

Vergleich der Resonanzeigenschaften des Ansatzrohrs mittels

LPC- und Impedanzmessungen

M. Kob, J. Stoffers, M. Lievens, C. Neuschaefer-Rube

Lehr- und Forschungsgebiet für Phoniatrie und Pädaudiologie, RWTH – Universitätsklinikum Aachen

Pauwelsstrasse 30, 52074 Aachen

Einleitung

Die akustische Messung der Resonanzcharakteristik des Raumes zwischen Stimmlippen und Mundöffnung (Ansatzrohr) ermöglicht eine nichtinvasive, objektive Analyse der spektralen Energieverteilung für unterschiedliche Artikulationszustände. Während die übliche Analyse mittels LPC-Verfahren lediglich bei Klängen anwendbar ist, bei der die Glottisfunktion hinreichend stabil ist, kann bei externer Anregung und Bestimmung der akustischen Impedanz am Mund eine Messung auch bei gestörter oder sogar ohne Phonation erfolgen.

Ein Problem bei der Etablierung eines neuen Verfahrens ist der Anschluß der gemessenen Werte an die Ergebnisse bestehender Verfahren. Ausgehend von der Parametrisierung von LPC-Kurven (Frequenz, Güte, Amplitude) werden entsprechende Parameter der Impedanzkurve identifiziert. In einer Studie an 81 Normalsprechern werden die Ergebnisse von Messungen der LPC- und Impedanzkurven für verschiedene Probandengruppen verglichen.

Messverfahren

Der Messaufbau und die dafür entwickelte Software ermöglichen einen bestimmten Ablauf dreier kurz aufeinander folgender Messungen: die LPC-Messung, die Impedanzmessung mit Phonation und die Impedanzmessung ohne Phonation. Die Messung der Ansatzrohrimpedanz am Mund (vocal tract impedance at the mouth, VTMI) ist in [1] ausführlich dargestellt, und der Ablauf von Messungen an Patienten in [2] beschrieben.

Bei den Messungen an 35 Frauen und 46 Männern wurde ein vereinfachter Aufbau ohne Schnelle-Sensor gewählt, da die bei bestimmten Klängen auftretenden hohen Pegel zu einer Übersteuerung des Schnellesensors geführt hatten. Durch Vergleichsmessungen mit dem 2-Sensor-Aufbau wurde für die im folgenden Abschnitt ermittelten Parameter eine hinreichende Übereinstimmung der Ergebnissen beider Verfahren bestätigt.

Die Abtastrate aller Messungen lag bei 22050 Hz, da eine Darstellung bis maximal 10 kHz ausreichend ist für die weitere Auswertung.

LPC-Messung

Das „Linear Predictive Coding“ Verfahren (LPC) ist eine etablierte Methode zur Bestimmung der Formanten eines Stimmsignals. Die LPC-Kurve kann einfach aus einem kurzen Abschnitt des Stimmsignals berechnet werden.

Für die LPC-Messung wurden 28 Koeffizienten gewählt, um einerseits eine möglichst hohe Auflösung der Poles zu erreichen und um andererseits nicht zu viele falsche Formanten zu erfassen. Die LPC-Messung wurde mit einem Hamming-Fenster und 9525 Samples des Stimmsignal berechnet. Der Onset des Stimmsignals wurde automatisch abgeschnitten.

Impedanzmessung

Für alle Impedanzmessungen wurde ein linearer Sweep 250..6000 Hz mit einer Länge von 16384 Samples bzw. 0,74 Sekunden gewählt. Für die Verbesserung des Signal-Rausch-Abstands wurde die Impulsantwort mit einem symmetrischen Hanning-Fenster von 15 ms bearbeitet.

Auswertung und Normalisierung

Parameter

Als Parameter der LPC-Analyse wurden die Formantfrequenzen, die Bandbreite bzw. Güte (3 dB-Abfall) und die relative Amplitude der Formanten ermittelt. Die Amplituden werden als Differenz zum höchsten Formanten im Frequenzbereich 50..5000 Hz erfasst.

Bei der VTMI-Methode werden die Resonanzfrequenzen aus den Minima der Impedanzfunktion $Z(f)$ gewonnen. Für die Ermittlung der Güte und Amplitude der Resonanzen stehen jedoch bisher keine den LPC-Parametern ähnlichen Maße zur Verfügung. Daher wurden zwei aus den Kurven extrahierbare Parameter herangezogen: zum einen wurde aus $Z(f)$ die Steigung im Bereich zwischen Minimum und Maximum einer Resonanz berechnet, zum anderen die Amplitudendifferenz zwischen benachbarten Extrema. Auch hier wurde eine Normierung durchgeführt: die Amplituden wurden auf die absolute Differenz zwischen höchstem Maximum und niedrigstem Minimum im betrachteten Frequenzbereich bezogen.

Normalbereiche

Aus den jeweils drei LPC-Messungen an den sechs Phonemen [a:], [ɛ:], [i:], [o:], [u:], [l:] wurden bei den Normalsprecherinnen und -sprechern für die ersten vier Formanten Mittelwerte und Standardabweichungen der Formantfrequenzen, -amplituden und -bandbreiten ermittelt.

Aus den VTMI- und LPC-Kurven wurden automatisch verschiedene Parameter extrahiert und in einen XML-Baum abgelegt. Aus den LPC-Kurven können die Mittenfrequenzen und die Bandbreiten der Formanten ein-

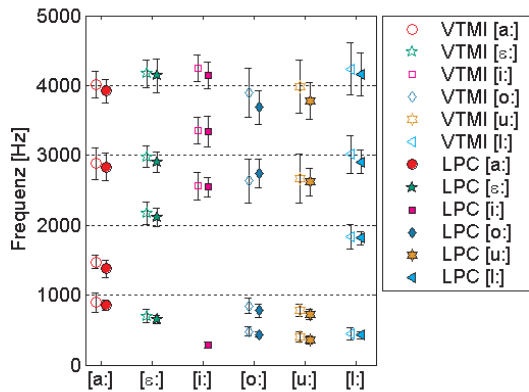


Abbildung 1: Probanden Frauen: Vergleich der Formanten der VTMI- und LPC-Analyse (automat. Analyse in festgelegten Bereichen), Fehlerindikator: ± 1 Standardabweichung

fach berechnet werden. Die Resonanzfrequenzen der Impedanzkurve wurden nach ihrer Amplitude geordnet und mit Hilfe dieses Kriteriums aussortiert. Die dazugehörige Bandbreite wurde zwischen dem Minimum und dem linksliegenden Maximum bestimmt.

In Abbildung 1 sind die Frequenzen der aus der LPC-Analyse ermittelten Formanten den mit der VTMI-Methode gewonnenen Resonanzen gegenüber gestellt. Sowohl hinsichtlich der Mittenfrequenzen als auch der Standardabweichungen sind beide Verfahren vergleichbar. Das Fehlen der ersten Resonanz für [i:] bei der Impedanzmessung ist mit der unzureichenden Anregung des Ansatzrohrs unterhalb von 250 Hz zu erklären.

Fallbeispiel

Die pathologische Veränderung der Ansatzrohrgeometrie kann zu einer Veränderung der Resonanzstruktur des Ansatzrohrs führen [3]. Am Beispiel eines 82-jährigen männlichen Patienten (1.65 m, 55 kg), wird im folgenden exemplarisch die Verwendung der Impedanzmethode zur Untersuchung der Ansatzrohrakustik beschrieben.

Diagnose: Ausgedehnter bösartiger Tumor im unteren Rachen bis Kehlkopf ziehend links (Hypopharynx-Larynxkarzinom, Stadium T4). **CT Befund:** Tumoröse Raumforderung im linken unteren Teil des Rachens, beginnend auf Zungenbeinebene, bis in den Kehlkopf erstreckend über eine Länge von ca. 4,5 cm. Überschreitung der Mittellinie ventral. Zum Teil Arrosion (Angriff) des Schildknorpels durch den Tumor. Bei der Endoskopie (Spiegelung der Luftwege) großer geschwürartig zerfallender Tumor sichtbar, von der Stimmlippenebene hoch über die linke Taschenfaltenseite mit Infiltration der kehlkopfseitigen Epiglottisfläche. Zungenrund, zungenwärts gerichtete Epiglottisfläche und Sinus piriformis optisch tumorfrei. **Besonderheiten bei den LPC- und Impedanzmessungen:** Ober- und Unterkiefer zahnlos. Ausgeprägte Dysphonie (sehr „heiser“), Patient phoniert mit großer Anstrengung und kann die Phonation nur kurz anhalten. Stimmlage sehr hoch („fiepsend“).

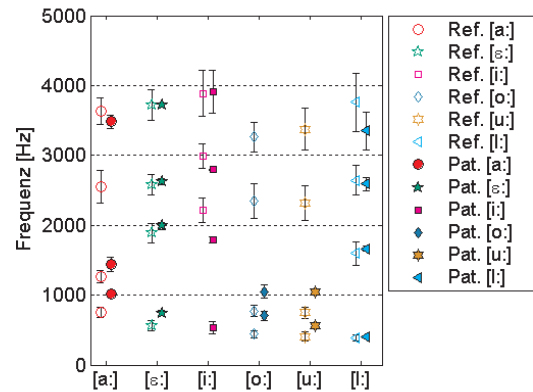


Abbildung 2: Vergleich zwischen den Ergebnissen der VTMI-Messungen an der Referenzgruppe der Männer und einem Patienten mit supraglottalem Tumor

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Resonanzfrequenzanalyse des Patienten vergleichend mit den Werten der männlichen Referenzgruppe dargestellt. Es ist ersichtlich, dass bei mehreren Klängen die Resonanzen zu höheren Frequenzen hin verschoben sind. Beim Laut [a:] ist die dritte Resonanz nicht mehr detektierbar, und bei den Lauten [o:] und [u:] sind die 3. und 4. Resonanz mit sehr starkem Energieverlust behaftet und von so geringer Amplitude, dass sie nicht sicher detektiert werden.

Diskussion

Die Untersuchung der Normalengruppen zeigt sowohl Unterschiede der Formant- und Resonanzcharakteristik zwischen Männern und Frauen als auch zwischen den beiden Verfahren auf. Die Frequenzen der LPC- und Impedanzmessungen sind stark korreliert.

Die Abweichung der bei dem Patienten gefundenen Erhöhung der Resonanzwerte bei den Klängen [a:] und [ɛ:] weist auf die akustische Verkürzung des Ansatzrohrs durch die tumorbedingte Einengung des supraglottalen Raums hin. Das Fehlen der höheren Formanten bei den Klängen [o:] und [u:] könnte durch vermehrte Schallabsorption durch die Gewebeänderung verursacht sein, doch ist die Detektion dieser schwachen Resonanzen generell schwierig. Eine systematische Untersuchung weiterer Patienten mit ähnlichen Befunden ist geplant und wird weitere Hinweise für die Zuordnung physiologischer und akustischer Eigenschaften des Ansatzrohrs liefern.

Literatur

- [1] M. Kob und Ch. Neuschaefer-Rube (2002): A method for measurement of the vocal tract impedance at the mouth. *Medical Engineering & Physics*, 24, 467-471.
- [2] M. Kob, J. Stoffers, M. Lievens, R. Katzer und C. Neuschaefer-Rube (2004): Application of impedance measurements for the diagnosis of articulatory dysfunction. *Proceedings, CFA/DAGA 2004*, 1145.
- [3] S. Koppetsch und K. Dahlmeier (2003): Funktionelle Störungen der Artikulation bei intra-oralen Tumoren — eine prä- und postoperative Langzeitstudie. *Sprache-Stimme-Gehör*, 155-160.