSL) in Hz im Erwachsenenalter. Die einzelnen Punkte repräsentieren jeweils das Ergebnis einer Studie. Die Linie bezeichnet den Mittelwert aus den zitierten Studien pro Altersgruppe [Baken u. Orlikoff, 2000].

Abweichungen von den angegebenen Normwerten sind in der Regel unspezifisch, d. h. eine beobachtete Einschränkung kann nicht nur einem definierten Störungsbild zugeordnet werden. ▶ Tab. 6.5 gibt einen Überblick, wie Auffälligkeiten im Sprechstimmprofil interpretiert werden können.

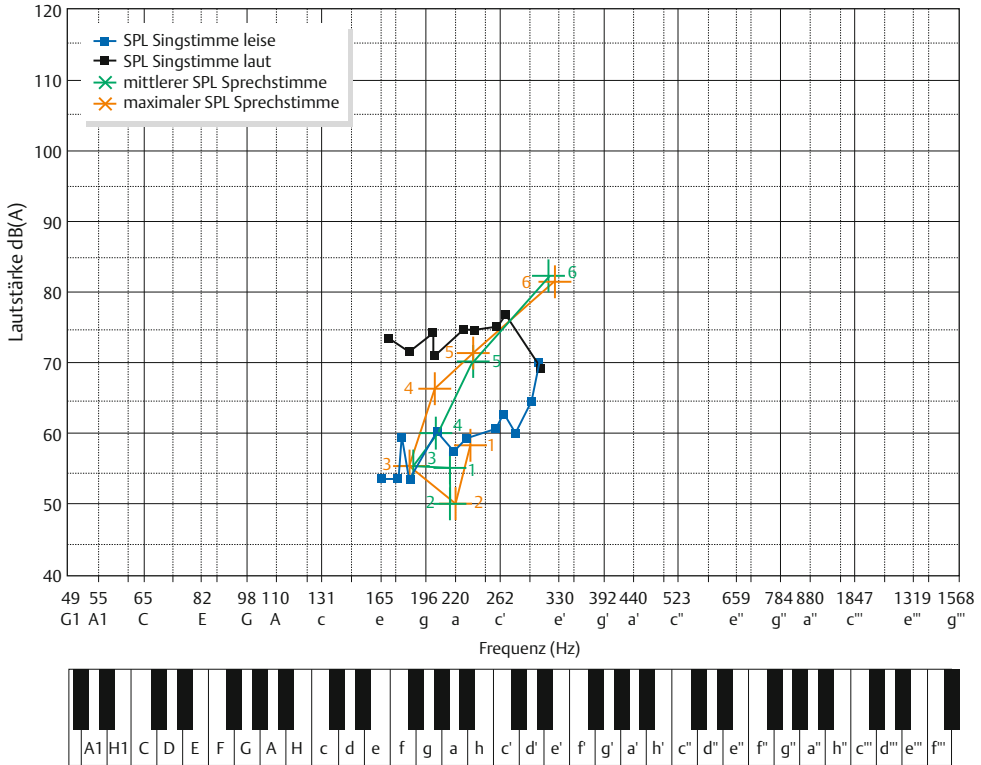
Bei organischen Befunden oder neurologischen Ursachen (z. B. Parese) von Stimmstörungen pas-

sen die betroffenen Patienten häufig automatisch ihre Sprechtechnik der veränderten Situation an. Es kann dabei zu **hyper-** oder **hypofunktionellen Funktionsmustern** kommen, die sich zusätzlich im Stimmumfangprofil nachweisen lassen (▶ Abb. 6.8, ▶ Abb. 6.9, ▶ Video 6.1, ▶ Video 6.2a, ▶ Video 6.3, ▶ Audio 4.1, ▶ Audio 4.3, ▶ Audio 4.7, ▶ Audio 6.3).

**Tab. 6.5** Zusammenfassung möglicher Auffälligkeiten im Sprechstimmprofil. Diese können je nach Art der Anpassung an die Stimmstörung auch individuell kombiniert auftreten.

Klinisches Merkmal	Mögliche Auffälligkeiten Sprechstimme
erhöhter Tonus (z. B. hyperfunktionelle Dysphonie)	erhöhte MSSL und MSL, eingeschränkter Tonumfang Sprechen
niedriger Tonus (z. B. hypofunktionelle Dysphonie) (▶ Audio 6.2)	niedrige MSSL und MSL, eingeschränkter Tonumfang Sprechen, eingeschränkte maximale Ruflautstärke
eingeschränkte einseitige Stimmlippenmotilität (z. B. Stimmlippenparese) (▶ Video 6.1, ▶ Video 6.2, ▶ Video 6.3, ▶ Audio 4.1, ▶ Audio 4.3, ▶ Audio 4.7, ▶ Audio 6.3)	erhöhte MSSL, niedrige MSL, eingeschränkter Tonumfang Sprechen, eingeschränkte Dynamikbreite, eingeschränkte maximale Ruflautstärke
strukturelle Veränderungen der Stimmlippen (▶ Video 5.1, ▶ Video 5.4, ▶ Video 5.5, ▶ Video 5.10, ▶ Video 5.11, ▶ Video 6.1, ▶ Video 6.4, ▶ Video 6.5, ▶ Video 6.6, ▶ Audio 5.1, ▶ Audio 5.2, ▶ Audio 6.4 )	niedrige MSSL, häufig erhöhte MSL, eingeschränkter Tonumfang Sprechen

SPLmax = 76 dB(A) | 269 Hz; SPLmin = 53 dB(A) | 184 Hz; FOmax = 306 Hz | 170 dB(A); FOmin = 166 Hz | 53 dB(A); MPT = 1,2 s;  
 Jitter = -,-; DSI = -,-  
 Mittlerer SPL Sprechstimme: 54 dB(A) | 216 Hz; 49 dB(A) | 216 Hz; 54 dB(A) | 186 Hz; 59 dB(A) | 204 Hz; 69 dB(A) | 234 Hz;  
 81 dB(A) | 319 Hz;  
 Maximaler SPL Sprechstimme: 58 dB(A) | 234 Hz; 50 dB(A) | 220 Hz; 55 dB(A) | 183 Hz; 66 dB(A) | 204 Hz; 71 dB(A) | 237 Hz;  
 81 dB(A) | 324 Hz;



**Abb. 6.8** Sing- und Sprechstimmprofil einer Frau mit Phonationsverdickungen (► Video 6.6, ► Video 6.7). In der Singstimme fallen ein stark eingeschränkter Tonumfang sowie eine stark eingeschränkte Steigerungsfähigkeit (schwarze Linie) auf. Das Kopfreister fehlt vollständig. Im Sprechstimmprofil ist SPL<sub>max</sub> knapp ausreichend.

Somit erlauben Messungen von Stimmumfangsprofilen eine Analyse und Interpretation der individuellen Stimmfunktion. Dies ist Grundlage für die Planung und Überwachung einer Stimmübungstherapie.

Der Untersucher sollte die eigenen apparativ erhobenen Messungen immer kontrollieren und kritisch hinterfragen. Er sollte sich bewusst sein, dass die Messungen teilweise sehr störanfällig und fehlerhaft sein können. So können u.a. technische Einflüsse (Mikrofon, Software) und Umgebungsgläusche die Auswertung erheblich beeinflussen (► Abb. 6.10).

## 6.3.2 Singstimme

### Definition

#### Stimmumfangsprofil Singstimme

Leistungsprofil von minimaler zu maximaler Tonhöhe und Lautstärke beim Singen einer Tonleiter mit der Silbe /la/.