

Physiologische Phonetik

Kehlkopf

Vorspann: Literatur; sprachliche Funktionen des Kehlkopfs

Das Gerüst: Knorpel, Muskeln, Gelenke

Von Muskeln zu Kräften

Die Struktur der Stimmbänder

Zwischenstation: Kehlkopfbewegungen in fließender Rede

Phonation: Warum und wie die Stimmbänder schwingen

Ausblick

Larynx Literatur

- Titze** (1994). Sign: VII Tit 2,1. *Principles of voice production Vocal fold physiology series* (verschiedene Hrsg.). Sign: IX Co 170
- Aronson** (1985). Sign: VII Aro 2,1. *Clinical voice disorders*
- Hirano** (1981). Sign: VII Hir 7,1. *Clinical examination of voice*
- Hirano & Kakita** (1985). Sign: VII Dan 4,1. *Cover-body theory of vocal cord vibration*. In Daniloff (ed.) *Speech Science*, pp. 1-46.
- Sawashima & Hirose** (1983). Sign: IX Co 193,2. *Laryngeal gestures in speech production*. In MacNeilage (ed.) *The production of speech*, pp. 11-38.
- Ohala** (1978). Sign: II Fro 1,3. *Production of Tone*. In Fromkin (ed.) *Tone. A linguistic survey*, pp. 5-40.
- van den Berg** (1958). *Myo-elastic aerodynamic theory of voice production*. *J. Speech and Hearing Res.*, 1, 227-243
- Titze** (1980). *Comments on the myo-elastic aerodynamic theory of phonation*. *J. Speech and Hearing Res.*, 23, 495-519

Sprachliche Funktionen des Kehlkopfes

Intonation

Töne in Tonsprachen

Stimmqualität (z.B. 'creaky', 'breathy')

Stimmhaft vs. Stimmlos

Glottal Stop

Vertikale Kehlkopfbewegungen (Ejektive, Implosive)

Vertikale Kehlkopfposition (Vokaltraktlänge, z.B /i/ vs. /u/)

Bildbeispiel

—————

Nichtsprachliche Funktionen? v.a Schutz der Atemwege, Schlucken

Larynx

Cartilages and Muscles

Cricoid	(Ringknorpel)
Thyroid	(Schilddknorpel)
Arytenoid	(Stellknorpel)
(Epiglottis	(Kehldeckel))

cricothyroid

cricoarytenoid	1. lateral
	2. posterior

thyroarytenoid (vocalis)

interarytenoid

Abbildungen aus Sobotta

Larynx: Gelenke

1. Zwischen Schild- und Ringknorpel

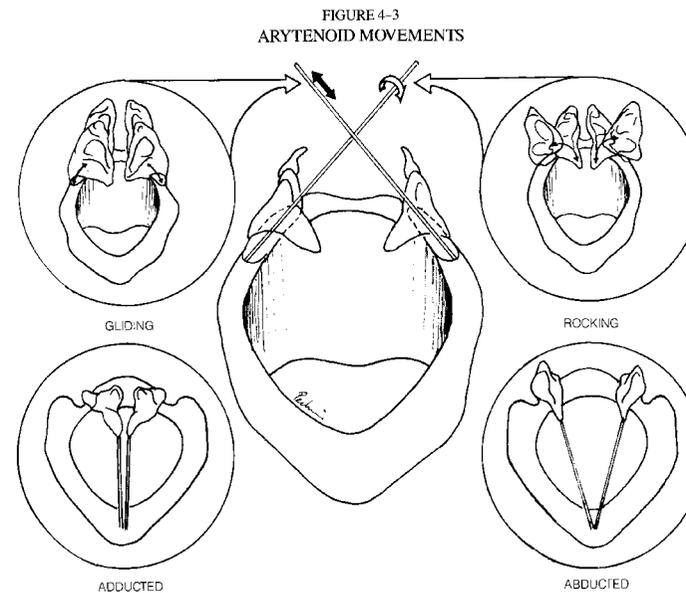
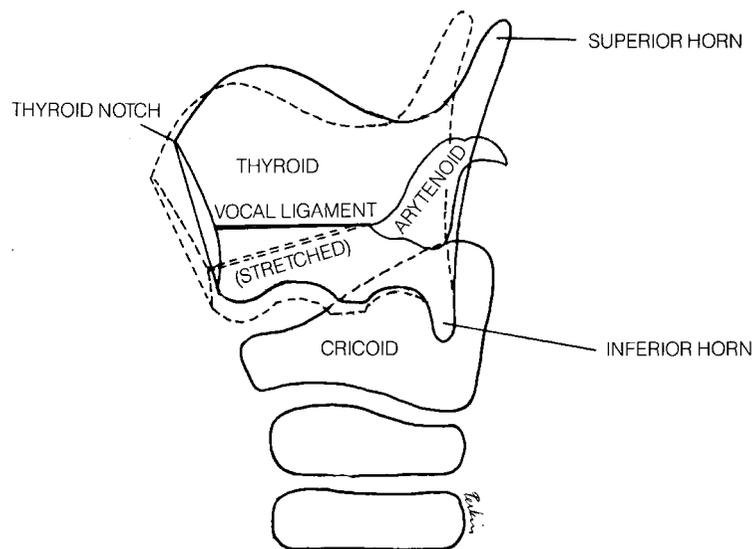
Kippbewegung > Längung der Stimmbänder

2. Zwischen Ary- und Ringknorpel

Bewegung relativ schwer zu beschreiben (drehen/kippen und gleiten)

Aber in den Filmen sichtbar!

> Form und Öffnungsgrad der Glottis



Aufgrund der Anordnung der Muskeln und der Gelenke ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, die Form und den Zustand der Glottis und der Stimmbänder zu gestalten.

Schematische Darstellung der Hauptkräfte, mit Zuordnung zu den Muskeln

(durch Klicken auf den roten Begriffen im letzten Bild können weitere Demofilme abgerufen werden: Hauptbewegungstypen an einem Kehlkopfpräparat demonstriert)

Anmerkungen (1)

Longitudinale Spannung: Hauptsächlich für die Regelung der Grundfrequenz (Tonhöhe der Stimme) verantwortlich.

Höhere Spannung > Längere Stimmbänder > Höhere Grundfrequenz.

Aber bei welchem Geschlecht findet man die längeren Stimmbänder?

Paradox?

Anmerkungen (2)

Zur Trennung zwischen “Adduction” und “Adduction with medial compression” :

- > Öffnungsgrad des vorderen und hinteren Teils der Glottis unabhängig voneinander
- > Beispiel: Traditionelle Beschreibung des Flüsterns: “Flüsterdreieck”
Annäherung der Stimmfortsätze der Aryknorpel (“Adduction with medial compression”) ohne gleichzeitige Annäherung der Muskelfortsätze

Im SoSe weitere Möglichkeiten, die sich aus dieser Trennung ergeben

Zwei terminologische Anmerkungen

Engl. “vocal process” und “muscular process” (Perkins & Kent Abb. 4.8)

Latein. “processus vocalis” und “processus muscularis”

> “Process” = “Fortsatz” (deutsch)

Vorderer Teil der Glottis = “ligamental glottis” (d.h. zwischen dem ligamentum vocale)

Hinterer Teil der Glottis = “cartilaginous glottis” (d.h. zwischen den Aryknorpeln)

Abbildung Sobotta

Anmerkungen (3)

Aus linguistischer Sicht ergibt sich eine sehr nützliche Skala, wenn “Adduction” und “Adduction with medial compression” zusammen wirken (Gesamtgrad der glottalen Konstriktion):

A scale of decreasing glottal constriction

glottal stop

phonation: creaky voice

Bild

phonation: normal voice

phonation: breathy voice

Bild

voiceless consonants

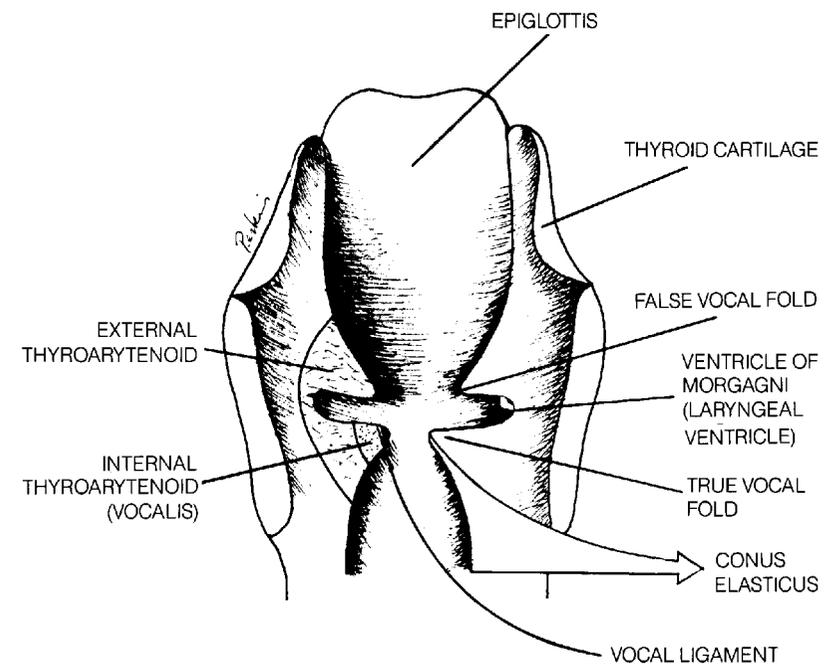
respiration

Die Stimmbänder

Die vielfältigen Einstellungsmöglichkeiten werden durch die Struktur der Stimmbänder nochmal verstärkt.

Sie weisen eine komplizierte Schichtenstruktur auf.

FIGURE 4-14
CORONAL SECTION OF LARYNX



Vergrößerte Darstellung eines Stimmbands
(aus Titze, 1994)

Für das Verständnis des Schwingungsverhaltens der Stimmbänder hat sich eine Einteilung in zwei Schichten als nützlich erwiesen (“**Cover-body model**”, nach Hirano):

1. Die äußere Schicht (“**Cover**”)
Nicht-muskulär (z.B Schleimhaut)
Gelatinartige Konsistenz
Spannungszustand nur passiv regelbar
2. Die innere Schicht (“**Body**”)
Im wesentlichen muskulär (internal thyroarytenoid)
Daher Spannungszustand aktiv regelbar

Ergänzendes Bildmaterial aus Sobotta (transversale Schnitte durch die Glottis):

1. In Höhe der Stimmbänder (“true vocal folds”)
2. In Höhe der Taschenfalten (“false vocal folds”)

Larynx: Zwischenstation

Wir kennen jetzt den Aufbau des Kehlkopfes

Wir wissen aber noch nicht, wie und warum die Stimmbänder schwingen

Trotzdem halten wir jetzt folgendes fest:

Bei Änderungen der Form und des Öffnungsgrads der Glottis haben wir es mit zwei ganz unterschiedlichen Zeitbereichen zu tun:

1. Langsame, muskulär gesteuerte Bewegungen
stimmhaft <> stimmlos, glottal stop <> stimmhaft usw.
(vgl. oben "Konstriktionsskala")
Geschwindigkeit bis etwa 10 pro Sekunde
2. Schnelle, aerodynamisch bedingte Bewegungen
Die Schwingungen der Stimmbänder
Geschwindigkeit i.d.R. 100 pro Sekunde aufwärts

Demofilm: Kehlkopfbewegungen in fließender Rede

In diesem Film sind die “langsamen” Bewegungen sichtbar.

Die “schnellen” Bewegungen sind sehr wohl auch vorhanden (immer wenn der Laut stimmhaft ist), sind aber nicht sichtbar: Sie sind einfach zu schnell für einen normalen Videofilm (mit speziellen Verfahren können aber auch sie sichtbar gemacht werden (Beispiele später)).



Phonation: Warum und wie die Stimmbänder schwingen

Die myoelastische-aerodynamische Theorie

myoelastisch:

Muskelaktivität (“myo-“) regelt die Position und die elastischen Eigenschaften der Stimmbänder so, daß ein für den Schwingungsvorgang geeigneter Grundzustand gegeben ist.

Es muss nicht für jede einzelne Schwingung ein eigener Nervenimpuls abgegeben werden.

aerodynamisch:

- (1) allgemein. Die Stimmbänder können nur schwingen, wenn ein Luftstrom durch die Glottis möglich ist. Dies ist nur möglich, wenn der Luftdruck oberhalb und unterhalb der Glottis unterschiedlich ist.
- (2) spezifisch. Wenn Luft durch eine Verengung (eine Düse) fließt, nimmt die Fließgeschwindigkeit in der Düse zu; der Druck nimmt ab (“Bernoulli-Effekt”)

→ Das Grundszenario

(vgl. Handout zu Schwingungsablauf und Bernoulli-Effekt)

1. Ausgangspunkt: Stimmbänder geschlossen (adduziert)
2. Der erhöhte Druck unterhalb der Glottis drückt die Stimmbänder auseinander.
3. Luft fließt durch die Glottis (die eine Art Düse darstellt).
4. Wegen dem Bernoulli-Effekt nimmt der Druck in der Glottis (zwischen den Stimmbändern ab).
5. In Verbindung mit den elastischen Rückstellkräften der Stimmbänder schließt sich die Glottis wieder.
6. Der Zyklus wiederholt sich

Aber es fehlt noch was!

Das “Düsenprinzip” unterscheidet nicht zwischen Öffnungsphase und Schließphase
Der Bernoulli-Effekt ist aber nur während der Schließphase nützlich

Was haben wir noch nicht beachtet?

Während des Schwingungszyklus ändert sich die **Verkantung** der Stimmbänder:
Während der Öffnungsphase ist die Glottis unten weiter als oben (“konvergent”)
Während der Schließphase ist es umgekehrt (“divergent”)

→ wichtiges Stichwort: “Vertikale Phasendifferenz”

Physikalisch nachweisbar:

Der Druck, der auf die Stimmbänder wirkt, ist bei konvergenter Glottis im Schnitt größer als bei divergenter Glottis.

d.h größer beim Öffnen als beim Schließen

d.h genau die Verhältnisse, die einen zyklischen Schwingungsvorgang unterstützen

Analogie: Kind auf einer Schaukel. Man muß zum richtigen Zeitpunkt im Schwingungszyklus anschieben.

Hier kommt das “Cover-Body Model” zum Tragen

Die “Cover”-Schicht (gelatinartig) trägt besonders viel zu dieser aerodynamisch günstigen Verformung der Stimmbänder bei.

Englisch: “Mucosal Wave”. Die Verformung breitet sich wellenförmig auf der Stimmbandoberfläche aus (Mucosa = Schleimhaut)

Fazit: Das “Wie” und das “Warum” des Schwingungsvorgangs sind ganz eng miteinander verknüpft

Demo: Hochgeschwindigkeitsfilme des Schwingungsablaufs

Anmerkung:

Der aufschlußreichste Blick auf die Stimmbänder wäre eigentlich von vorne (vgl. Abbildungen im Handout).

Die Filme zeigen den üblichen endoskopischen Blick von oben

→ möglichst den Blick von oben in einen Blick von vorne gedanklich “übersetzen”

Ausblick

Die Sprache **Mpi** als Beispiel für die sprachlichen Leistungen des Kehlkopfs:

Phonation: Tonsprache > Regelung der Grundfrequenz
kombiniert mit Regelung der Stimmqualität



Die phonatorische Leistung ist immer eingebettet in kontinuierliche langsame Bewegungen entlang der Konstriktionsskala (hier: Übergang von stimmlos nach stimmhaft in der Silbe /si/)

Themen, die fortgesetzt werden (im SoSe):

näheres zur Regelung von **Grundfrequenz** und **Stimmqualität**
auf der Grundlage von
näherem zum Zusammenspiel von **Cricothyroideus** und **Thyroarytenoideus**
unter der weiteren Beteiligung des **Cover-Body Models**

Zum Abschluß:

(1) Zur Alltagsrelevanz des **Bernoulli-Effekts**

 (2) Kleiner **musikalischer Nachtrag** zu nichtsprachlichen Funktionen des Kehlkopfs