

Tomographie der Glottis durch Messung der elektrischen Transferimpedanz

Tobias Frauenrath^{1,2}, Malte Kob², Catherine Disselhorst-Klug³, Oliver Goldschmidt²

¹ *Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, Neustrasse 50, 52066 Aachen*

² *Lehr- und Forschungsgebiet für Phoniatrie und Pädaudiologie, RWTH – Universitätsklinikum Aachen*

³ *Institut für Biomedizinische Technologien, RWTH – Universitätsklinikum Aachen, Pauwelsstrasse 30, 52074 Aachen*

Einleitung

Die Mehrzahl aller Stimmstörungen kann auf eine fehlende oder unphysiologische Tonuseinstellung der intra- und extralaryngalen Muskulatur zurückgeführt werden, welche die für die Schwingung der Stimmlippen nötigen Randbedingungen schafft. Es resultiert eine Störung der Stimmgebung, die sich z. B. durch Heiserkeit, gepresste oder behauchte Stimme oder gar in Aphonie (Stimmlosigkeit) zeigen kann. Bei Schluckstörungen liegt oft eine fehlende Koordination von Glottisverschluß und Bewegung der beim Schlucken beteiligten Organe vor.

Mit dem vorgestellten Verfahren wird das bereits für klinische Studien etablierte Elektroglossographie (EGG)-Konzept [1] um eine Positionsbestimmung erweitert, indem mit je einem Array Sende- und Empfangselektroden eine Impedanzmessung unterschiedlicher Stromlaufpfade durchgeführt wird. Alle Einzelmessungen folgen dabei in sehr kurzer Zeit aufeinander, so dass in jedem der einzelnen Messkanäle eine vollständige EGG-Darstellung auflösbar ist.

Eine Darstellung der Kehlkopfstellung durch dieses neue diagnostische Messverfahren kann im Praxisalltag des Phoniaters dabei helfen, Kehlkopfstellungen quantitativ zu beobachten und den Therapieverlauf zu dokumentieren.

Elektroglossographie

Der Öffnungszustand der Glottis ist mit bisherigen Verfahren der EGG erfassbar und wird als Hilfsmittel zur Diagnose von Stimmstörungen eingesetzt [2]. So kann aus dem Verhältnis der Öffnungs- und Verschlussphase der Glottisperiode ein objektives Maß für die Beurteilung der Stimmlippenschwingung gewonnen werden. Hierbei wird ein hochfrequenter Wechselstrom auf Höhe des Larynx durch den Hals geleitet. Durch diese einkanalige Messung des Öffnungsgrades der Glottis kann eine zeitlich modifizierte Impedanzkurve ermittelt werden, jedoch kann keine räumlich aufgelöste Darstellung der Glottisposition visualisiert werden [3, 4]. Als Erweiterung können mehrere Kanäle als Platzierungshilfe für die Elektroden dienen [5]. Jedoch kann keine genaue Positionsangabe generiert werden, da durch das parallele Messverfahren ein Übersprechen auftritt [6].

In Bild 1 ist das schematische Funktionsprinzip des EGG-Verfahrens dargestellt. Ein elektrisches Sinussignal wird über eine Sende- und Empfangselektrode auf Höhe des Larynx in den

Hals eingespeist. Dort findet eine Amplitudenmodulation des hochfrequenten Wechselstromsignals statt, da durch die geschlossene Glottis eine niedrigere Impedanz resultiert als durch die geöffnete. Das nun modulierte Signal wird mit einer Empfangselektrode abgegriffen und einer Auswertstufe zugeführt, wo mit Hilfe des Amplitudendemodulationsverfahrens ein elektrisches Signal gewonnen wird, was proportional zum aktuellen Öffnungszustand der Glottis ist. Dieses Signal wird zur Auswertung einer herkömmlichen Soundkarte in einem PC zugeführt und mit Hilfe einer Software über der Zeit dargestellt und ausgewertet.

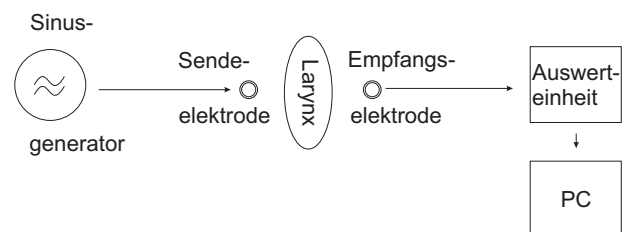


Abbildung 1: Blockschaltbild eines EGG-Gerätes

Glottotomographie

Durch einen Array von je 6 Sende- und Empfangselektroden ist eine sequentielle Impedanzmessung von 36 Stromlaufpfaden auf Höhe des Larynx innerhalb von kurzer Zeit möglich. Dadurch wird insgesamt eine Bildrate oberhalb der Sprech-Grundfrequenz erreicht. Eine Software visualisiert die vermutete Kehlkopfposition in einem XY-Graph und ermöglicht die Darstellung der Glottislage während des Phonierens, des Schluckens und des Atmens. Im Vergleich mit anderen bildgebenden Verfahren, wie z. B. der Magnetresonanztomographie (MRT), hat die Elektroglossotomographie den Vorteil der ambulanten Einsetzbarkeit. Aufwändige Untersuchungsverfahren und Vorbereitungen sind durch eine Platzierung der Elektrodenarrays auf einer Halskrause und einem transportablen Messaufbau nicht erforderlich. Weiterhin ist durch die hohe Messrate eine Erfassung des Öffnungszustandes mit dem vorgestellten Verfahren möglich, die sich mit MRT-Aufnahmen nicht erreichen lässt. Ein untypisches Verhalten der Probanden durch Untersuchungsapparaturen im Körper wird durch die Nichtinvasivität vermieden. Lediglich ein guter Elektrodenkontakt mit der Haut auf Höhe des Larynx muss für eine aussagekräftige Untersuchung sichergestellt werden. Auch hygienische Gründe

sprechen für die Anwendung der neu vorgestellten Methode, da kein Eingriff in den Körper erfolgt.

Neben der Amplitude der Impedanz kann auch der Modulationsgrad pro Messstrecke ausgewertet und dargestellt werden. Artefakte durch einen eventuellen Stromfluß durch andere Körperregionen (wie z. B. dem Gaumen) werden so nicht berücksichtigt, da nur die Glottis die typische Modulation des elektrischen Stromes hervorrufen kann.

In Bild 2 ist der schematische Aufbau des neuen Verfahrens dargestellt. Das Sinussignal des Generators wird einer Multiplexeinheit zugeführt. Diese Multiplexeinheit sorgt dafür, dass an den einzelnen Elektroden das elektrische Signal sequentiell anliegt und auf Höhe des Larynx in den Hals eingeleitet wird. Auf der gegenüberliegenden Seite des Larynx befindet sich ein ähnlich aufgebautes Empfangsarray, an dem die nun von der Lage und des Öffnungszustandes unterschiedlich modulierten Potentiale im Zeitmultiplex abgefragt werden können. Für die Koordination ist auch hier die Schalteinheit zuständig. Da nach der Demultiplexerstufe wieder ein einzelnes Signal vorliegt, kann die Auswerteinheit einkanalig beschaffen sein. Jedoch sind besondere technische Maßnahmen erforderlich, da Effekte durch die Umschaltung nicht zu nennenswerten Störungen führen dürfen.

Anschließend erfolgt eine A/D-Wandlung und eine Bearbeitung durch eine PC-Software. Diese Software ist in der Lage, die genaue Zuordnung der jeweiligen örtlichen Lage der Messstrecke mit dem Spannungswert zu assoziieren, da durch die Schalteinheit eine Synchronisation der PC-Software erfolgt. Die genaue Timingabfolge wird mit einem autarken Mikroprozessor realisiert, um unabhängig von Multitasking-Betriebssystemen zu sein.

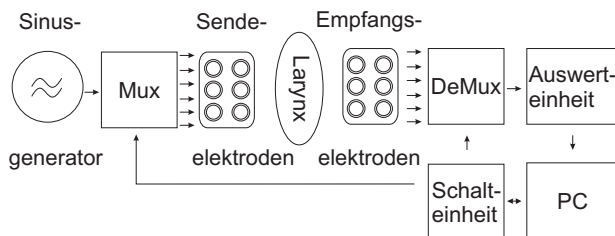


Abbildung 2: Blockschaltbild eines Tomographie-Gerätes

Resümee

Hauptvorteil der neuen Technik ist die simultane, schnelle Messung von Öffnungsgrad und Position der Glottis.

Für die Aufnahme der Transferimpedanz wird eine neu entwickelte Zeitmultiplex-technik verwendet, bei der die beim Umschalten der Kanäle auftretenden Probleme der Übersteuerung und des Einschwingens durch den Einsatz spezieller Hardware gelöst wurden. Eine hohe Wortbreite des verwendeten AD-Wandlers bringt eine hohe Universalität mit sich, weil ein breiter Dynamikbereich erfasst werden muss, um kleinste Impedanzänderungen und Unterschiede in den verschie-

denen Stromlaufpfaden aufzulösen. Des Weiteren wird über verschiedene Verstärkerstufen für Impedanz- und Öffnungszustandsmessung eine jeweils optimale Aussteuerung erreicht. Je nach Ausführung der Hardware sind auch andere Elektrodenanordnungen oder eine andere Elektrodenanzahl denkbar.

Der untersuchten Person wird durch eine spezielle Form und Anordnung der Elektroden ein komfortables Tragen der Messelektroden ermöglicht, die trotzdem geringe Übergangswiderstände in den Körper ermöglichen. Generell sollen neben Männern auch Frauen und Kinder mit dem entwickelten System untersucht werden können, bei denen Impedanzänderungen durch Stimmklappenbewegungen nicht so stark ausgeprägt sind [6].

Das Tomographiesystem arbeitet mit einer Umschaltfrequenz von 44 kHz und ist so bei je 6 Send- und Empfangskanälen in der Lage, mindestens einen Spannungswert pro Schaltperiode mit über 1000 Hz zu erfassen. Daraus ergeben sich Möglichkeiten zur vollständigen Signalanalyse je Kanal bis zu einer Sprachgrundfrequenz von ca. 200 Hz. Hohe Frauen- und Kinderstimmen machen jedoch für z. B. „Open-Quotient“-Analysen eine höhere Abtastfrequenz erforderlich.

Durch eine geplante Kalibrierung werden objektive Messungen ermöglicht. Gewährleistet wird dies durch einen festen Abstand der jeweiligen Array-Elektroden zueinander. Als Abgleichstechniken für die Kalibrationen kommt z. B. die MRT-Methode in Frage [7].

Literatur

- [1] FABRE, P: Percutaneous electric process registering glottic union during phonation: glottography at high frequency; first results.. In: *Bull Acad Natl Med* 141 (1957), Jan, Nr. 3-4, S. 66–69
- [2] HENRICH, Nathalie ; D'ALESSANDRO, Christophe ; DOVAL, Boris ; CASTELLENGO, Michèle: Glottal open quotient in singing. In: *J Acoust Soc Am* 117 (2005), Mar, Nr. 3 Pt 1, S. 1417–1430
- [3] FOURCIN, A.J. ; ABBERTON, E.: First applications of a new laryngograph. In: *Med Biol Illus* 21 (1971), Jul, Nr. 3, S. 172–182
- [4] FOURCIN, A.J. ; ABBERTON, E.: Laryngograph studies of vocal-fold vibration. In: *Phonetica* 34 (1977), Nr. 4, S. 313–315
- [5] ROTHENBERG, Martin: A Multichannel Electroglottograph. In: *Journal of Voice* 6 (1992), Nr. 1, S. 36–43
- [6] ROTHENBERG, Martin: Comparative Measurements of EGG Noise Level and Signal-to-Noise Ratio. In: *Glottal Enterprises* January (2002), S. 6
- [7] NEUSCHAEFER-RUBE, C ; WEIN, B ; ANGERSTEIN, W ; KLAJMAN, S: MRI examination of laryngeal height during vowel singing. In: *Folia Phoniatr Logop* 48 (1996), Nr. 4, S. 201–209