

Objektive Messverfahren in der Stimm diagnostik

Tadeus Nawka, Ingolf Franke, Elena Galkin

Zusammenfassung

Die Begutachtung und Verlaufskontrollen von Stimmstörungen erfordern objektive, reproduzierbare Untersuchungsergebnisse. Apparative Untersuchungen der Stimme wie Stimmfeldmessungen, Signalanalyse oder Göttinger Heiserkeits-Diagramm weisen einen Weg zu diesem Ziel und liefern wertvolle Informationen zur Stimmbewertung. Diese Informationen lassen sich sowohl für die Stimm diagnose als auch für die Behandlung verwenden. Eine Auswahl der genannten objektiven Methoden bietet einen Überblick über den Einsatz der computerunterstützten Analyseverfahren in der heutigen Praxis.

SCHLÜSSELWÖRTER: Stimmfeldmessung – Göttinger Heiserkeitsdiagramm (GHD) – dysphonia severity index (DSI) – Jitter – Shimmer – Stimmqualität

Einleitung

Die Leistungen der Stimme sind objektiv messbar. Verschiedene akustische Parameter werden bestimmten Kriterien der Stimmqualität zugeordnet. Das Ziel der Stimmtherapie liegt in der Verbesserung der Qualität und Leistungsfähigkeit einer gestörten Stimme. Zur Objektivierung des Therapieerfolgs ist es nahezu unumgänglich, die technischen Möglichkeiten eines Computers zur Signalaufzeichnung und zur Extraktion von akustischen Parametern zu nutzen. In zunehmendem Maße werden heute Software-Programme (Stimmfeldsoftware, Göttinger Heiserkeits-Diagramm, Sprachlabors mit spektralanalytischen Analysemodulen) zur Diagnostik und Therapiekontrolle bei Stimmstörungen angeboten und eingesetzt. Der sinnvolle Einsatz dieser neuen Hilfsmittel setzt Kenntnisse auf dem Gebiet der computergestützten Stimmanalyse voraus, die heute von HNO-Ärzten wie auch Logopäden auf einem leistungsorientierten Markt gefordert werden.

Stimmumfangsprofiluntersuchung

Der Stimmumfang wird in zwei Dimensionen angegeben: Tonhöhenumfang und Dynamikumfang. Damit wird dargestellt, wie laut und leise ein Mensch (Patient) auf welchen Tonhöhen singen kann. Diese Darstellung wird als Stimmfeld oder Stimmumfangsprofil bezeichnet. Die Messdaten ermöglichen eine quantitative Aussage über die stimmliche Leistung. Das Stimmumfangsprofil wird im Koordinatensystem mit Tonhöhe (Hz) auf der Abszisse (Tonhöhenachse) und Schallpegel (dB(A)) auf der Ordinate (Intensitätsachse) eingetragen. Für jede gesungene Tonhöhe werden der leiseste und lauteste Pegel gemessen. Mit Stimmfeldsoftware lassen sich verschiedene Leistungen der Sing- und Sprechstimme getrennt untersuchen: Stimmumfang, Stimm-dynamik (bei konstanter Grundtonfrequenz oder unabhängig von der Tonhöhe), Tragfähigkeit, mittlere Sprechstimmlage,



Prof. Dr. Tadeus Nawka ist Leiter der Abteilung Phoniatrie und Pädaudiologie, HNO-Universitätsklinik der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald. Klinische Schwerpunkte: Diagnostik und Behandlung von Stimm-, Sprech-, Sprach- und Schluckstörungen, Phonochirurgie (stimmverbessernde Operationen).



Ingolf Franke studierte an der TU Dresden Informationstechnik mit Schwerpunkt Akustik, Studium an der Universität Trier der Fächer Phonetik, Computerlinguistik und Psychologie. Seit 1996 tätig auf dem Gebiet der Sprachtechnologie ist er heute Entwicklungsleiter mit Schwerpunkt klinische Stimm diagnostik/Stimm- und Sprachtherapie.

Jitter, maximale Lautstärke beim Rufen, Tonhaltedauer, Registerbrüche, Anstieg der Kurve der leisestmöglichen Phonation. Die Gestalt und die Daten der Stimmumfangsprofile helfen, Besonderheiten von Stimmfunktionsstörungen zu beurteilen. Anhand von Stimmfeldmessungen können auch gezielte Hinweise für eine Stimmbehandlung gegeben werden.

Bedingungen und Vorgehensweise

Um zu vergleichbaren Messergebnissen vor und nach der Therapie zu gelangen, müssen die Bedingungen während der Stimmfeldmessung immer gleich sein. Der Signalpegel bei Aufnahme des Stimmsignals hängt von der Mund-Mikrofon-Entfernung ab. Die

Leistungsgrenzen der Stimme können von der Situation erheblich beeinflusst werden, wie z.B. Aufnahme im Sitzen oder Stehen, Testvokal, Verwendung von Sonderzubehör, Umgebungssituation, Patientenvorbereitung etc.

Folgende standardisierte Untersuchungsbedingungen sollen bei der Stimmfeldmessung beachtet werden (Seidner & Schutte, 1982):

- Der Umgebungspegel darf 40 dB (A) nicht überschreiten. Bei Störpegeln über 40 dB (A) lässt sich die Messung nicht mehr einwandfrei durchführen. Bei erhöhtem Umgebungslärm werden bekanntlich Sprechtonhöhe und Sprechlautstärke reflektorisch angehoben, was zur Verfälschung der Messergebnisse führen kann.
- Beim Arbeiten mit der Stimmfeldsoftware wird der Stimmumfang automatisch in das zweidimensionale standardisierte Formular auf dem Bildschirm als Stimmumfangsprofil in Echtzeit eingetragen.
- Während der Stimmfeldmessung muss der Patient einen Abstand von 30 Zentimetern zum Mikrofon einhalten. Ein Unter- und Überschreiten des Mikrofonabstandes kann zu Analysefehlern führen, denn die Schallpegelwerte schwanken mit der Änderung des Mikrofonabstandes.
- Die Stimmfeldmessung sollte nach Möglichkeit in locker stehender Körperhaltung durchgeführt werden. Beim Sitzen besteht eher die Gefahr, dass eine unphysiologische Körperhaltung eingenommen wird.
- Es wird empfohlen, die Stimmfeldmessung mit dem Testvokal /a:/ (Tonhaldauer ca. 2 Sekunden) aufzunehmen. Mit diesem Vokal im Gegensatz zu anderen Vokalen lassen sich die größten und die niedrigsten Intensitäten messen, bei größerer Tonhaldauer liegt die gemessene Forte-Kurve unter der tatsächlichen oberen Leistungsgrenze (Schultz-Coulon, 1990).
- Bei Sängern, wo der Vokalausgleich überprüft werden soll, werden auch die Stimmfelder der Vokale /i:/ und /u:/ gemessen.

Der Untersuchende kann mit oder ohne Tonvorgabe arbeiten. Im ersten Fall gibt der Untersucher über die Klaviertastatur die Töne vor, die nachgesungen werden sollen. Alternativ kann der Patient frei den Testvokal so singen, wie z.B. entlang einer

Tonleiter, dass er mit seiner Stimme eine größtmögliche Fläche auf der Stimmfeldplatte „ausmalt“. In diesem Fall soll der Patient den Prozess der Stimmfelderstellung visuell verfolgen können. Die registrierten Töne werden als farbige Felder markiert, das gesamte Stimmfeld wird wahlweise als farbige Punktwolke oder als Umriss dargestellt.

Kurven der lautest- und leisestmöglichen gehaltenen Töne im Singstimmprofil

Die Leistungen der Stimme werden im Stimmfeld durch die Kurven der leisestmöglich und der lautestmöglich gesungenen Töne begrenzt. Die leise Kurve eines Stimmfeldes sollte vor der lauten Kurve gemessen werden. Die Kurve leisestmöglicher Phonation entspricht der unteren Kontur des Stimmfeldes. Die Kurve lautestmöglicher Phonation stellt die obere stimmliche Leis-

tungsgrenze dar. Der Grund für diese Vorgehensweise liegt darin, dass Patienten mit ungeübten oder pathologischen Stimmen nach maximaler Anstrengung sich nicht schnell genug entspannen und leise Töne erzeugen können. Die leise Kurve weist demnach einen höheren Pegel auf.

Wie schnell eine Stimme zwischen lauten und leisen Tönen wechseln kann, lässt sich anhand eines Wechseltests während der Stimmfeldmessung überprüfen. Bleibt die Stimme beim Übergang von einer möglichst leisen und danach möglichst lauten Phonation bei der anschließend möglichst leisen Phonation bei mittleren Intensitäten hängen, ist das ein Zeichen für eine mangelhafte Entspannung nach Belastung. Diese mögliche Ursache für eine Hyperfunktion kann zu einer funktionellen Dysphonie führen.

Die Stimmfeldmessung sollte sowohl für die leise als auch für die laute Phonation vom Ton der mittleren Sprechstimmlage

Technik für die Stimmfeldmessung

An Hard- und Software für Stimmfeldmessung braucht man drei Dinge: Einen Schallpegelmesser mit (eingebautem) Mikrofon, einen handelsüblichen PC und eine Software. Die Firma LingCom beispielsweise bietet mit „LingCom-Stimmfeld“ eine preisgünstige Einzelplatzlösung für die Stimmfeldmessung in der logopädischen Praxis und „lingWAVES“ ein modulares zertifiziertes (MPG) Softwaresystem mit frei wählbaren und erweiterbaren Komponenten (Stimmfeld, Stimmfeld Pro, Spektrografie/Echtzeitspektrografie, Stimmbelastungstest, Göttinger Heiserkeitsdiagramm, Elektroglottographie, RBH-Diagnostik, Recorder, Patientenmanager, Theralabia, Video Aussprachetrainer, Hörscreening, versch. Analysen wie Grundton, Energie, Jitter, ...). Der PC sollte folgende Voraussetzungen erfüllen: Betriebssystem Windows 2000 oder XP, ab Pentium 4, 512 MB RAM, 20 bis 600 MB Festplattenplatz (je nach Modulauswahl), Soundblaster compatible Soundkarte, USB-Port, PC-Lautsprecher/Headset/Mikrofon. www.lingcom.de

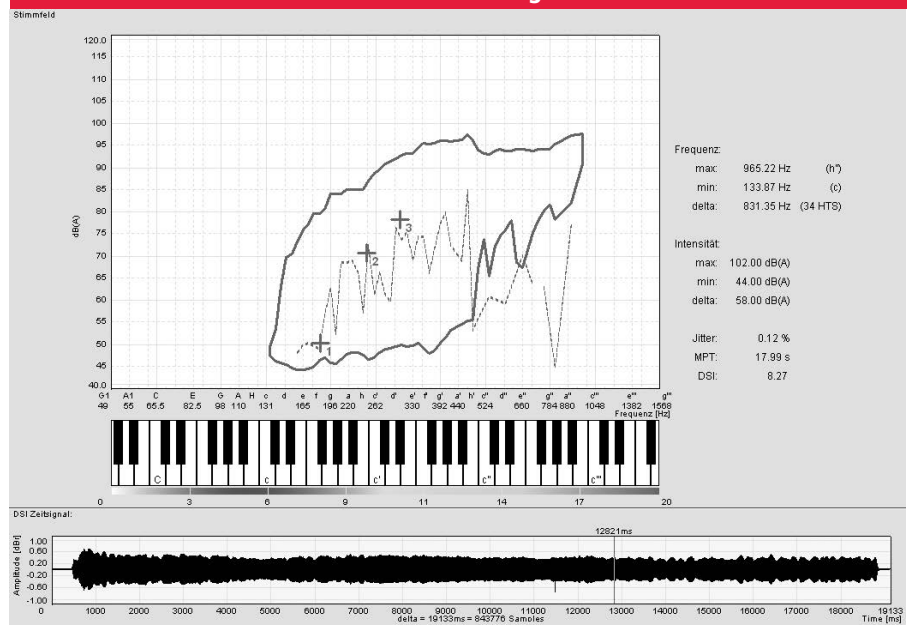
oder ungefähr aus der vermuteten Mitte des Stimmfeldes ausgehen. Zuerst werden die Töne der tiefen Frequenzen bis hin zur unteren Stimmgrenze gesungen. Anschließend wird wieder bei der mittleren Tonhöhe begonnen und aufwärts gesungen. Bei der Stimmfelderstellung soll darauf geachtet werden, dass das Schreien und Flüstern nicht miterfasst wird. Diese Modalitäten sind für das Stimmfeld unerwünscht. Sollte die Stimme bei unkontrolliertem Schreien aufgezeichnet werden, ist eine nachträgliche Beurteilung der Qualität der gesungenen (gehaltenen) Töne nicht möglich. Eine Flüsterstimme wird von der Grundfrequenzanalyse nicht erkannt und deshalb nicht registriert.

Bei der Erstellung eines Stimmfeldes geht es vorwiegend darum, die stimmlichen Leistungsgrenzen zu umreißen. Es muss keine lückenlose farbige Fläche auf dem Diagramm entstehen. Nicht auszuschließen ist die Tatsache, dass Ungeübte aufgrund mangelnder Koordination der laryngealen Muskulatur für die geforderte Tonhöhe und Lautstärke nur einzelne Töne mit größeren Lücken dazwischen (stufenweise) produzieren können. Salopp gesagt sind diese Patienten unmusikalisch, was aber nicht immer zutrifft, es kann sich auch um mangelnde Übung der Stimmproduktion handeln bei durchaus korrekter musikalischer Wahrnehmung.

Wird die Stimmfeldmessung mit Tonvorgabe bevorzugt eingesetzt, so empfiehlt sich, bei Zeitmangel in größeren Schritten bei der Vorgabe von Tönen vorzugehen. Im Mittelregister sind das c (131 Hz), e (165 Hz), g (196 Hz), a (220 Hz) für Männer und c1 (262 Hz), e1 (330 Hz), g1 (395 Hz) und a1 (440 Hz) für Frauen. In den anschließenden Oktaven bleibt man bei diesen Tönen, bis die Grenze des Stimmumfangs erreicht ist und versucht dann, in Ganz- und Halbtönen den tiefsten oder höchsten Ton zu identifizieren. Es wird davon ausgegangen, dass die zwischen zwei registrierten Tönen liegenden nicht gesungenen Töne auch produziert werden können. Diese Annahme kann aber falsch sein. Echte Tonlücken meist im Übergangsregister gibt es z. B. bei Paresen oder Stimmlippenpolypen oder anderen organischen Veränderungen.

Die Kenntnis des Verlaufs der individuellen Kurve der lautestmöglichen Phonation hilft bei der Stimmbelastungsprüfung im Rahmen der Stimmtauglichkeits- und Eignungsuntersuchungen. Eine Sprechstimme gilt nach stimmhygienischen Gesichtspunkten

Abb. 1: Stimmfeld einer stimmgesunden Person



Das Stimmfeld einer stimmgesunden Person (w, 31). Die gepunktete Linie zeigt den Verlauf des Sängerformanten. Die Kreuze kennzeichnen die Sprechstimmlage für die leise, normale und Vortragslautstärke. Der Registerübergang zwischen Brust- und Kopfstimme ist im Stimmfeld als Einbruch in der Kurve der lautestmöglichen Phonation zu erkennen. Im Kopfstimmregister ist die Intensität des Sänger-Formanten deutlich niedriger. Möglich ist auch das Fehlen einzelner Töne bei gleichzeitigem Verlust der Lautstärke beim Registerwechsel.

als überfordert, wenn sie unter Stimmbelastung einen Schallpegel erzeugen muss, der ihrer oberen stimmlichen Leistungsgrenze entspricht, oder wenn die Sprechstimme nach 30-minütiger Belastung eine Tonhöhe im Bereich ihrer Rufstimmtonhöhe erreicht (Schneider, 2004).

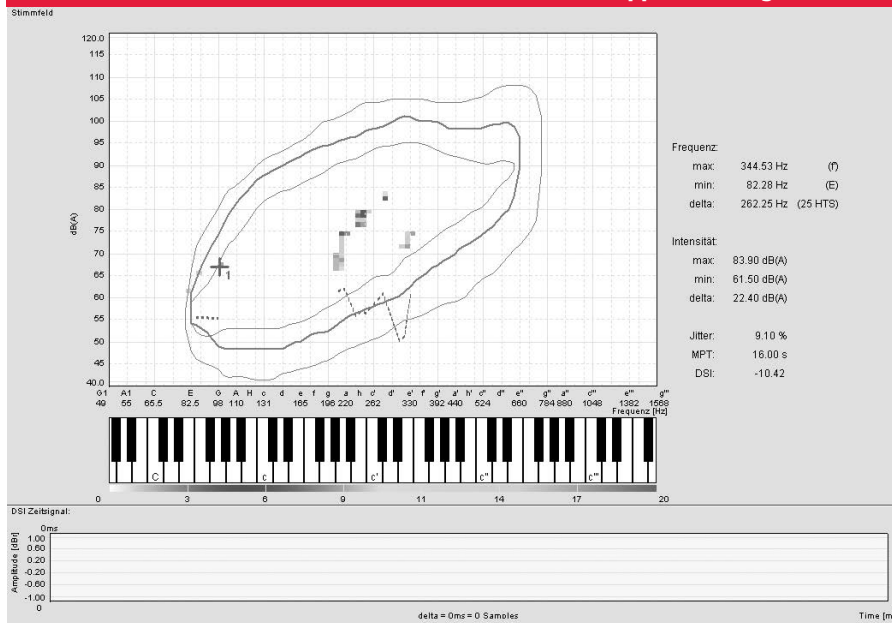
Parallel zur Kurve der lautesten Phonation lässt sich der Verlauf des Sängerformanten interpretieren. Der Sängerformant ist ein Resonanzphänomen, eine Erhöhung von Energie im Bereich von 2500-4500 Hz des Spektrums, die einer Stimme Tragfähigkeit, Brillanz und Durchdringungsfähigkeit, einen „Strahl“, verleiht. Der Sängerformant verläuft im Idealfall nahe an der Lautest-Kurve. Dagegen kann die Resonanzschwäche (niedriger Pegel des Sängerformanten) in Sprechberufen als Indikator für das spätere Auftreten einer Dysphonie gewertet werden. Aufgrund zu geringer Resonanz wird die Stimme zunehmend unökonomisch mit viel Kraftaufwand gebildet. Da während der Therapie eine Anhebung des Sängerformantpegels erreicht werden kann, empfiehlt es sich, diesen Parameter zur Qualitätsbeurteilung und Verlaufskontrolle konsequent zu nutzen (Büttner et al., 1991).

Mit der leisen Stimmgebung lassen sich die Fähigkeit zur Feinspannung der Stimmlippen und eine präzise Angleichung des

Luftstroms kontrollieren. Der Anstieg der leistungsmöglichen Tonkurve liegt im Idealfall bei 8-10 dB pro Oktave (Sulter, 1996). Grund für das typische Ansteigen der leistungsmöglichen Tonkurve eines Stimmfeldes ist die mit zunehmender Tonhöhe ständig steigende Stimmlippenspannung, die immer höhere subglottische Drücke benötigt, um die Stimmlippen in Schwingungen zu versetzen, die ihrerseits für höhere Schallpegelwerte ursächlich sind.

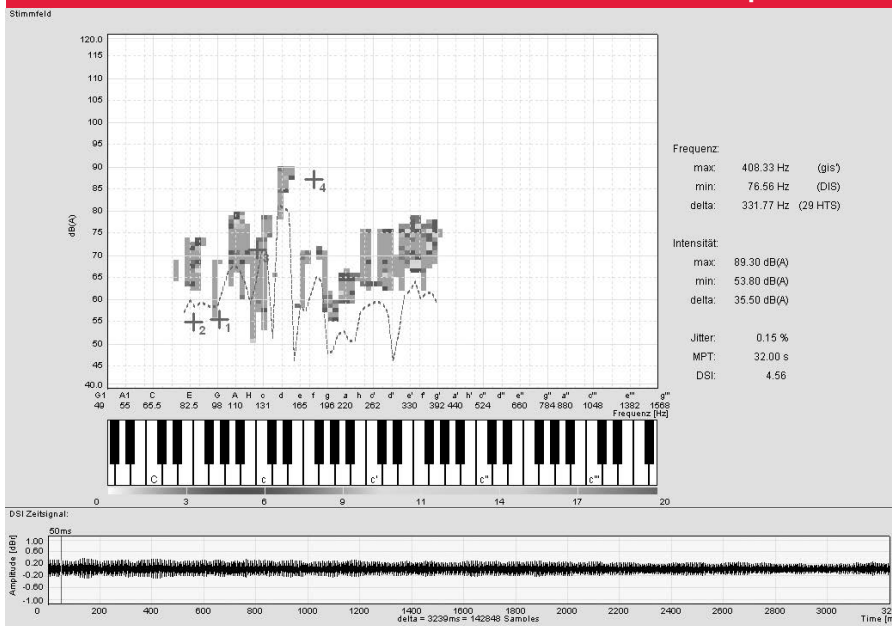
Das Stimmumfangsprofil lässt keine genaue Diagnose der Stimmstörung zu. Gleiche Profile können unterschiedlichen Störungsbildern entsprechen, und Stimmstörungen gleicher Ursache können unterschiedliche Profilformen haben. Die Größe und die Form des Stimmprofils sind jedoch bei Kenntnis der Pathophysiologie der individuellen Stimmgebung oder der organischen Ursache der Stimmstörung meistens vorhersagbar. Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen Stimmumfangsprofile einer gesunden und einer pathologischen Stimme.

Abb. 2: Stimmfeld eines Patienten mit Stimmlippenlähmung



Das Stimmfeld eines Patienten (männlich, 47) mit diagnostizierter Stimmlippenlähmung durch Neuroborreliose vor der Therapie. Das Stimmfeld zeigt eine starke Einschränkung der Dynamik durch Verlust von Forte und Piano und Reduktion des Stimmumfangs. Die mittlere Sprechstimmlage ist durch das Kreuz gekennzeichnet. Die Sprechstimme ist heiser, nicht modulationsfähig und nicht tragfähig. Die maximale Phonationsdauer ist verkürzt. Der Jitter ist gegenüber einer normalen Stimme verzehnfacht. Beim Normstimmfeld (graue Konturen) handelt es sich um eine Bezugsgröße, anhand derer sich durchschnittliche, unter- und überdurchschnittliche stimmliche Leistungen feststellen lassen (vgl. *Schultz-Coulon, 1990; Sulter, 1996; Hacki et al, 1990*).

Abb. 3: Das Stimmfeld desselben Patienten nach der Therapie



Der Stimmumfang hat sich vergrößert. Leise und laute Stimmgebung ist eingeschränkt.

Mittlere Intensitäten

Die mittleren Intensitäten sind für die Sprechstimme von Bedeutung. Das Sprechstimmprofil markiert die Frequenz- und Intensitätsbereiche, in denen sich die Stimme spontan bei verschiedenen Lautstärken bewegt. Die Aufzeichnung des Sprechstimmprofils geschieht im Piano mit leiser, lockerer und entspannter Stimme, im Mezzoforte mit erhobener Stimme, im Forte in Vortragslautstärke und im Fortissimo als Rufstimme. Das erlaubt eine weitere Differenzierung der Leistung der Sprechstimme. Die entspannte Sprechstimme sollte innerhalb des Stimmfeldes im unteren Frequenzdrittel des Stimmumfangs liegen. Auffällig ist die Verlagerung des Sprechstimmprofils nach oben/unten, zu hohen oder tiefen Frequenzen. Die Sprechstimmlage erhöht sich bei Zunahme der Lautstärke (Tonhöhen-Intensitäts-Kopplung). Wird jedoch die Stimme bei Zunahme der Lautstärke um deutlich mehr als 0,4 Halbtöne pro Dezibel höher, liegt eine Störung der Feinregulation oder der audiophonatorischen Kontrolle vor.

Untersuchung gehaltener Vokale

Die Messung der Tonhaltezeit ist ein fester Bestandteil jeder Stimmbewertung. Die maximale Phonationsdauer des gehaltenen /a:/ bei selbst gewählter Tonhöhe und Lautstärke geht als eine der vier Komponenten in die Berechnung des DSI (Dysphonia Severity Index, Dysphonie-Schweregrad-Index) ein. Bei den Tonhalteaufgaben geht es nicht nur um die maximale Phonationszeit ohne Tonabbruch, sondern auch um bezüglich des Grundfrequenz- und Intensitätsverlaufs stabile Phonationen. Das Demonstrieren der Tonhalteaufgabe durch den Untersuchenden wirkt sich positiv auf die maximale Phonationszeit des Patienten aus (*Neiman & Edeson, 1981*).

Die wichtigsten Maßzahlen, die die Irregularität der Stimmlippen-schwingungen prozentual ausdrücken, sind Jitter und Shimmer. Jitter ist ein statistisches Maß zur Beschreibung der Periodenlängenschwan-

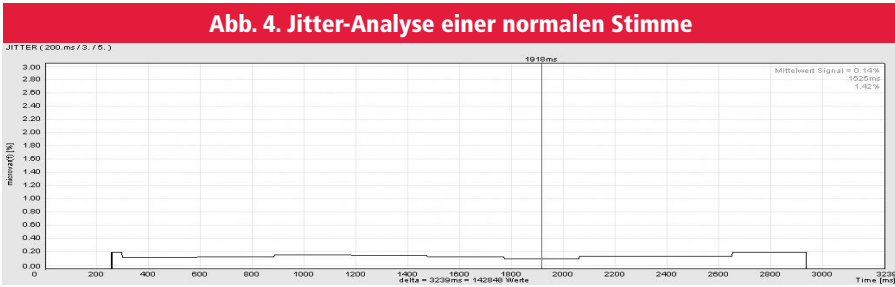


Abb. 4. Jitter-Analyse einer normalen Stimme

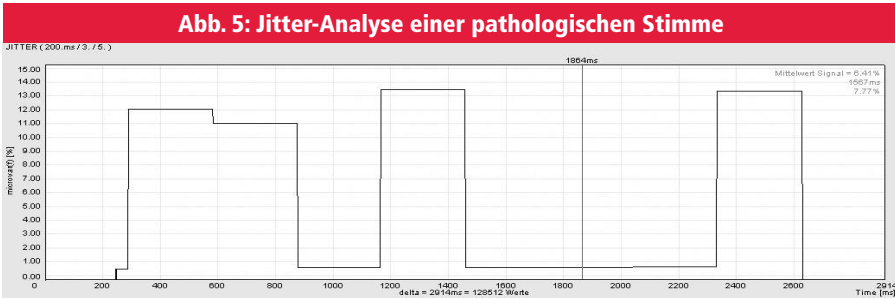


Abb. 5: Jitter-Analyse einer pathologischen Stimme

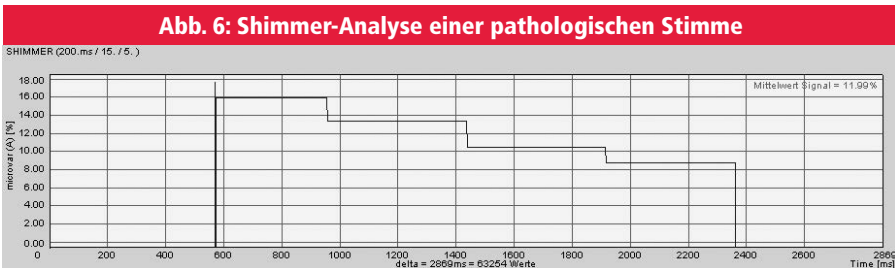


Abb. 6: Shimmer-Analyse einer pathologischen Stimme

kungen in gehaltenen Vokalen und spiegelt Stabilität der Grundfrequenz wieder. Eine normale Stimme hat einen Jitter von 0,1 bis 1 Prozent (Abbildungen 4 und 5, siehe nächste Seite). Shimmer spiegelt die Stabilität des Lautstärkepegels (Maximalamplitude) wieder. Bei einer normalen Stimme liegt der Shimmer unter 2,5 Prozent (Abb. 6). Alle organischen Dysphonien sind mit einer Erhöhung des Jitter verbunden (Klingholz, 1991).

Für die spektrale Analyse gehaltener Vokale wird ein stabiler Teil des Vokals

verwertet: Einschwingphasen des Signals ca. 50 Millisekunden nach Vokalanfang und Abnahme des Luftstroms bei Phonationsende sollen keinen Niederschlag im Ergebnis finden, weil sie das Ergebnis verfälschen. Das Signalstück mit geringster Frequenzvariabilität soll für die Analyse ausgewählt werden, damit nicht eine Tonhöhenbewegung als Jitter bewertet wird (Klingholz, 1991).

Die Aufnahmen gehaltener Vokale können für weitere Analysen verwendet werden, z.B. die Spektrographie.

Dysphonia Severity Index (DSI)

Im Rahmen von Software zur Phonetographie wird der DSI automatisch ermittelt. Der Dysphonia Severity Index (DSI) wurde von der niederländischen Schule (Wuyts et al., 1997) entwickelt. Dieser Index ist entstanden aus dem Wunsch, den Schweregrad einer Stimmstörung mit einer Zahl auszudrücken. Aufgrund der Vielfalt der die Stimmeffizienz beeinflussenden Parameter fehlt ein adäquater Maßstab zur Bewertung von Dysphonien. Der DSI basiert auf einer gewichteten Kombination ausgewählter Messwerte: höchstmögliche Frequenz (F_{max}), niedrigste Intensität (I_{min}), maximale Tonhaltedauer (MPT) und Jitter. Die gewählten Komponenten haben sich als solche herausgestellt, die den Leidensdruck des Patienten signifikant mitbestimmen. Ptok et al. (1992) wiesen auf den engen Zusammenhang zwischen objektiven Parametern zur Messung der stimmlichen Leistung und Aspekten der psychosozialen Anpassung und Aspekten der subjektiven Stimmbewertung hin. Speziell bei Lautstärkemessungen zeigten sich korrelative Zusammenhänge besonders deutlich. Je lauter die Patienten phonieren konnten, desto positiver schätzten sie ihre Stimme ein, desto sicherer verlief die Kommunikation mit anderen Menschen.

Tab. 1	
Dysphonie-schweregrad	DSI-Wert
0 = normal	> 4,2
1 = leicht	4,2 bis > 1,8
2 = mittelgradig	1,8 bis > -1,2
3 = hochgradig	≤ -1,2

Darstellung des Dysphonieschweregrades entsprechend den Werten des DSI

Je größer der Wert für die Stimmdynamik (Unterschied zwischen den lautesten und leisesten Stimmproduktionen), desto besser schätzten sie ihre Stimme als verständlich ein.

Die Berechnungsformel für den DSI lautet:

$$DSI = 0,13 \cdot MPT + 0,0053 \cdot F_{\max} - 0,26 \cdot I_{\min} - 1,18 \cdot Jitter + 12,4$$

Der DSI-Wert kann im Allgemeinen die Werte zwischen -5 (sehr gestörte Stimme) und +5 (gute Stimme) annehmen. Diese Werte können erheblich unter- und überschritten werden (Wendler et al., 2005). Die Patienten ohne besondere stimmliche Begabung und ohne Stimmstörung erreichen den Wert $> +1,6$. Der erwartete Messfehler liegt nach Angaben der DSI-Entwickler bei $\pm 0,6$. Je schlechter die Stimmqualität ist, desto kleiner wird der DSI. Bei auffallend schlechten Stimmen nimmt der DSI negative Werte an.

Der DSI ist universell. Obwohl sich viele Werte der stimmlichen Parameter bei Mann und Frau deutlich unterscheiden, ist der DSI nicht geschlechtsspezifisch. Er enthält zwei Komponenten (die höchste Grundfrequenz und MPT), die in Abhängigkeit vom Geschlecht des Patienten unterschiedliche Norm- und Durchschnittswerte aufweisen, die sich jedoch in ihrer Wirkung auf den DSI-Wert gegenseitig neutralisieren.

Die bisherigen Studien haben empirisch belegt, dass die auditiv beurteilten Heiserkeitsgrade H0 bis H3 nach dem RBH-System mit signifikant unterschiedlichen DSI-Werten verbunden sind (Nawka, 2001). Für eine Klassifikation der Dysphonie in vier verschiedene Schweregrade wurden die in Tabelle 1 dargestellten Grenzwerte ermittelt.

Göttinger Heiserkeits-Diagramm GHD

Heiserkeit ist ein Oberbegriff für die wahrgenommene Rauigkeit und Behauchtheit einer Stimme und ist an sich nicht messbar. Die Komponenten, die zum Eindruck der Heiserkeit beitragen, können jedoch durch akustische Größen erfasst werden. Wahrgenommene Rauigkeit geht mit der Irregularität der Stimmlippenschwingungen einher, wahrgenommene Behauchtheit korreliert in hohem Maße mit Rauschen.

Das Göttinger Heiserkeits-Diagramm (GHD – Michaelis, 1999) stellt ein verfeinertes Instrument zur Untersuchung der Stimme (gehaltener Vokale) in Bezug auf zwei Dimensionen dar, die Irregularität der Stimmlippenschwingungen und das Rauschen.



Das GHD eines Patienten mit diagnostizierter Stimmlippenlähmung durch Neuroborreliose. Die eckigen Strecken sind Berechnungsergebnisse aus Abschnitten der phonierten Vokale. Das Zentrum der schwarzen Ellipse bilden die Mittelwerte der Irregularität (x-Achse) und des Rauschens (y-Achse) für die untersuchte Stimme. Die Halbachsen der Ellipse in waagerechter und senkrechter Richtung entsprechen den Standardabweichungen. Rechts neben der Grafik sind die aufgezeichneten und analysierten Vokale in Normalphonation, tief, hoch und nach Belastung aufgeführt. Im linken unteren Feld ist die Ellipse für eine normale Stimme eingezeichnet. Rechts oben ist eine Ellipse für eine aphone Stimme als Vergleich eingezeichnet. Im unteren Teil des Bildes ist ein Stimm-signal zu sehen, dessen quasi stationärer Anteil für die Analyse markiert ist.

Die Irregularitätskomponente (IK) setzt sich aus Jitter, Shimmer und Periodenkorrelation (Maß der Ähnlichkeit von je zwei aufeinander folgenden Perioden) zusammen. Die Rauschkomponente (RK) wird durch den GNE (Glottal-to-Noise-Excitation, Glottal-zu-Rauschanregung) bestimmt. Der GNE ist eine Maßzahl, die beschreibt, inwieweit die Stimme durch Stimmlippenschwingungen oder durch turbulentes Rauschen an der Glottis angeregt wird.

Die hohe RK deutet auf einen schlechten Stimmlippenschluss, die hohe IK weist darauf hin, dass das Schwingungssystem asymmetrisch ist. Stimmstörungen, bei denen weder der Stimmlippenschluss noch das Schwingungsverhalten der Stimmlippen betroffen ist, unterscheiden sich im Heiserkeitsdiagramm von normalen Stimmen nicht. Als unabhängige Größen können IK und RK in einem Koordinatensystem dargestellt werden. Die IK-Werte werden horizontal auf einer Skala von 0 (normale Stimme) bis 10 (äußerst pathologische/raue Stimme), die RK-Werte vertikal auf einer Skala von 0 (normale Stimme) bis 5 (äußerst pathologische/verhauchte Stimme) im GHD abgetragen (Abbildung 7). Bemerkenswert ist, dass mit dem GNE auch aphone

Stimmen quantifiziert werden können, bei denen keine erkennbare Grundfrequenz vorhanden ist, aber starke Turbulenzen vorliegen.

Das Aufnahmeprotokoll deckt einen großen Teil der Artikulationsvarianten von Vokalen und Phonationsmodi (normal, tief, hoch, belastet) ab. Die Aufnahme-prozedur ist folgendermaßen durchzuführen. Die erste Vokalreihe (sieben Vokale) wird in normaler, die gleiche Vokalreihe wird anschließend in tiefer und in hoher Tonlage produziert. Die Vokale müssen mindestens 3 Sekunden gehalten werden. Der stabile Teil des Vokals (ohne Ein- und Absatz) wird ausgewertet. Die letzte Vokalreihe wird in normaler Tonlage phoniert und soll der Überprüfung der gespannten Phonationen dienen. Vor der Aufnahme der letzten Vokalreihe wird der Text „Nordwind und Sonne“ gelesen. Der Standardtext „Nordwind und Sonne“ stellt einerseits eine Stimmbelastung dar und kann andererseits auch zur Erforschung der akustischen Stimmgütemaße bei gesprochener Sprache genutzt werden.

Wenn aus Zeitmangel oder wegen einer gravierenden Stimmerkrankung das Aufnahmeprotokoll reduziert werden muss, kann der Umfang des Aufnahmeprotokolls auf eine Kombination von drei Vokalen in

unterschiedlichen Tonhöhen beschränkt werden. Die Aussagekraft der Analyse ist jedoch umso größer, je mehr Stimmmaterial zur Berechnung hinzugezogen wird. Nach Abschluss des Aufnahmeprotokolls wird im Diagramm eine Ellipse eingezeichnet (Abb. 7). Die Standardabweichungen (Halbachsen) zeigen die Variabilität der Stimmgüte bezüglich der Rausch- und Irregularitätskomponente in Abhängigkeit von der gesungenen Tonhöhe und Artikulation. Je größer die Halbachsen einer Ellipse sind, desto unstabiler ist die Stimme. Die Lagen der normalen und aphonon Stimme im Heiserkeits-Diagramm (Abb. 7, Ellipsen links unten und rechts oben) werden als Referenzen zum Vergleich mit speziellen Dysphonien herangezogen. Die Normalstimmen liegen links unten im hellgrau schattierten Bereich, die aphonon Stimmen in der oberen rechten Ecke des Diagramms. Das Prinzip der Verteilung von Stimmstörungen im Heiserkeits-Diagramm folgt der

Schwere der Veränderung der Stimmlippen: Die Ellipsen liegen im Heiserkeits-Diagramm umso näher an der Normalstimme, je eher die Stimmgebung der normalen physiologischen Stimmgebung entspricht. Je schwerer die Abweichung von der normalen physiologischen Stimmgebung, desto weiter oben und rechts liegen die Ellipsen. Der Therapieerfolg lässt sich beim Vergleich der GHDs vor und nach der Therapie ablesen. Wenn die Ellipse näher am schattierten Bereich liegt, ist die Stimme besser. Wird die Stimme schlechter, entfernt sie sich vom hellgrauen Bereich.

Ausblick

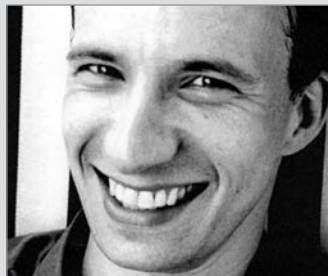
Bei der stimmlichen Beurteilung werden objektive Parameter erhoben, die jedoch subjektiv beurteilt werden. In der Interpretation dieser Parameter spielen die aus der Wissenschaft in die Praxis kommenden Richtwerte bzw. Erfahrungswerte

eine große Rolle. Von elektroakustischen, objektiven Methoden wird erwartet, dass sie die Funktionsdiagnostik unterschiedlicher Stimmerkrankungen absichern. Die sicherste Methode der Larynxdiagnostik ist die Videostroboskopie. Aber damit kann die phonatorische Funktion des Larynx nicht erfasst werden. Sie muss deshalb mit anderen Untersuchungsmethoden kombiniert werden (Klingholz, 1990).

Die multidimensionale Untersuchung der Stimme schließt auch objektive Daten ein wie Reinheitswerte (Jitter, Shimmer, Rauschen, Irregularität), spektrale Komponenten (Sängerformant) und aerodynamische Daten (maximale Phonationszeit). Mit den hier vorgestellten Methoden können solche Daten gewonnen werden und als Vergleichswerte für den Verlauf einer Stimmstörung oder für verschiedene Gruppen von Stimmstörungen dienen.

Interview mit Dirk Heiden

Dirk Heiden (36) hat 1999 seine Logopädieausbildung in Hannover abgeschlossen und ist seit 2003 selbständig – zusammen mit seiner Frau, die ebenfalls Logopädin ist. Er arbeitet seit zwei Jahren mit der Stimmfeldmesstechnik „lingWAVES Stimmfeld“ der Firma LingCom.



Welche Bedeutung hat die Stimmtherapie in Ihrer Tätigkeit als Logopäde?

Die Stimmtherapie ist mein Steckenpferd neben Sprachentwicklungsstörungen und Dysphagie. Ich habe ursprünglich mit dem Schauspielerberuf geliebäugelt und dann gezielt nach einem Beruf gesucht, der sich mit Sprache und Stimme befasst. So bin ich Logopädie geworden.

Was hat Sie zum Einsatz der Stimmfeldmessung in Ihrer Praxis bewogen?

Ich habe mich bereits auf der Lehranstalt mit der Stimmfeldmessung befasst und von den Vorzügen überzeugen können. Deshalb wollte ich sie dann auch in der eigenen Praxis einsetzen.

Wie haben Sie sich die Kenntnisse im Umgang mit der Technik angeeignet?

Weitgehend selbst, aber mit telefonischer Unterstützung des Händlers. Eine praktische Anleitung bzw. Fortbildung wäre für Anfänger sicher von Vorteil.

Worin sehen Sie die größten Vorteile für den Logopäden?

Unser Diagnostikinstrument ist das Ohr. Das geschulte Ohr ist durch nichts zu ersetzen und reicht dem erfahrenen Logopäden völlig aus. Aber ich wollte die Ergebnisse objektivierbar machen – für den Arzt bzw. die Krankenkasse und die Patienten.

Wir reagieren die Ärzte darauf?

Mit dem Stimmfeld kann ich schwarz auf weiß belegen, wie sich die Stimmtherapie ausgewirkt hat und was noch zu verbessern ist. Das erleichtert die Weiterverordnung. Manche Ärzte heften das Stimmfeld nur ab, andere nehmen es dankbar an, da es sie bei der Diagnostik entlastet und den Behandlungsverlauf objektiv dokumentiert.

Und die Patienten?

Patienten lernen im Laufe der Therapie, ihre Stimme und deren Entwicklung einzuschätzen, ihre Eigenwahrnehmung zu verbessern. Es motiviert

sie, ihre Fortschritte anhand der Stimmfelder zu betrachten und diese miteinander zu vergleichen.

Sie können die Stimmfelddiagnostik aber nicht mit den Kassen abrechnen?

Das ist richtig, eine eigene Gebührenposition dafür gibt es nicht. Aber angesichts der Forderung nach Qualitätsmanagement in unserem Beruf, nach objektiven Daten zum Therapiefortschritt etc. halte ich die Stimmfeldmessung für sinnvoll.

Und wie sieht es außerhalb der GKV aus den so genannten „neuen Märkten“ aus?

Interessante Möglichkeiten, mein Know-how in der Stimmtherapie auch außerhalb der GKV einzusetzen, sehe ich bei Stimmschulungen von Sängern, Berufssprechern und Firmen. Auch hier ist es von Vorteil, wenn ich den Status und die Veränderungen der Stimme belegen und visualisieren kann.

Gehört für Sie die Stimmfeldmessung in die logopädische Praxis?

Ich denke, um unsere Position auf dem Markt zu sichern, müssen wir neue Wege gehen, auch in der Qualitätssicherung, und da gehört für mich die Stimmfeldmessung dazu, jedenfalls in einer Praxis, die sich auf Stimmtherapie und Stimmschulung spezialisiert.

Literatur

- Büttner, M., Seidner, W., Eichhorst, P. (1991). Der „Klangkoeffizient“ – ein beachtenswerter Parameter bei der Messung von Singstimmprofilen. *Sprache - Stimme - Gehör* 15, 135-138
- Hacki, T., Frittrang, B., Zywiets, Ch., Zupan, Ch. (1990). Verfahren zur statistischen Ermittlung von Stimmfeldgrenzen – Das Durchschnittsstimmfeld. *Sprache – Stimme – Gehör* 14, 110-112
- Klingholz, F. (1990). Beziehungen zwischen akustischem und stroboskopischem Befund bei Stimmstörungen. *Sprache – Stimme – Gehör* 14, 69-73
- Klingholz, F. (1991). Jitter. *Sprache – Stimme – Gehör* 15, 79-85
- Michaelis, D. (1999). *Das Göttinger Heiserkeits-Diagramm – Entwicklung und Prüfung eines akustischen Verfahrens zur objektiven Stimmgütebeurteilung pathologischer Stimmen*. Universität Göttingen: Doktorarbeit
- Nawka, T. (2001). Gibt es eine objektive Einschätzung der Stimmqualität? In: Gross, M. & Kruse, E.: *Aktuelle phoniatisch-pädaudiologische Aspekte 2000/2001*. (57-61). Heidelberg: Median
- Neiman, G.S. & Edeson, B. (1981). Procedural Aspects of Eliciting Maximum Phonation Time. *Folia Phoniatica* 33, 285-293
- Ptok, M. (1990). Objektive Messverfahren zur Bewertung der postoperativen Stimmqualität nach Kehlkopfoperationen bei Malignompatienten. *Sprache – Stimme – Gehör* 14, 11-17
- Ptok, M., de Maddalena, H., Plinkert, P.K., Arold, P.K. (1992). Zusammenhänge zwischen objektiven Parametern zur Messung der stimmlichen Leistung und Aspekten der psychosozialen Anpassung sowie psychologische Aspekte zur subjektiven Stimmbewertung bei Kehlkopfteilresezierten Patienten. *Sprache – Stimme – Gehör* 16, 38-42
- Schneider, B., Cecon, M., Hanke, G., Wehner, S., Biengenah, W. (2004). Bedeutung der Stimmkonstitution für die Entstehung von Berufsdysphonien. *HNO* 52, 461-467
- Schultz-Coulon, H.-J. (1990). *Stimmfeldmessung*. Heidelberg: Springer
- Seidner, W., Schutte, H.K. (1982). Empfehlungen der UEP: Standardisierung Stimmfeldmessung/Phonetographie. *HNO-Praxis* 7, 305-307
- Sulter, A.M. (1996). *Variation of voice quality features and aspects of voice training in males and females*. Rijksuniversiteit Groningen: Habilitationsschrift
- Wendler, J., Seidner, W., Eysholdt, U. (2005). *Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie*. Stuttgart: Thieme
- Wuyts, F. L., De Bodt, M., Molenberghs, G., Remacle, M., Heylen, L. et al. (2000). Dysphonia Severity Index: An objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach. *J Speech Lang Hear Res* 43, 796-809

Summary

Objective evaluation of voice

Evaluation and control of voice disorders should be based on objective and reproducible data. Examination of vocal performance by voice range profile, by analysis of the voice signal, or by the Göttingen Hoarseness Diagram are tools to be used for this goal. These examinations provide the therapist with valuable information about the voice which she may use for diagnostics and treatment. An overview of these computer aided diagnostic procedures for the voice is given in this article.

KEY WORDS: Voice range profile – Göttingen Hoarseness Diagram – sustained vowels – Dysphonia Severity Index – Jitter – Shimmer

Korrespondenzanschrift

Univ.-Prof. Dr. med. Tadeus Nawka
 Universität Greifswald
 HNO-Klinik, Phoniatrie und Pädaudiologie
 Walter-Rathenau-Str. 43-45
 17487 Greifswald
 nawka@uni-greifswald.de