

MAREYSche Kapseln in der experimentellen Phonetik – ihr Übertragungsverhalten aus heutiger Sicht

Dieter Mehnert, Rolf Dietzel, Dietmar Richter, Jürgen Landgraf

Technische Universität Dresden, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik,
Institut für Akustik und Sprachkommunikation

1. Vorbemerkung

Seit Beginn der experimentellen Phonetik war es notwendig, für die Beschreibung von Intonationsverläufen der Sprache die Grundfrequenz der vokalischen Anteile zu messen und die Zeitverläufe dieser Grundfrequenzen zu ermitteln. Deren zeitliche Anstiege und Abfälle kennzeichnen bekanntlich Satz-Strukturen, wie z. B. Fragesätze, Ausrufesätze oder Satz-Enden [4]. Bei Aufnahmen der Inventare von Fremdsprachen, insbesondere von Tonhöehensprachen (wie z. B. Chinesisch, Burmesisch, Vietnamesisch) waren die Grundfrequenz-Messungen unerlässlich, da derartige Anstiege bzw. Abfälle in diesen Sprachen semantische Bedeutung haben.

2. Einleitung

MAREYSche Kapseln sind akustisch-mechanische Wandler, mit denen Schall in mechanische Größen umgewandelt wird. Über einen Schlauch speist man den Sprachschall in den Hohlraum einer flachen Kapsel ein, die mit einer dünnen Gummimembran abgeschlossen ist. Wechsel-Drücke in der Kapsel erzeugen Membran-Auslenkungen, die einen Hebel mit Schreibspitze auslenken und auf dem beruhten Papier einer sich drehenden Kymographen-Trommel aufgezeichnet werden.



Bild 1: G. Panconcelli-Calzia (Hamburg) am Kymographen (Foto von etwa 1920)



Bild 2: MAREYSche Kapsel mit Hebel. Durchmesser 16 mm.

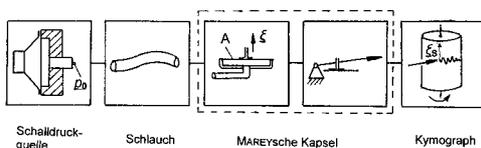


Bild 3: Prinzip der Messanordnung

p_0 = Schalldruck der Schallquelle, A = Membranfläche,
 ξ = Membranauslenkung, ξ_S = Auslenkung der Schreibspitze.

MAREYSche Kapseln wurden vom Experimentator je nach den Frequenzen und Amplituden der zu messenden Zeitfunktionen ausgewählt. Bild 2 zeigt einen häufig verwendeten Kapseltyp. Im vorliegenden Beitrag interessiert die Frage: Welche Übertragungsfunktion hat der Messaufbau aus Schallquelle – Schlauch – MAREYScher Kapsel – Zeiger ?

3. Blockscheema der Messanordnung

Bild 3 zeigt den Messaufbau. Seine Bestandteile lassen sich schematisch als Ersatzschaltungen beschreiben, vgl. Bild 4.

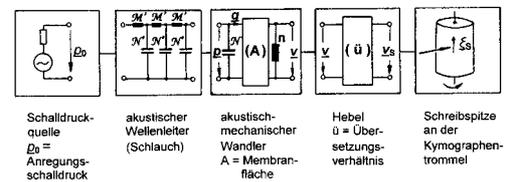


Bild 4: Blockschaltbild der Messanordnung aus analogen elektrischen Baugruppen.

Der Schlauch lässt sich als akustischer Wellenleiter abbilden, der aus einer Kettenschaltung einzelner akustischer Massen \mathcal{M}' und Nachgiebigkeiten \mathcal{N}' besteht. Die MAREYSche Kapsel wandelt akustische Größen (Schallfluss und -druck) in mechanische Größen (Schnelle und Kraft) um, sie wird in der Ersatzschaltung als Gyrator abgebildet.

Das Übertragungsverhalten der MAREYSchen Kapseln wird beschrieben durch den Quotienten aus Auslenkung ξ der Kapselmembran und Schalldruck p_0 am Schlauchanfang. Es wird $B(f) = |\xi/p_0|$ gemessen (Bild 5).

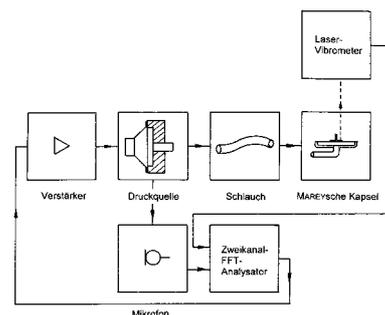


Bild 5: Messaufbau

Als Schalldruckquelle dient ein Tiefton-Lautsprecher mit einer Adapterplatte, an deren Öffnung sich der Schlauch anbringen lässt. Am anderen Schlauch-Ende steckt die MAREYSche Kapsel. Mit einem Laser-Vibrometer werden berührungslos die Auslenkungen ξ der Membranmitte gemessen. Den Anregungs-Schalldruck p_0 misst ein Mikrofon im Hohlraum der Adapterplatte. Die Ausgangssignale vom Laser-Vibrometer und Mikrofon speisen einen

Zweikanal-FFT-Analysator, der den gesuchten Quotienten $\left| \frac{\xi}{p_0} \right|$ bildet.

4. Ergebnisse

Bild 6 zeigt die gemessenen Übertragungsfunktionen $B(f)$ von zwei MAREYSchen Kapseln mit unterschiedlichem Durchmesser, die über zwei verschieden lange Schläuche von der Schallquelle angeregt wurden.

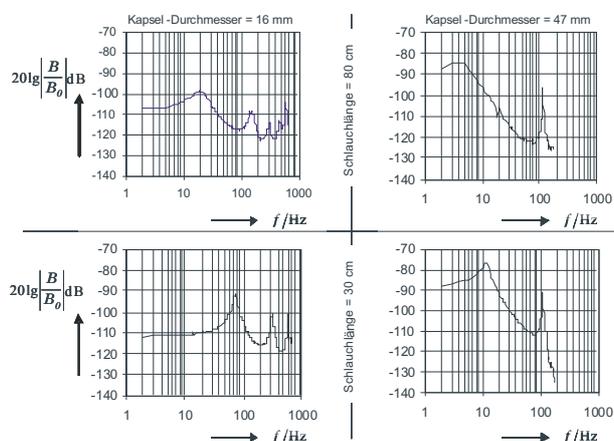


Bild 6: Übertragungsfunktionen von zwei MAREYSchen Kapseln mit verschiedenen langen Verbindungsschläuchen.

Das *erste Maximum* jeder dieser Kurven wird verursacht von der Resonanz zwischen der akustischen Masse \mathcal{M} der Luft im Schlauch und einer akustischen Nachgiebigkeit

$\mathcal{N}_{\text{ges}} = \mathcal{N} + \mathcal{N}_n$. Sie entsteht aus der Zusammenschaltung von der Nachgiebigkeit des Kapsel-Hohlraums $\mathcal{N} = V/\rho c^2$ (V ...Kapselvolumen, ρ ...Luftdichte, c ...Schallgeschwindigkeit) und jener Nachgiebigkeit \mathcal{N}_n , die sich aus der gyratorisch übertragenen mechanischen Membran-Nachgiebigkeit n ergibt: $\mathcal{N}_n = A^2 n$ (A ...Membranfläche).

Die nachfolgenden Maxima dieser Übertragungsfunktionen $B(f)$ im Bild 6 sind die Resonanzstellen des akustischen Wellenleiters. Sie entstehen durch die Bildung stehender Wellen im Schlauch jeweils bei den ungeradzahlig Vielfachen von $\lambda/4$. Bei einem kurzen Schlauch ist bei tiefen Frequenzen die akustische Masse \mathcal{M} der Luft im Schlauch als konzentriertes Bauelement wirksam. $\mathcal{M} = \rho \ell / A_S$ (ρ ...Luftdichte, ℓ ...Schlauchlänge, A_S ...Schlauchquerschnitt).

Der dynamische Übertragungsfaktor einer MAREYSchen Kapsel mit 47 mm Membran-Durchmesser und 0,05 mm dicker Membran beträgt bei sehr tiefen Frequenzen

$$B = \left| \frac{\xi}{p_0} \right| = 15 \mu\text{m}/\text{Pa}.$$

5. Schlussfolgerungen

Die Stimmton-Grundfrequenzen liegen im Mittel bei männlichen Sprechern um $f = 120$ Hz, bei weiblichen Sprechern um $f = 240$ Hz. Der interessierende Bereich solcher hier beschriebener Messaufbauten liegt also in der Größenordnung von 100 Hz bis 350 Hz.

Aus Messungen mit einer Vielzahl unterschiedlicher MAREYScher Kapseln mit verschiedenen Membran-Materialien, Membran-Dicken und Membran-Flächen lässt sich folgendes sagen:

1. Die Membranauslenkungen sind *so* gering, dass eine für die kymographische Aufzeichnung halbwegs ausreichende Amplitude überhaupt nur dann zustande kommt, wenn ein

leichter Zeiger auf den Hebel aufgesteckt wird, d.h. man muss immer von der Hebelübersetzung Gebrauch machen.

2. Derartige auswertbare Zeigerauslenkungen kommen außerdem nur dann zustande, wenn man die Kapseln mit Frequenzen anregt, die etwa mit der jeweils zweiten Resonanzfrequenz f_2 (vgl. Bild 6) übereinstimmen oder zumindest sich nur geringfügig davon unterscheiden

6. Zusammenfassung

Vermutlich haben die Experimental-Phonetiker von den hier beschriebenen Unzulänglichkeiten des Mess- und Aufzeichnungs-Verfahrens gewusst. Die in jedem phonetischen Laboratorium seinerzeit vorhandene große Anzahl von MAREYSchen Kapseln mit verschiedenen Durchmessern und unterschiedlichen Bespannmaterien (Dicke, Elastizitätsmodul, ...) lässt folgende Vermutung zulässig erscheinen: Der Versuchsleiter hat durch Vorversuche für einen bestimmten Sprecher dessen mittlere Stimmton-Grundfrequenz ermittelt. Danach hat er aus dem ihm verfügbaren Sortiment die am besten geeignete MAREYSche Kapsel ausgewählt, das heißt jene Kapsel, die bei dem zu erwartenden Stimmton-Grundfrequenz-Bereich die größten Zeigerauslässe erzeugte.

Die Phonetiker konnten mit ihren Experimenten der Sprachforschung Grundlagen zur Beschreibung von Sprachen liefern, insbesondere auf dem Gebiet der Intonation und der systematischen Inventarisierung von Tonhöhen Sprachen. Im Zeitraum um 1900 hatten z. B. Beschreibungen afrikanischer und asiatischer Sprachen eine hohe Blüte erreicht.

Zahlreiche wissenschaftliche Einrichtungen in Deutschland (Hamburg, Berlin, Bonn) und in Europa (Paris, Prag, Amsterdam, St. Petersburg) waren bis in die zwanziger Jahre des vorigen Jahrhunderts an den Fortschritten auf diesem Fachgebiet maßgeblich beteiligt.

Die Wissenschaftler dieser Forschungseinrichtungen waren aus heutiger Sicht Universalgelehrte, die auf den Gebieten Physiologie und Psychologie, Linguistik und Phonetik, angewandte Akustik und Experimentiertechnik gleichermaßen erfolgreich arbeiteten.

Literatur

- [1] Hoffmann, R.; Mehnert, D.: Die historische akustisch-phonetische Sammlung der TU Dresden. DAGA 2006, Braunschweig. S. 331 – 332.
- [2] Hoffmann, R.; Mehnert, D.; Dietzel, R.; Kordon, U.: Acoustic Experiments with Wethlo's Larynx Model. Proc. Kempelen Workshop. Budapest, 2004 = Grazer linguistische Studien 62, 2004, S. 51 – 59.
- [3] Mehnert, D.; Hoffmann, R.: Schallerzeugung, Schallaufzeichnung und Schallanalyse mit historischen phonetischen Instrumenten. Studentexte zur Sprachkommunikation, Bd. 29. Dresden, 2003, S. 77 – 91.
- [4] Mehnert, D.: Prosodieforschung zu Beginn des 20. Jahrhunderts – Tonhöhenmess- und Analyseverfahren mit historischen phonetischen Apparaten. In: Studentexte zur Sprachkommunikation, Band 44. Dresden: TUDpress, 2007, S. 28 – 45.
- [5] Mehnert, D.: Historische phonetische Geräte.

<http://www.ias.et.tu-dresden.de/sprache>