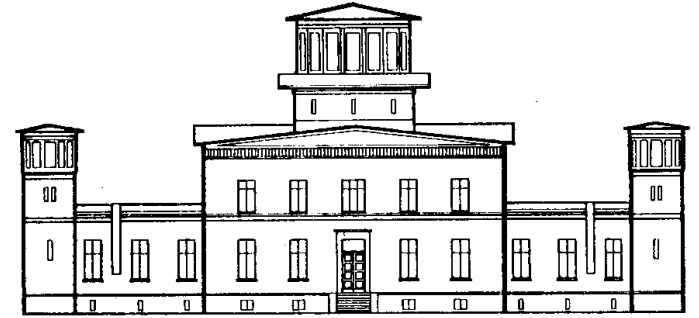


06.05.2003



Artikulatorische und akustische Phonetik

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hess

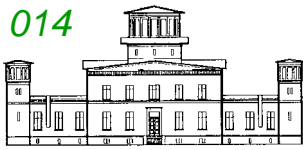
Institut für Kommunikationsforschung und Phonetik (IKP)

Universität Bonn

Poppelsdorfer Allee 47, 53115 Bonn

wgh@ikp.uni-bonn.de

<http://www.ikp.uni-bonn.de>



1. Phonation

2. Akustische Theorie der Vokalartikulation

3. Dynamische Aspekte:
Vokal-Konsonant-Übergänge, Koartikulation

4. Artikulation im Kontext: Reduktion, schwache Formen



Allgemein zur artikulatorischen und akustischen Phonetik

Ladefoged, Peter (²1993, ⁴2001): *A course in phonetics* (Harcourt Brace Jovanovich, San Diego)

O'Shaughnessy, Douglas (1987, ²2000): *Speech Communication. Human and machine* (IEEE Press, New York, USA)

Pompino-Marschall, Bernd (1995): *Einführung in die Phonetik* (de Gruyter Studienbuch, Berlin)

Speziell zu Kapitel 1

Baer, Thomas / Sasaki, C. / Harris, Katherine S (eds.) (1987): *Laryngeal function in phonation and respiration* (College-Hill; Little, Brown & Co., Boston)

Berg, Jan van den / Zantema, T / Doornenbal, P. (1957): "On the air resistance and the Bernoulli effect of the human larynx." *J. Acoust. Soc. Am.* 29, 626-631

Berg, Jan van den (1958): "Myoelastic-aerodynamic theory of voice production." *J. Speech Hear. Res.* 1, 227-244

Fourcin, Adrian J. / Abberton, Evelyn (1971): "First applications of a new laryngograph." *Med. biol. Illustr.* 21, 172-182;
<http://www.laryngograph.com>

Flanagan, James L. (1972): *Speech analysis, synthesis, and perception* (Springer, Berlin)

Hess, Wolfgang (1983): *Pitch determination of speech signals: algorithms and devices* (Springer, Berlin), Kap. 3 und 5

Hirano, M. (1976): "Structure and vibratory behavior of the vocal folds." In *Dynamic aspects of speech production*; ed. by M. Sawashima and F.S. Cooper (Univ. of Tokyo Press), 13-27

Luchsinger, R. / Arnold, G.E. (Hrsg.) (1970): *Handbuch der Stimm- und Sprachheilkunde* (Springer, Wien)

Seikel, J. Anthony / King, Douglas W. / Drumright, David G. (1987): *Anatomy and physiology for speech, language, and hearing* (Singular Publishing Group, San Diego)

Sonesson, Bertil (1968): "The functional anatomy of the speech organs." In *Manual of Phonetics*, ed. by B. Malmberg (North-Holland Publ. Comp., Amsterdam), 45-75

Stevens, Kenneth N. (1975): "Modes of conversion of airflow to sound, and their utilization in speech." Paper presented at the Eighth International Congress of Phonetic Sciences, Leeds, England, 1975

Stevens, Kenneth N. (1977): "Physics of laryngeal behavior and laryngeal modes." *Phonetica* 34, 264-279



Artikulatorische und akustische Phonetik

1. Phonation

1.1 Der Mechanismus der Phonation

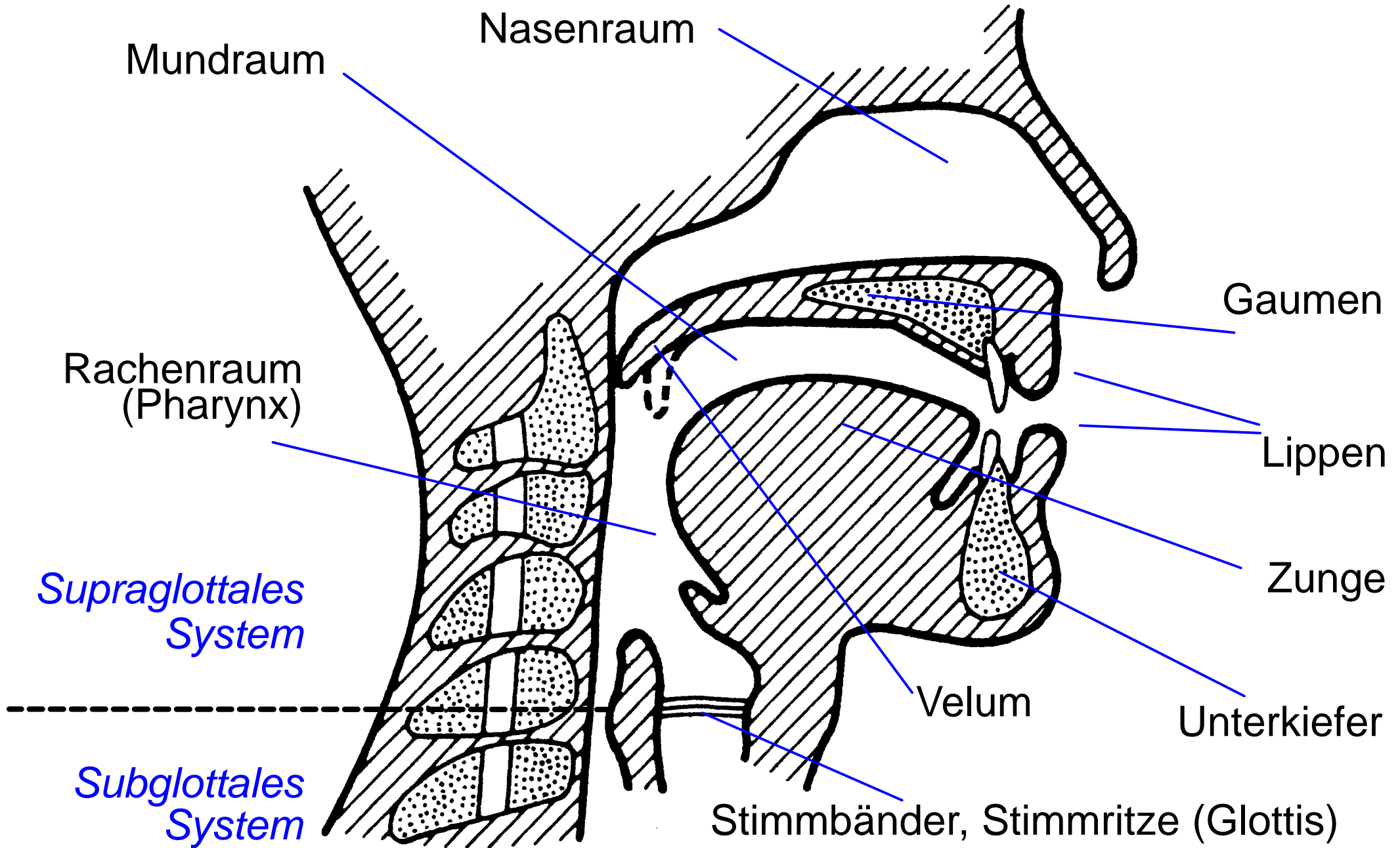
1.2 Stimmregister

1.3 Ausgewählte instrumentelle Messmethoden



Die menschlichen Sprechorgane

(vgl. Grundlagen der Phonetik)





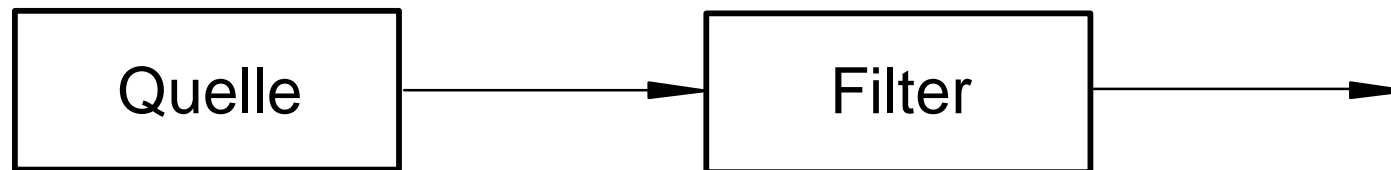
Quelle-Filter-Modell

(vgl. Grundlagen der Phonetik)

Im Prinzip erfolgt die Bildung des Sprachsignals in zwei Schritten:

- 1) Anregung ("Quelle")
- 2) Signalformung ("Filter")

Diese beiden Komponenten können mit guter Näherung als unabhängig voneinander betrachtet werden.





Arten der Anregung

(vgl. Grundlagen der Phonetik)

Drei Arten der Anregung:

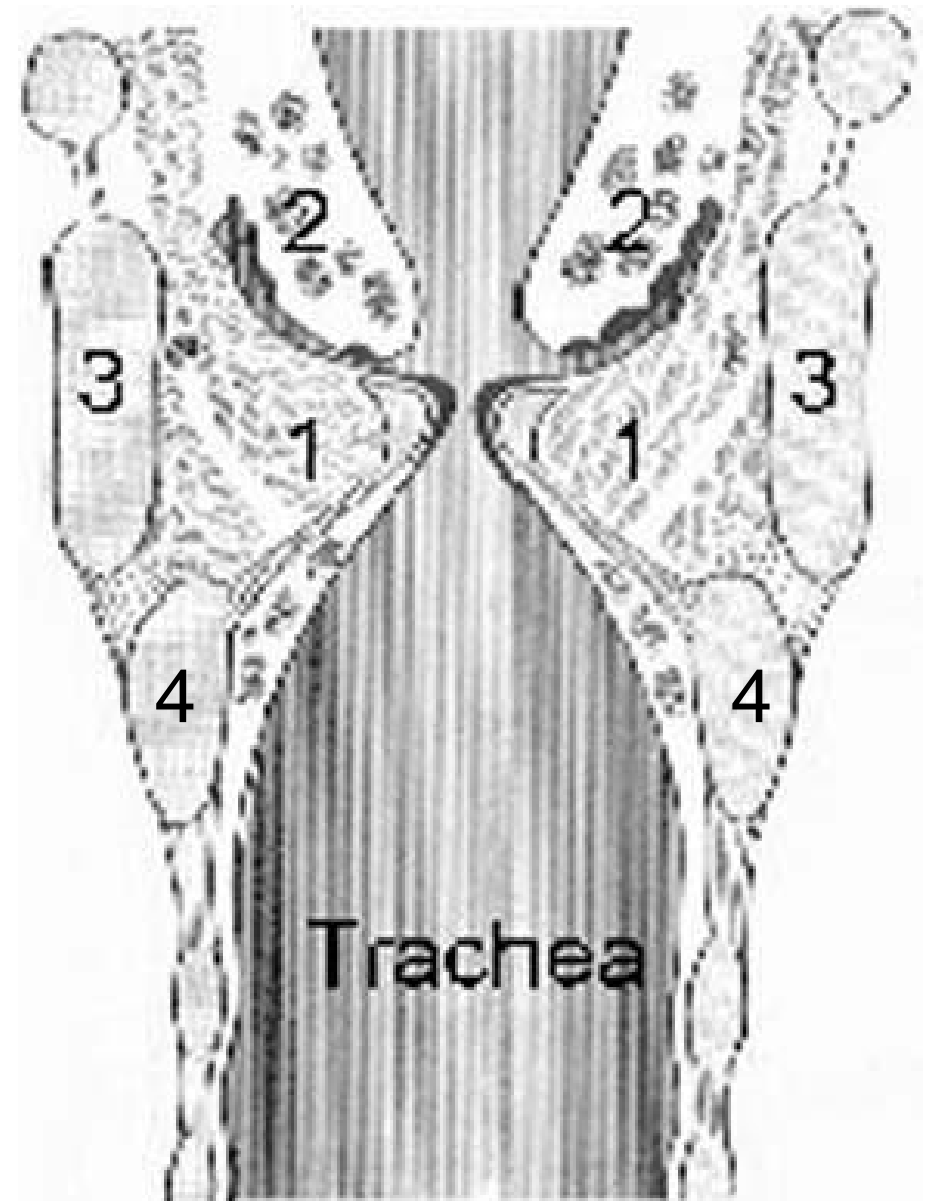
- 1) **stimmhafte Anregung** (*Phonation*): quasiperiodische Schwingung der Stimmbänder
- 2) **stimmlose Anregung**: Dauergeräusch an einer Engstelle im Vokaltrakt
- 3) **transiente Anregung**: sehr kurzes Geräusch beim Lösen eines Verschlusses sowie die zeitlich unmittelbar angrenzenden Signalabschnitte

Mit *Phonation* wird ausschließlich die *stimmhafte* Anregung bezeichnet, obwohl der Begriff in der Literatur gelegentlich weiter ausgelegt wird und dann alle Arten der Anregung umfasst.



Frontalschnitt durch Kehlkopf und Luftröhre

- (1) Stimmlippen
- (2) Taschenfalten
- (3) Schildknorpel (Thyroid) –
zeichnet sich bei Männern durch
den “Adamsapfel” ab
- (4) Ringknorpel (Cricoid)



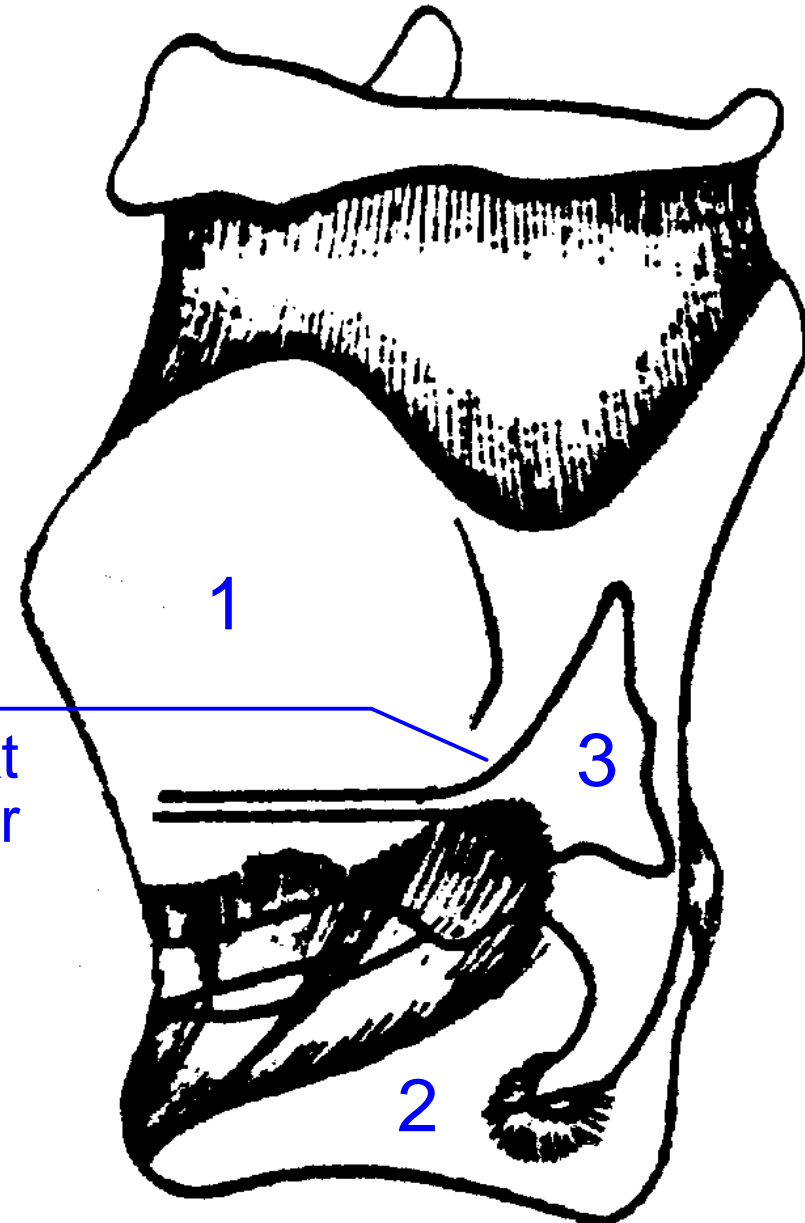
(HNO-Klinik, Univ. Erlangen
http://www.rrze.uni-erlangen.de/docs/FAU/fakultaet/med/kli/kphno/phon/Forschung/pp_glott.htm)



Kehlkopf Seitenansicht

- (1) Schildknorpel (Thyroid)
- (2) Ringknorpel (Cricoid)
- (3) Stellknorpel (Arytenoid)

Befestigungspunkt
der Stimmbänder



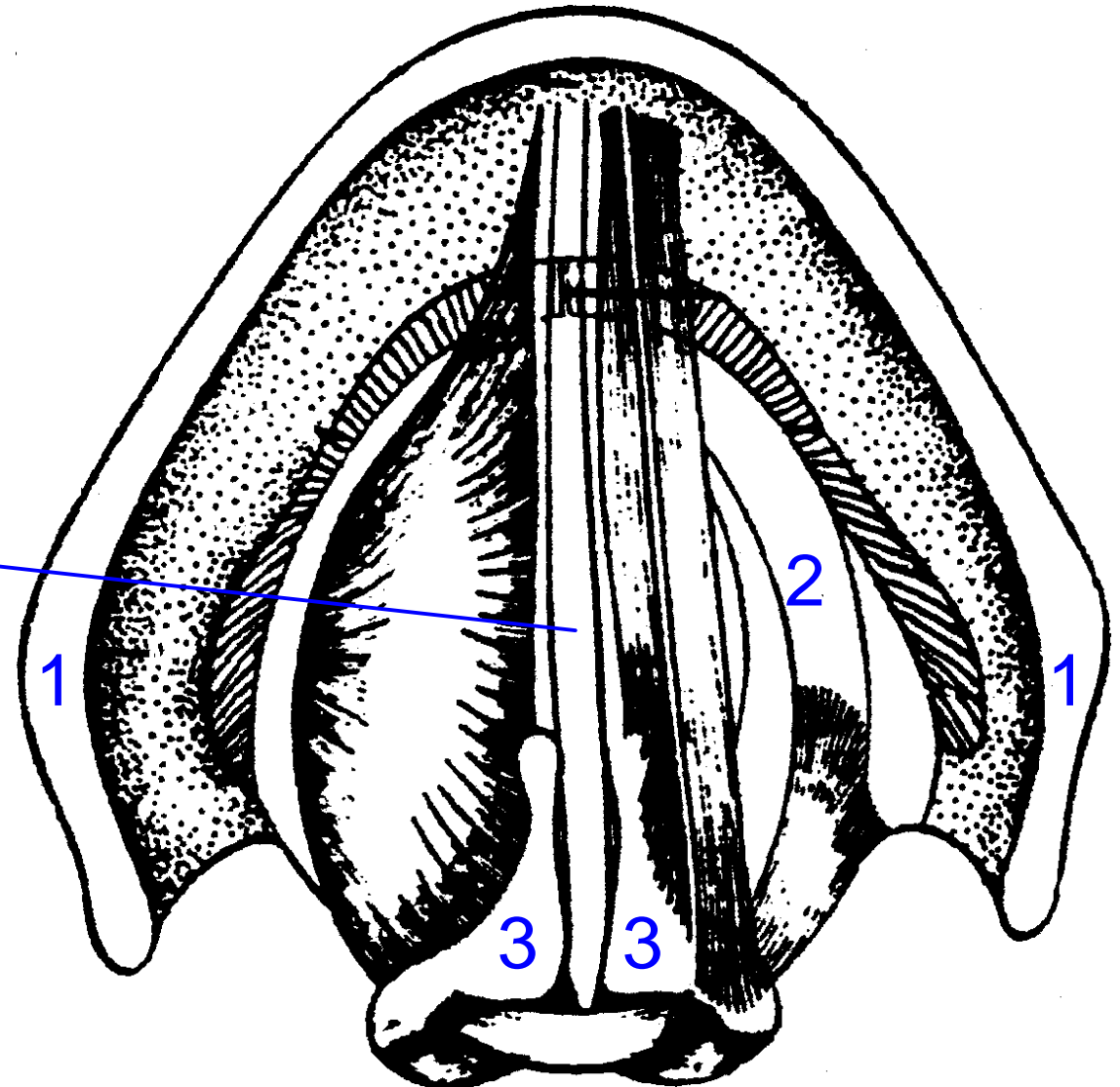
(Fant/Scully, 1977:250)



Ansicht schräg von oben auf die Stimmbänder

- (1) Schildknorpel (Thyroid)
- (2) Ringknorpel (Cricoid)
- (3) Stellknorpel (Arytenoid)
[Ary-Knorpel]

Glottis
(rima glottidis)



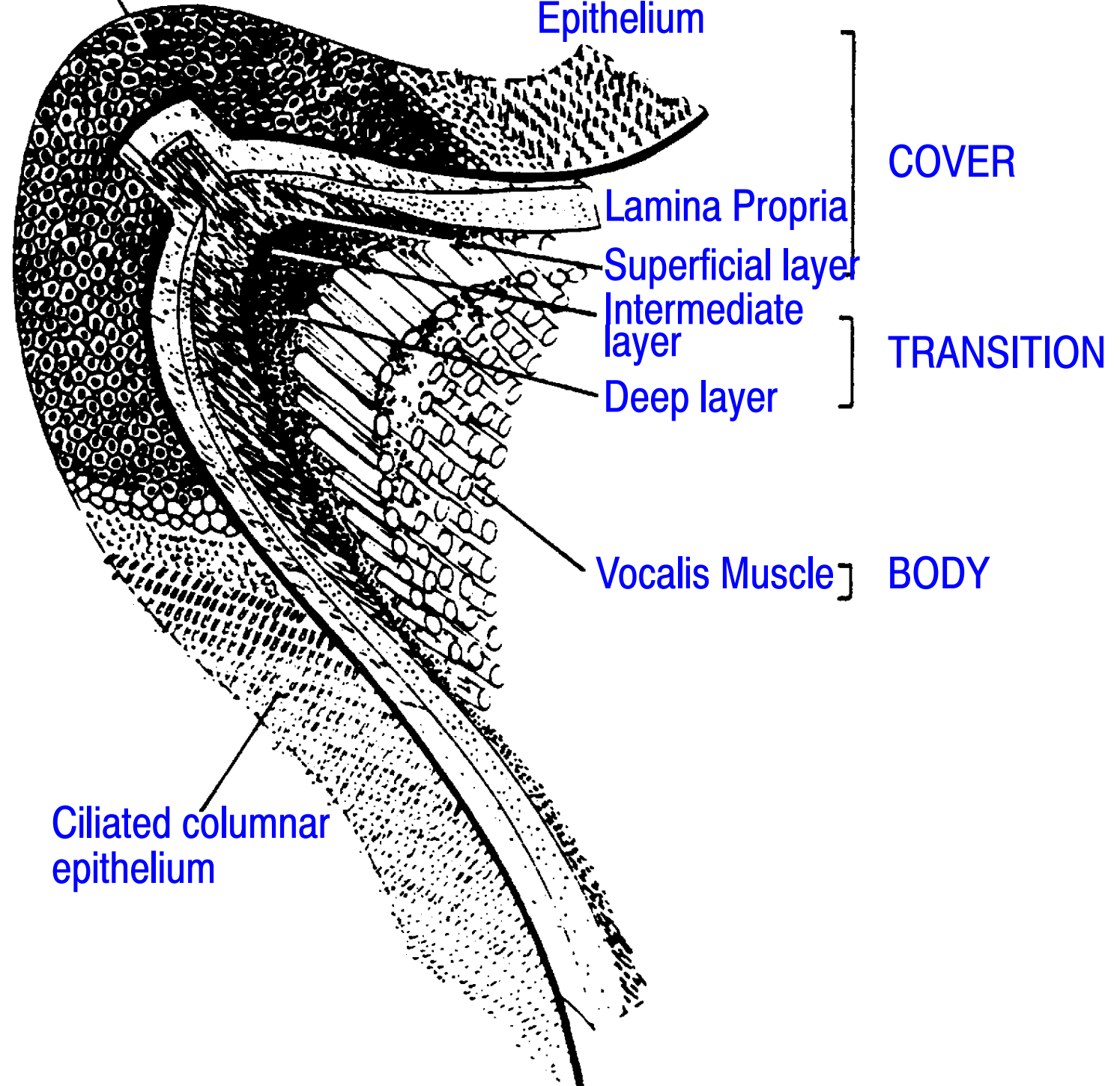


Stratified squamous epithelium

Mucosa
Epithelium

Aufbau eines Stimmbandes

(Hirano, 1976:20)

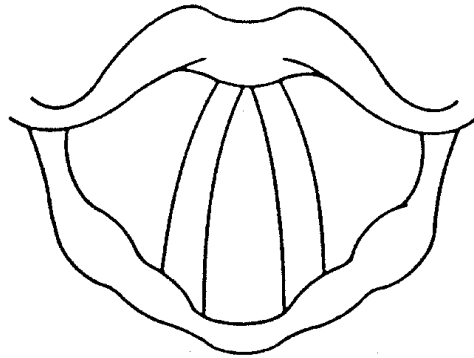




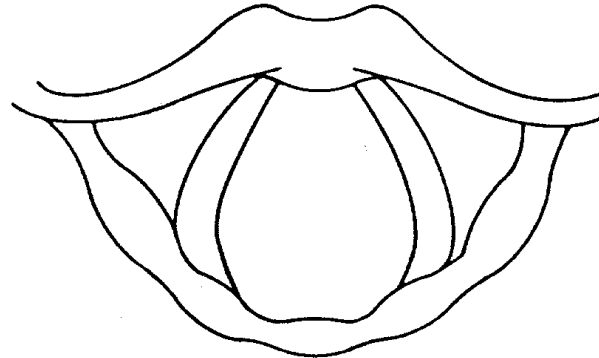
Stellung der Stimmbänder bei verschiedenen Funktionen

Sicht jeweils von oben

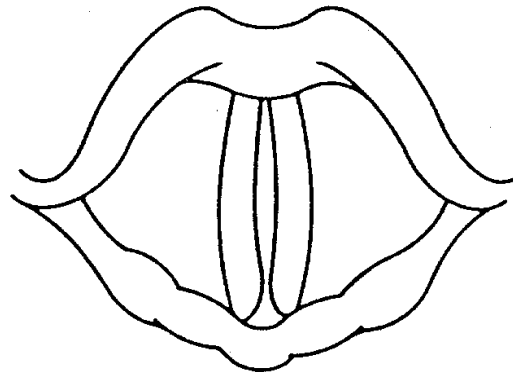
normale Atmung



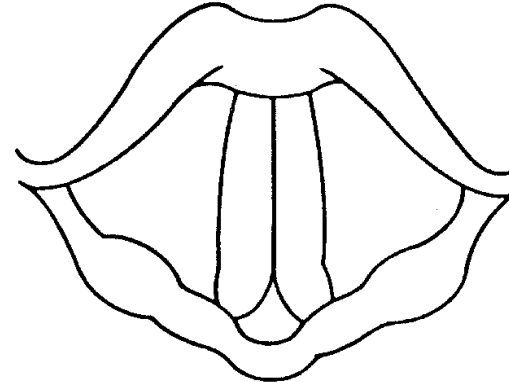
tiefes Einatmen



Phonation
(Phonationsbereitschaft)



Flüstern



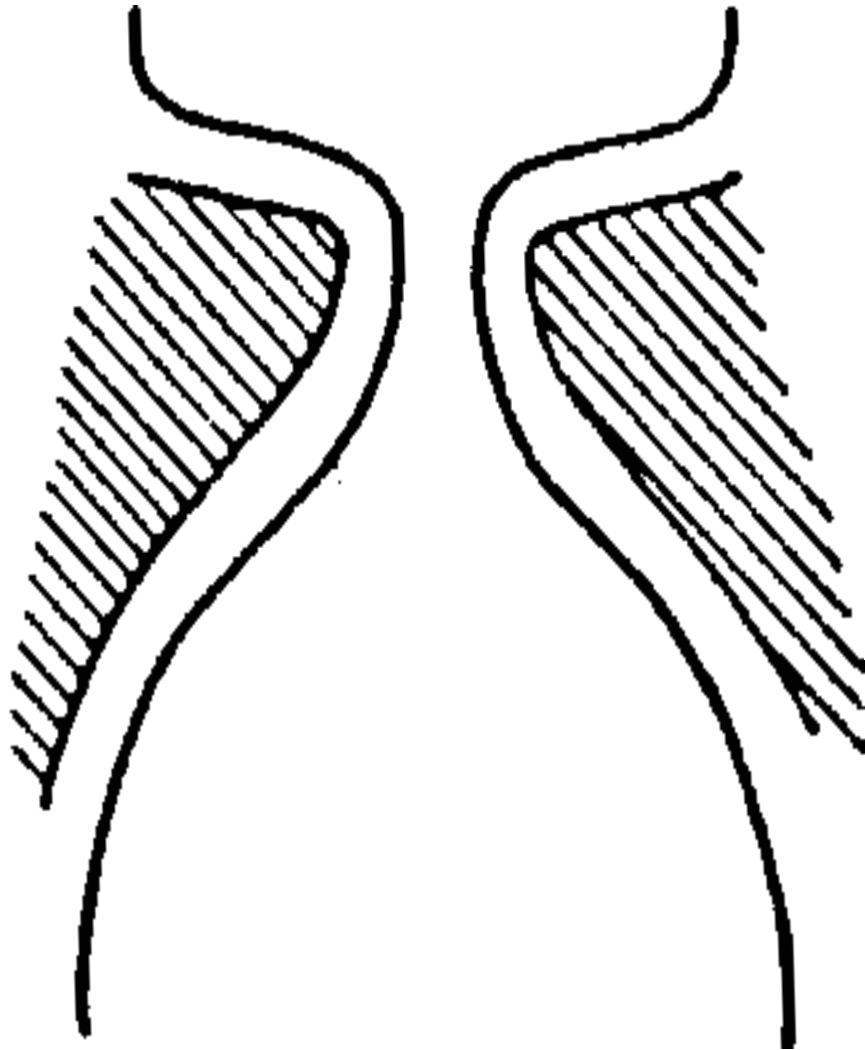
(Sonesson, 1968; hier nach O'Shaughnessy, 1987, S. 49)

(vgl. Grundlagen der Phonetik)

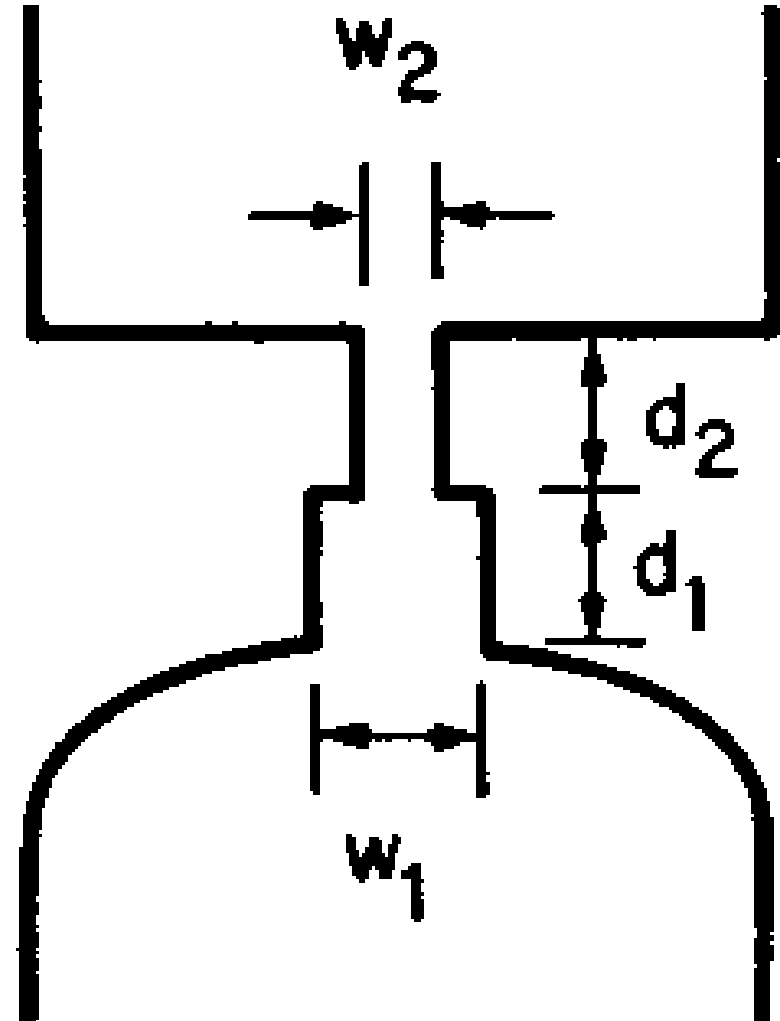


Vereinfachte Kehlkopfmodelle

(Stevens, 1977:250)



Querschnittsverlauf
(nach Hirano, 1976)



Vereinfachtes Modell
(Ishizaka/Flanagan, 1972)



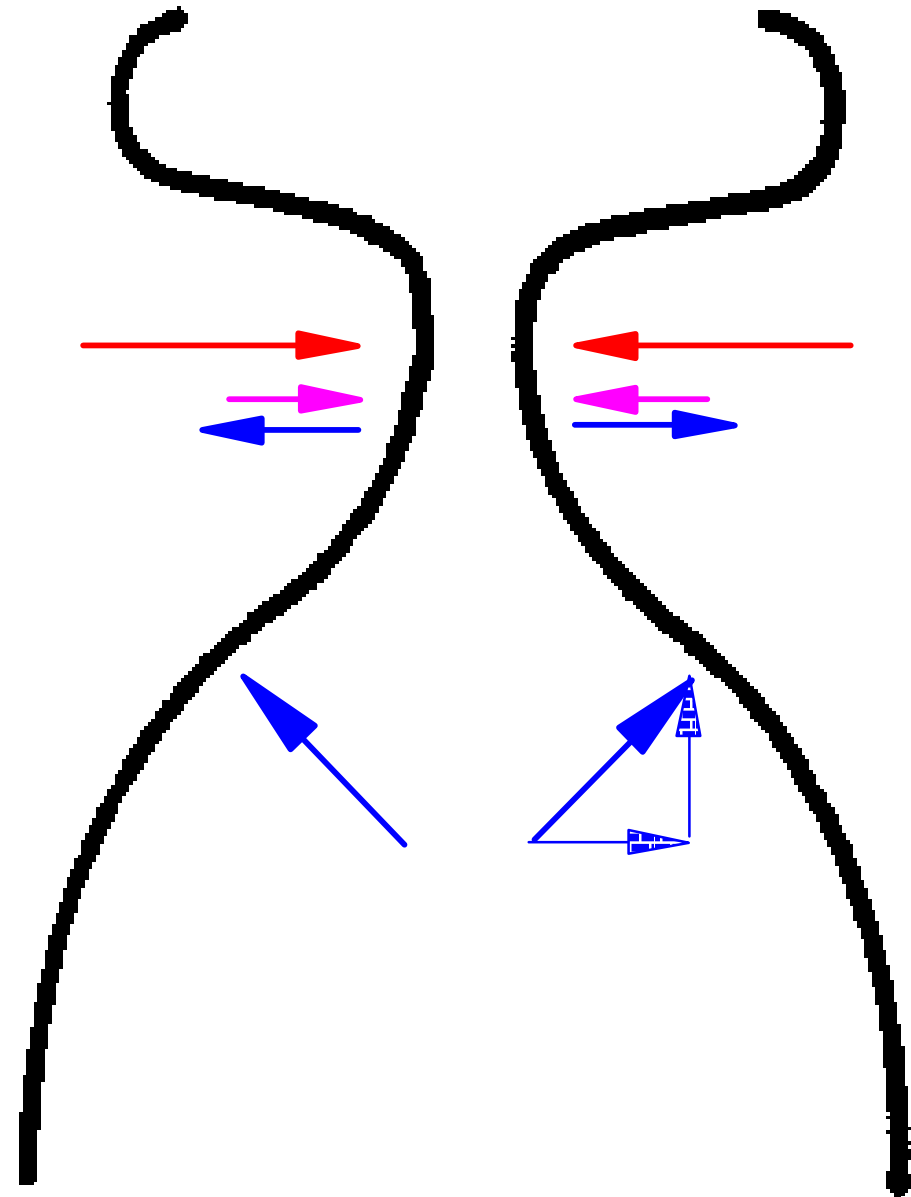
Das Kräftespiel an der Glottis

(van den Berg, 1958)

Kraft durch subglottalen Druck

Rückstellkraft
(durch Muskelspannung)

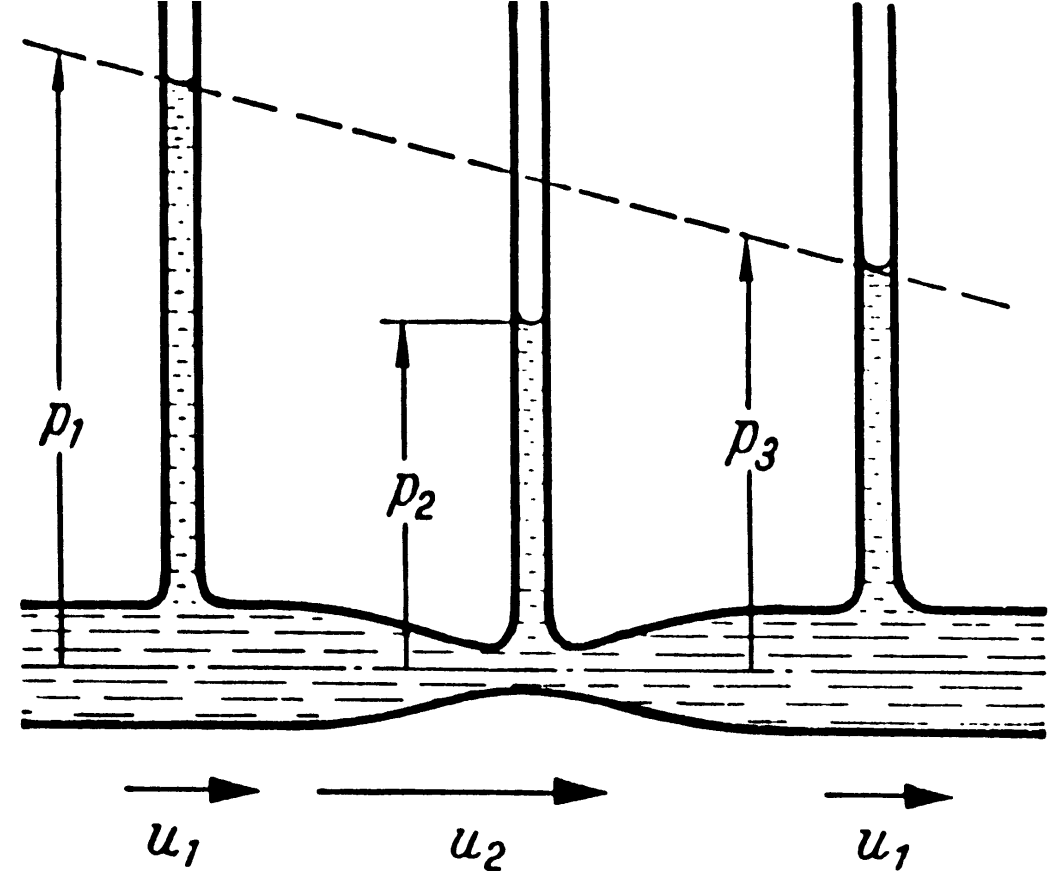
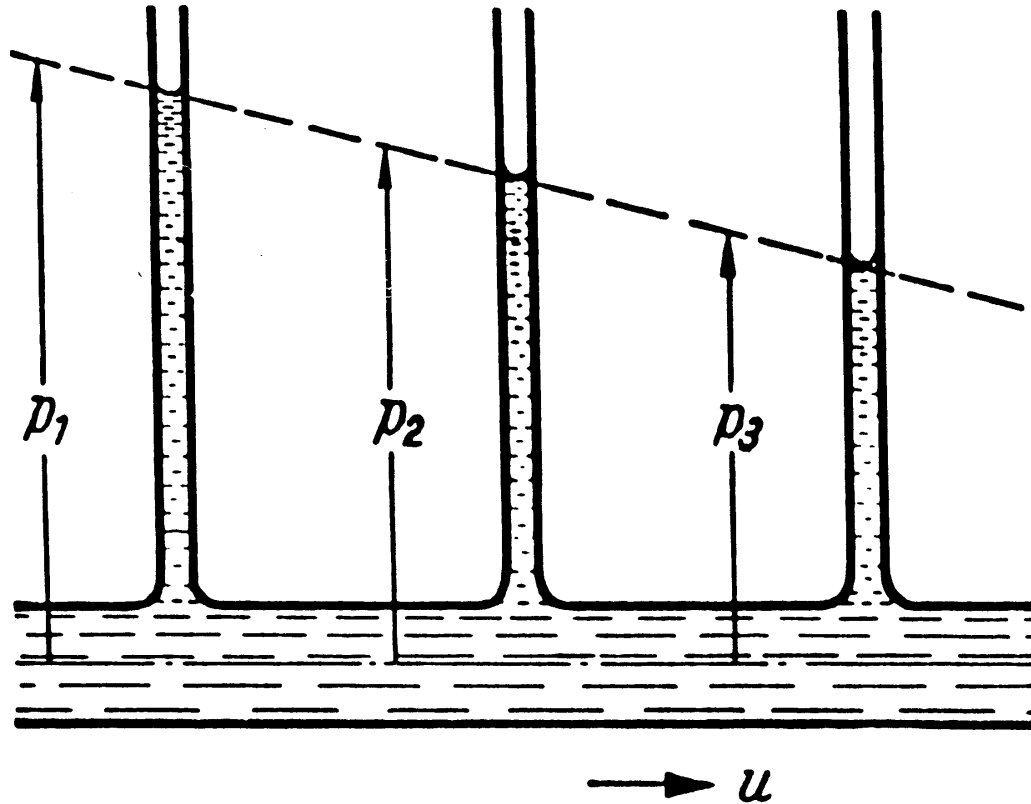
Bernoulli-Kraft
(Unterdruck durch Luftströmung)





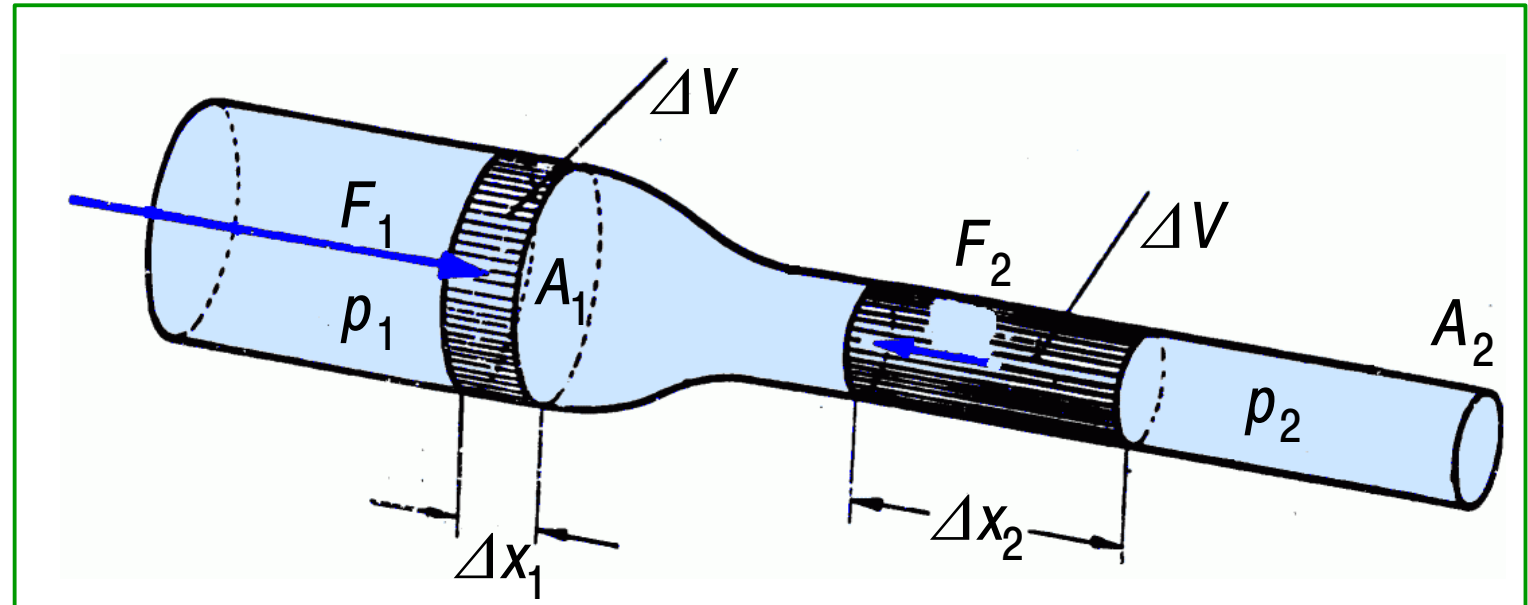
Zur Wirkung des Bernoulli-Effekts

(vgl. Grundlagen der Phonetik)





Zur Herleitung des Bernoulli-Effekts



Kontinuitätsgleichung:

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad \text{oder} \quad A_1 v_1 = A_2 v_2$$

daher $v_1 \neq v_2$ wenn $A_1 \neq A_2$

Geleistete Arbeit auf Wegstrecke Δx

$$\Delta E = F \cdot \Delta x = p \cdot A \cdot \Delta x$$

Kinetische Energie

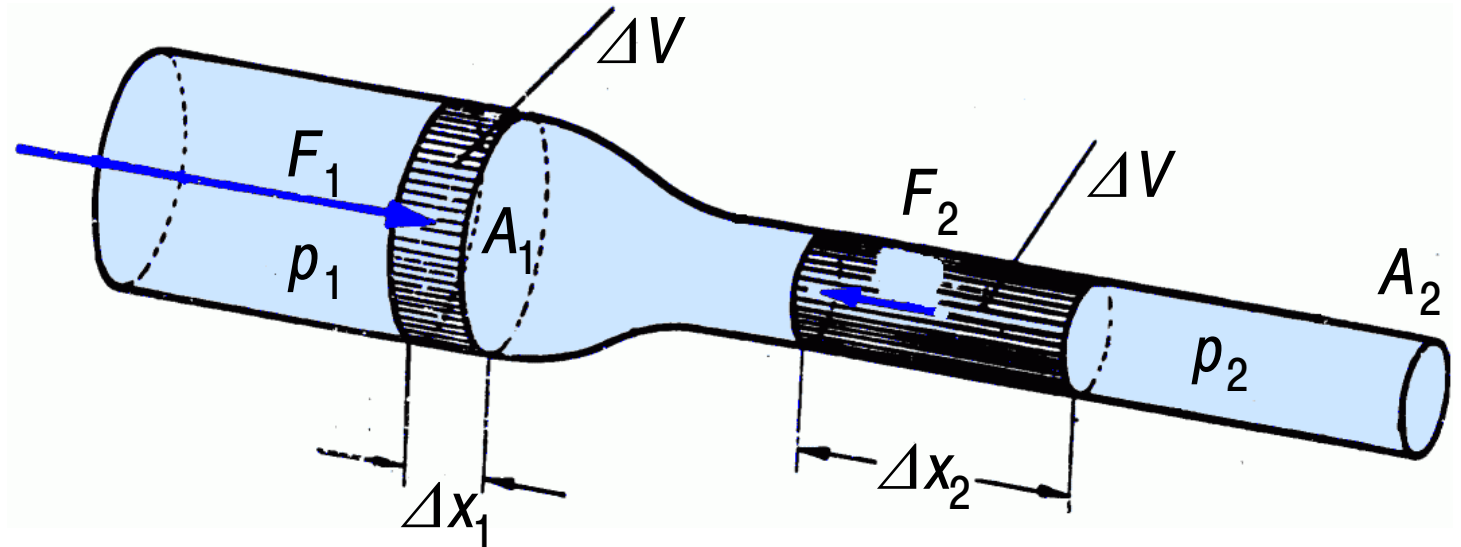
$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \rho V \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho A \cdot \Delta x \cdot v^2$$

Zur Herleitung des Bernoulli-Effekts

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\Delta E = p \cdot A \cdot \Delta x$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \rho A \cdot \Delta x \cdot v^2$$



Energieerhaltungssatz

$$E_{\text{kin},1} + \Delta E_1 = E_{\text{kin},2} + \Delta E_2$$

$$\frac{1}{2} \rho A_1 \Delta x_1 v_1^2 + p_1 A_1 \Delta x_1 = \frac{1}{2} \rho A_2 \Delta x_2 v_2^2 + p_2 A_2 \Delta x_2$$

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 \cdot \Delta V + p_1 \cdot \Delta V = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \cdot \Delta V + p_2 \cdot \Delta V$$

BERNOULLI'sche Beziehung

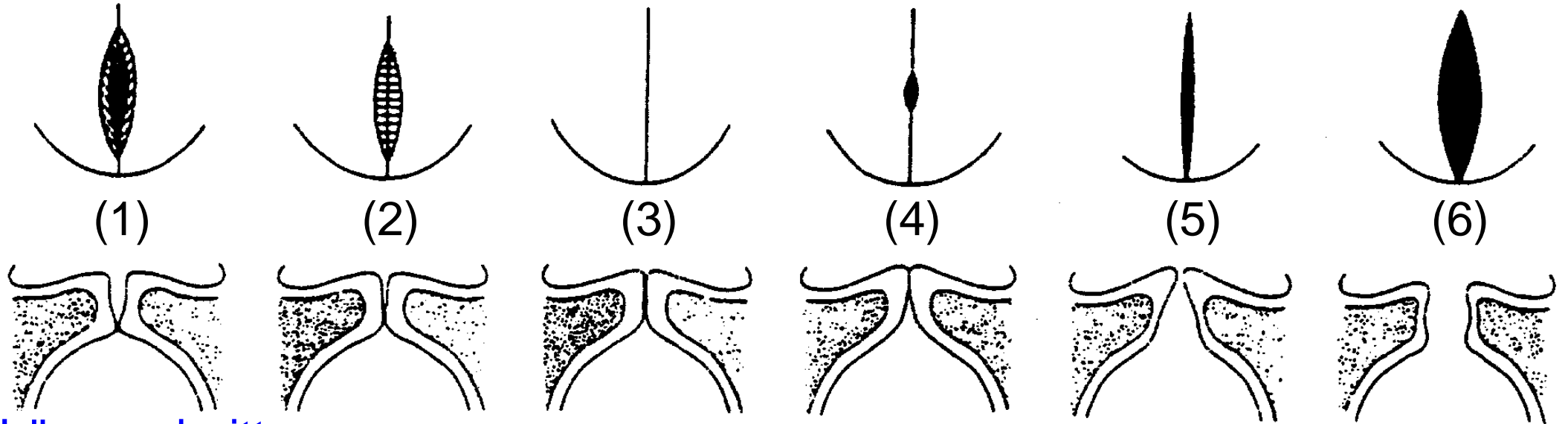
$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2$$



Bewegung der Stimmbänder (Bruststimme) Schematische Ansicht

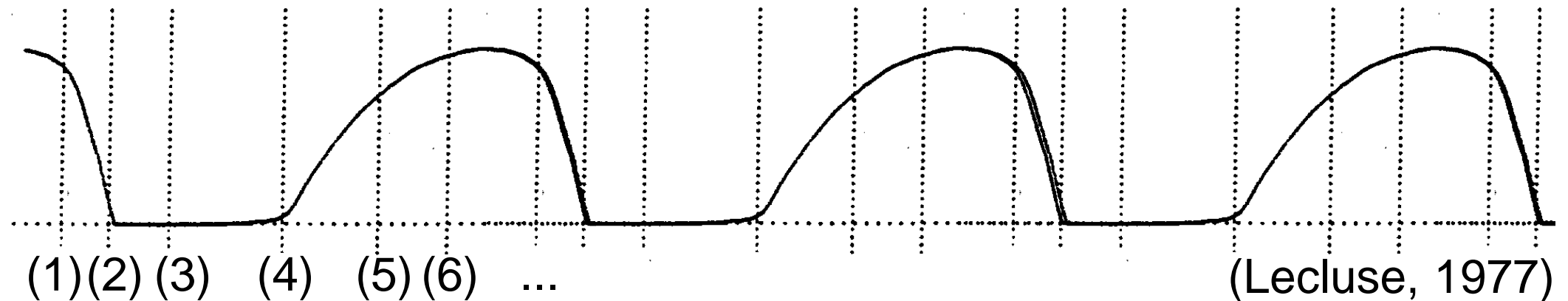
(vgl. Grundlagen der Phonetik)

Ansicht von oben (Vorderseite unten)



Längsschnitt

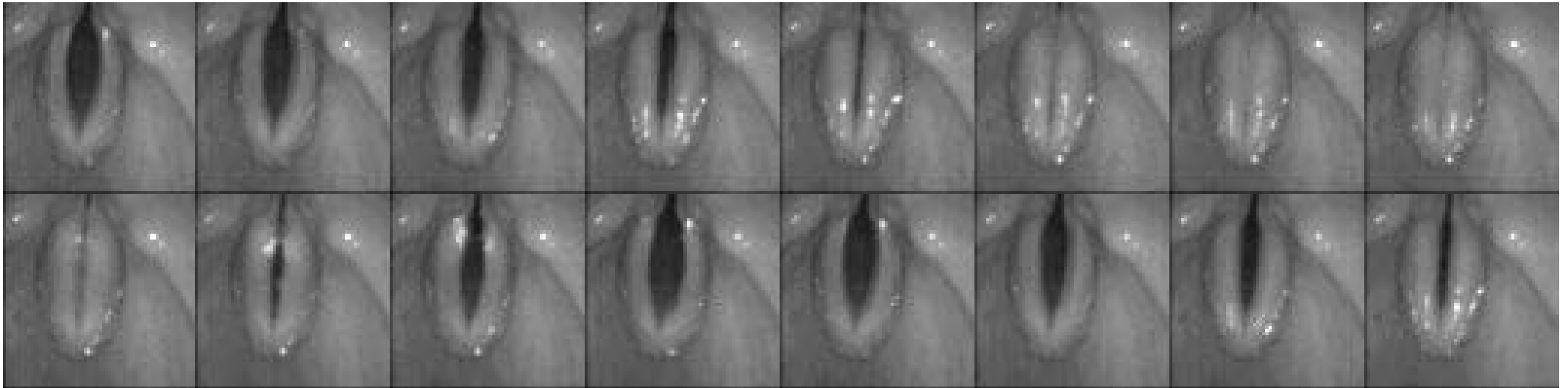
Phonationssignal (Querschnittsfunktion bzw. Luftstrom)



(Lecluse, 1977)



Ansicht der schwingenden Stimmbänder



Gesunde männliche Stimme (Alter des Sprechers: 32 Jahre)
Hochgeschwindigkeitskamera; Bildabtastrate 2 kHz

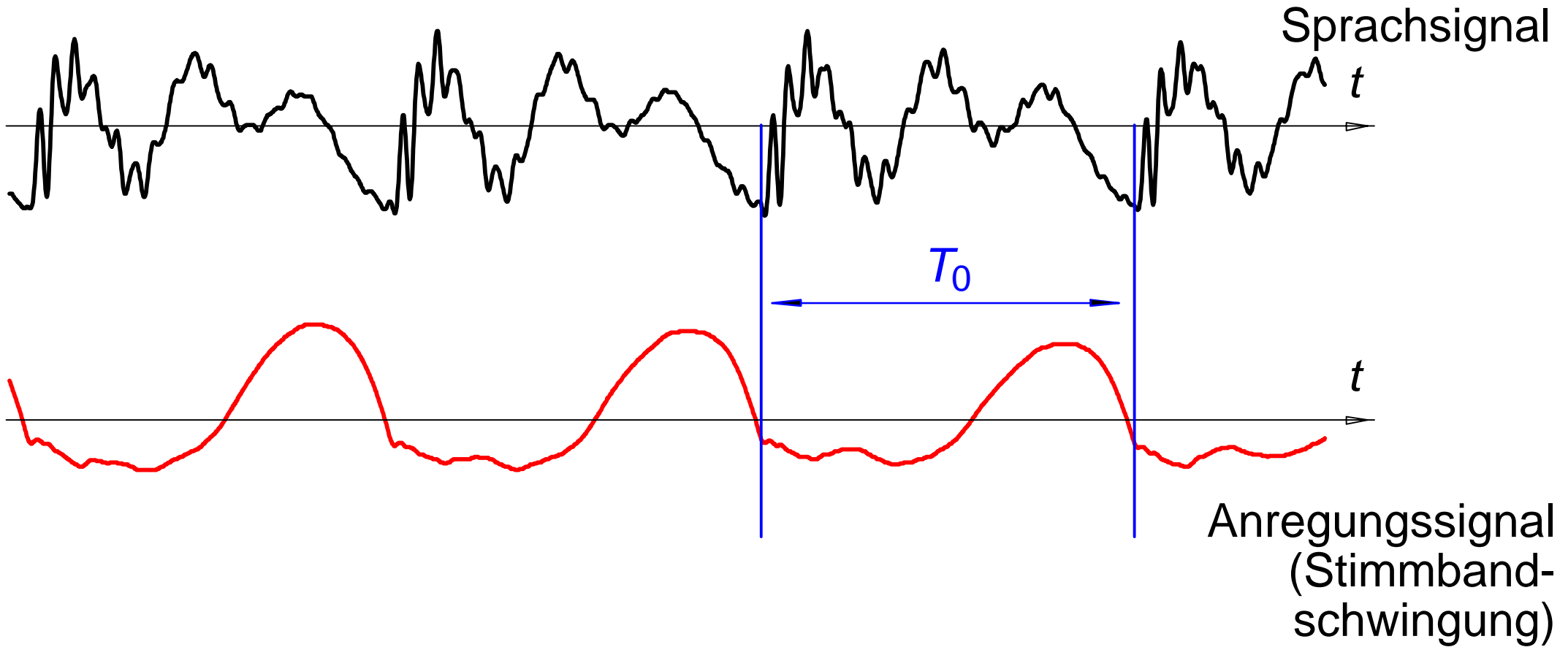
[HNO-Klinik, Univ. Erlangen

http://www.rrze.uni-erlangen.de/docs/FAU/fakultaet/med/kli/kphno/phon/Forschung/pp_glott.htm]



Phonation und Sprachsignal

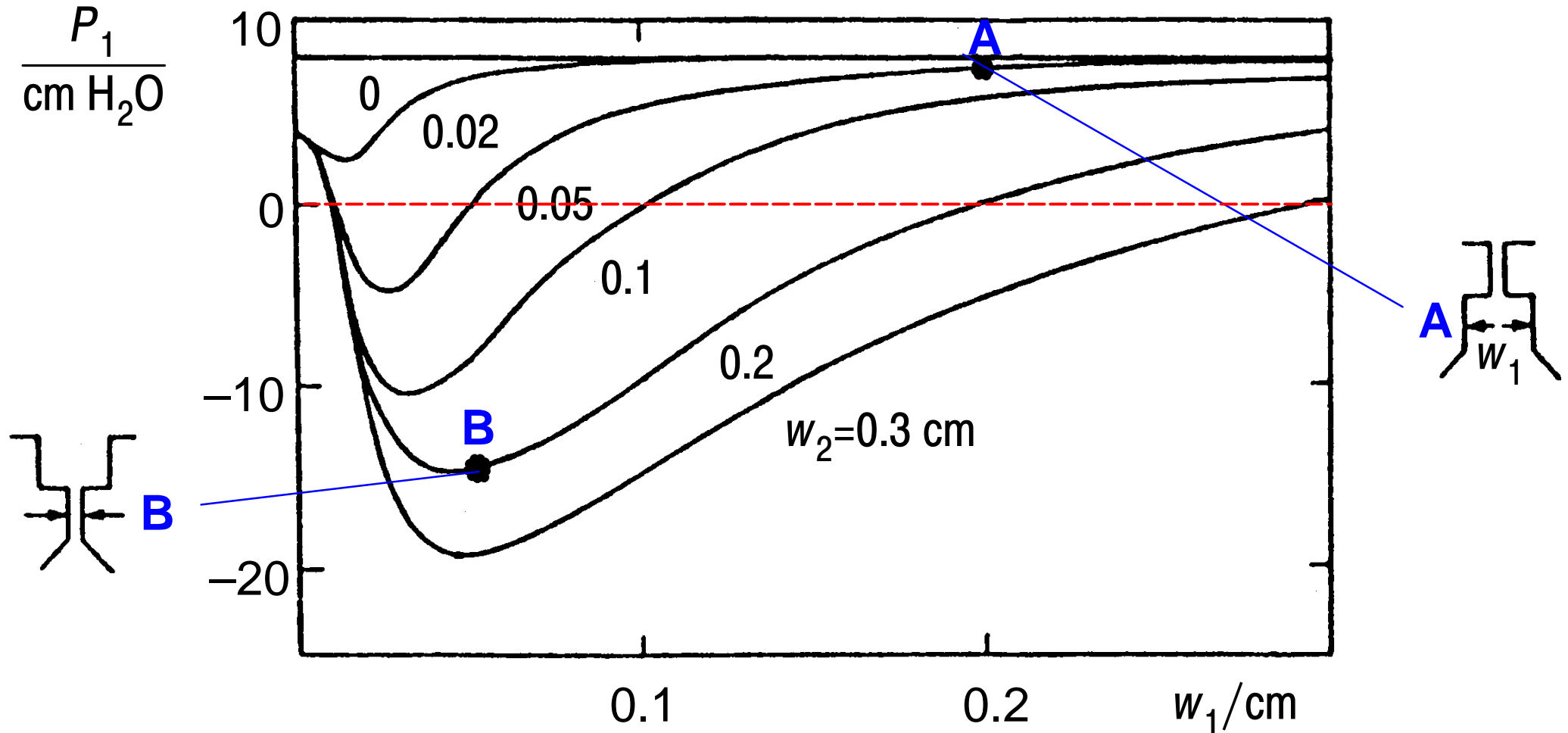
(vgl. Grundlagen der Phonetik)





Druckverhältnisse an der Glottis

(Modell von Ishizaka und Flanagan [Stevens, 1977:250])

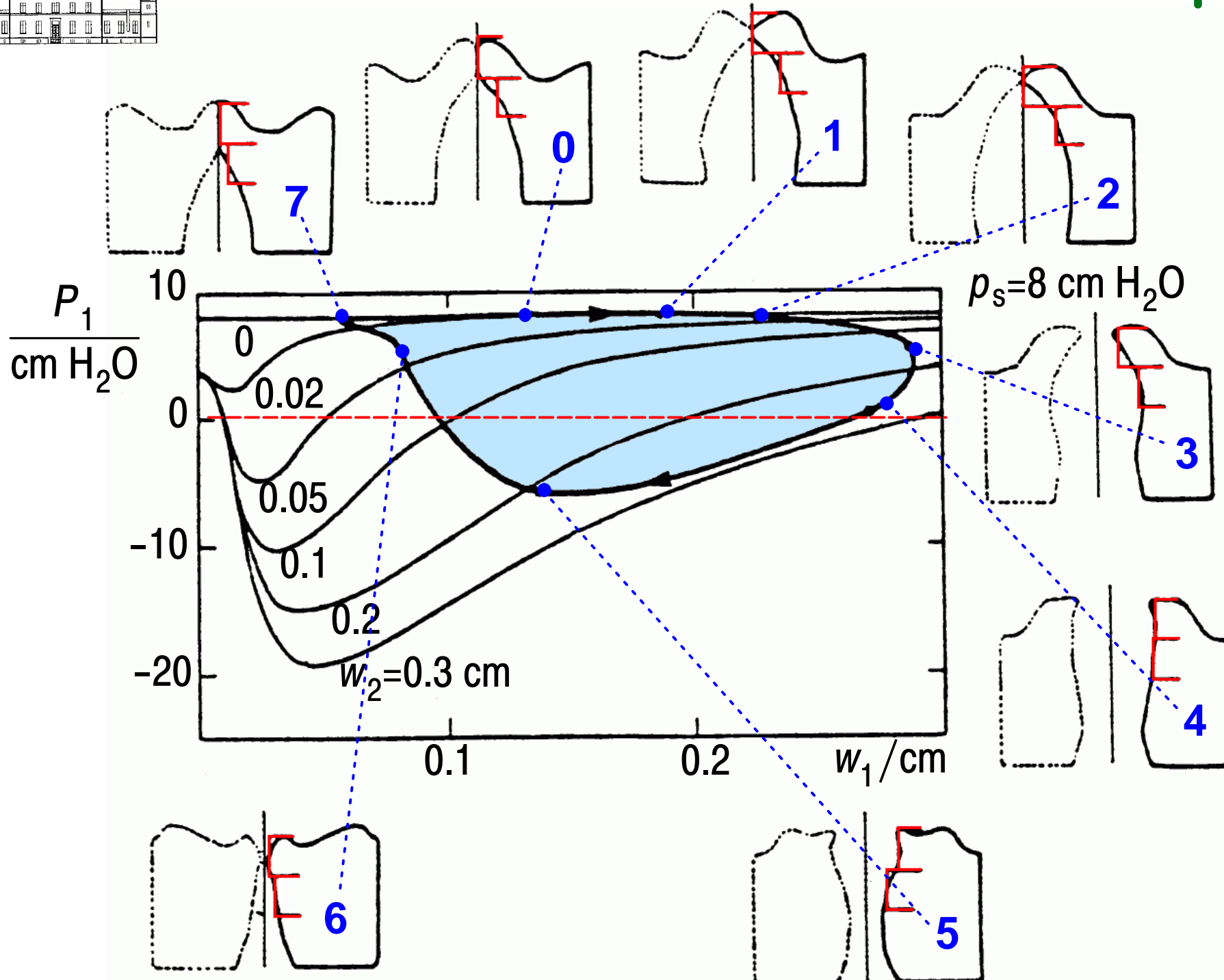


Resultierender Druck in der unteren Sektion abhängig von den Querschnitten in den beiden Sektionen.

Gezeichnet für einen subglottalen Luftdruck von $p_s = 8 \text{ cm Wassersäule}$.



Ablauf einer Grundperiode





Artikulatorische und akustische Phonetik

1. Phonation

1.1 Der Mechanismus der Phonation

1.2 **Stimmregister**

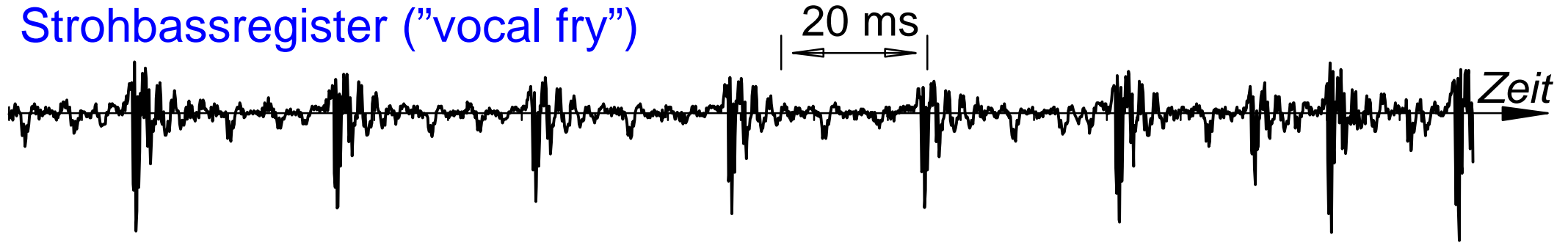
1.3 Ausgewählte instrumentelle Messmethoden



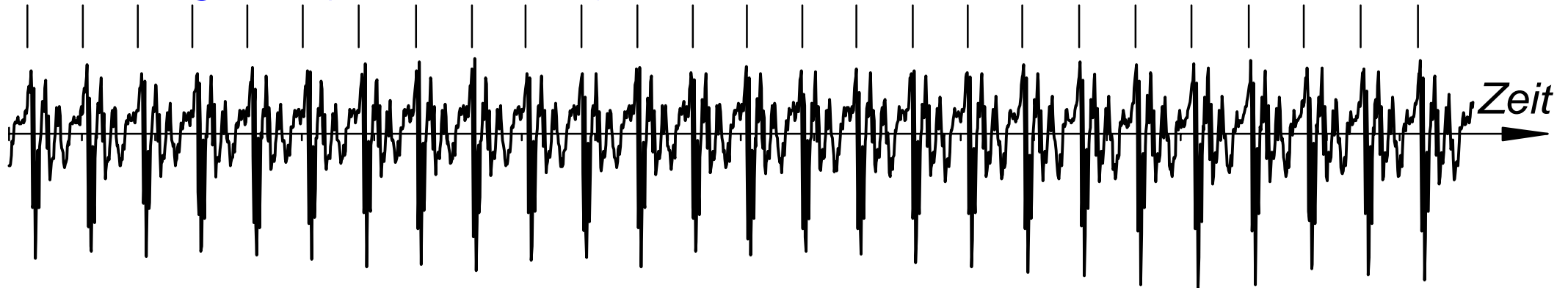
Sprachanregung mit verschiedenen Registern

Beispiel: Vokal [ε], Sprecher wgh (männlich)

Strohbasregister ("vocal fry")



Modalregister (Bruststimme)



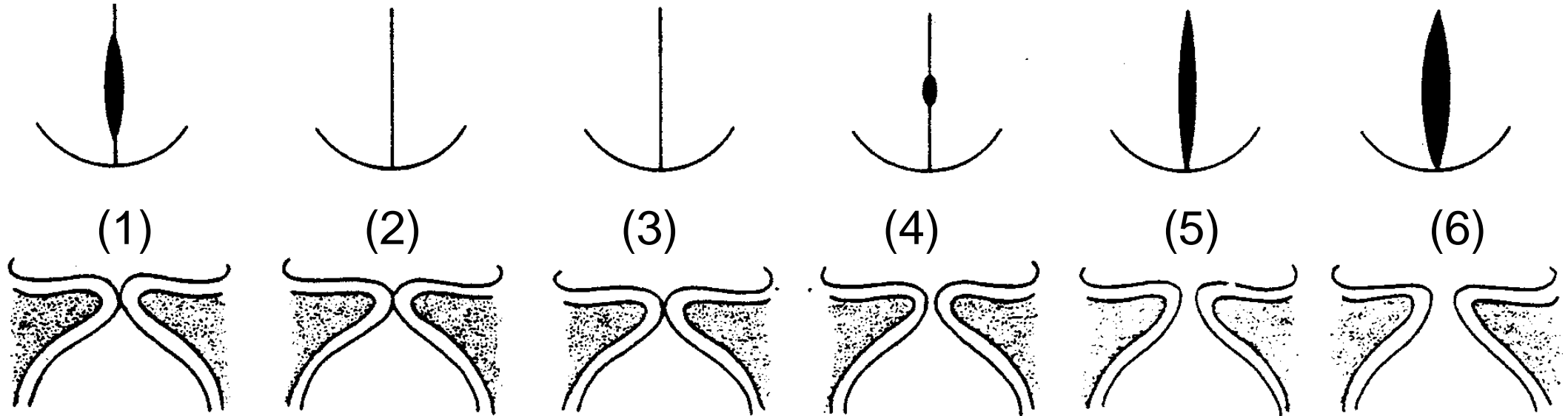
Falsett (Kopfstimme)





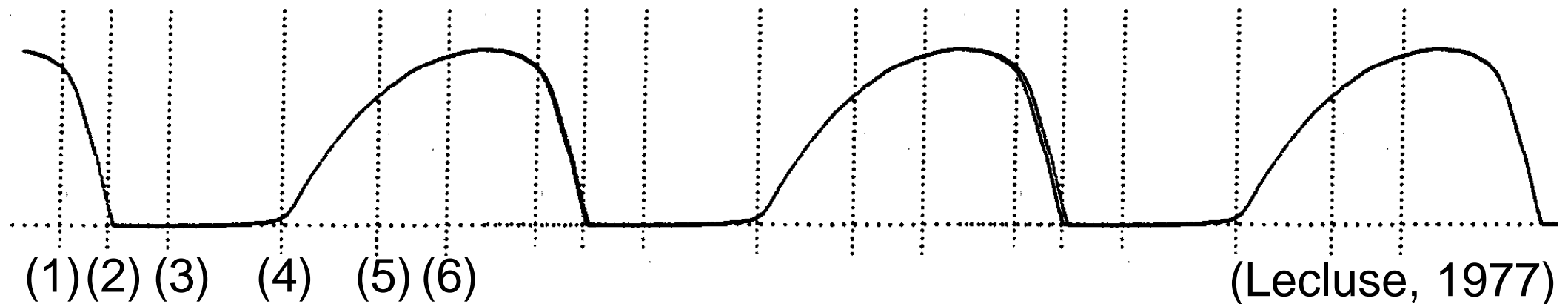
Bewegung der Stimmbänder (Falsettstimme) Schematische Ansicht

Ansicht von oben (Vorderseite unten)



Längsschnitt

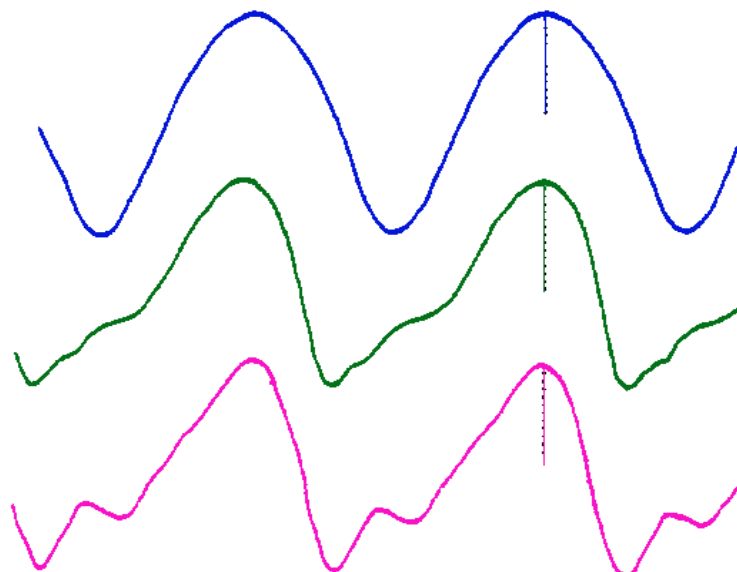
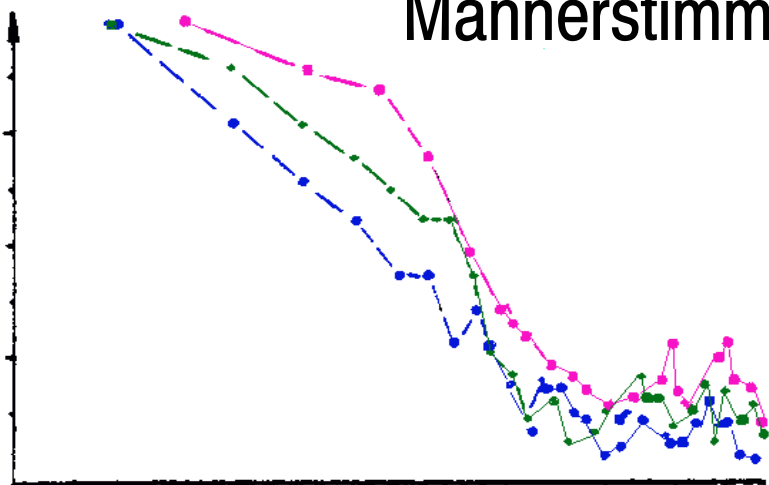
Phonationssignal (Querschnittsfunktion bzw. Luftstrom)





Spektren von Stimmbandschwingungen

Männerstimme

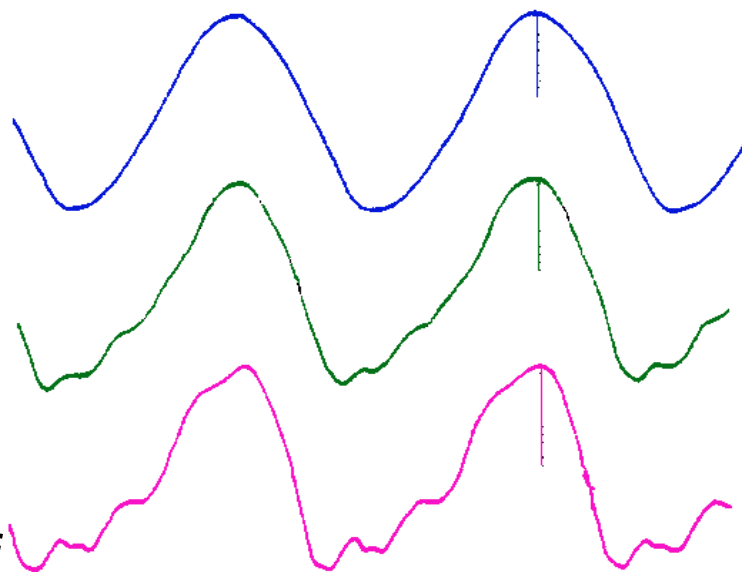
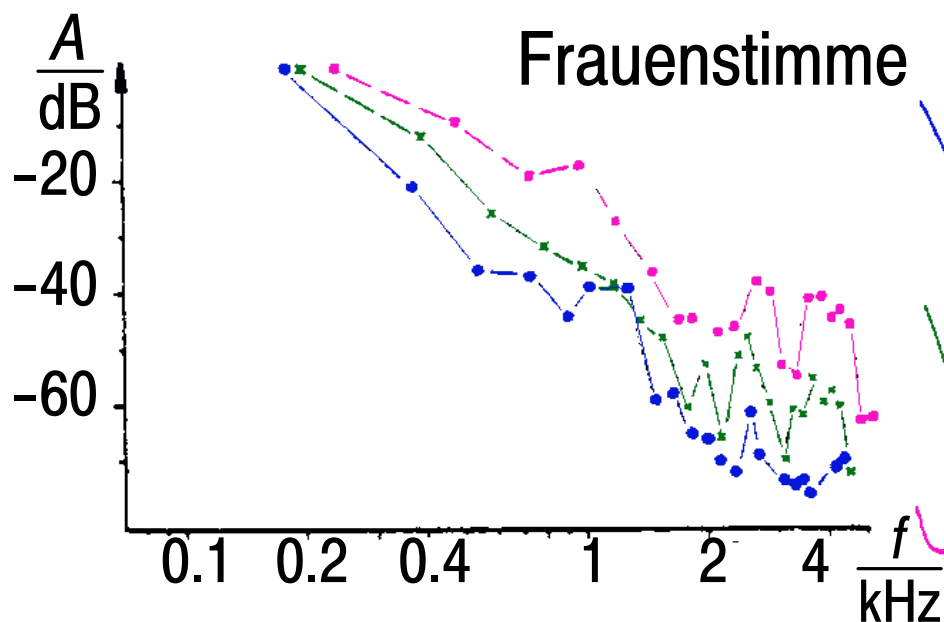


leise - 121 Hz

normal - 123 Hz

laut - 189 Hz

Frauenstimme



leise - 178 Hz

normal - 192 Hz

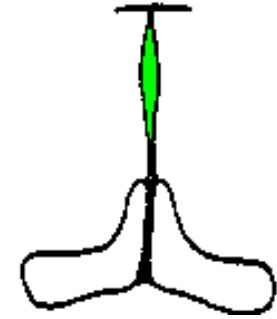
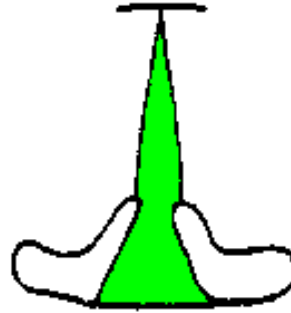
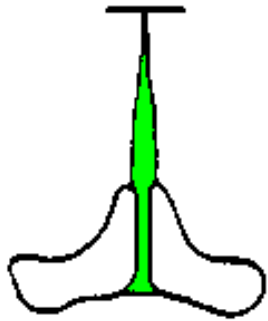
laut - 235 Hz

(Monsen / Engebretsen, 1977)



Verschiedene Anregungsmodi im gleichen Register

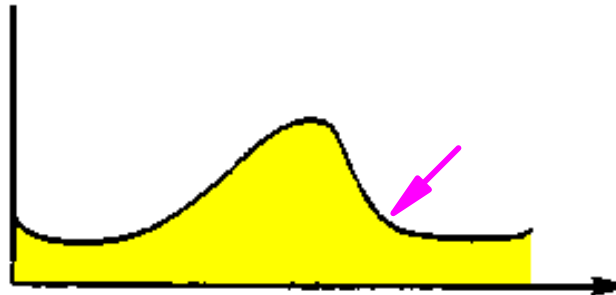
(STEVENS, 1977:250)



Volume
Velocity



normal

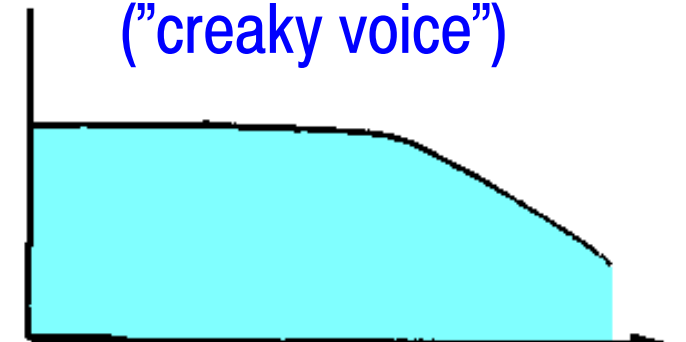
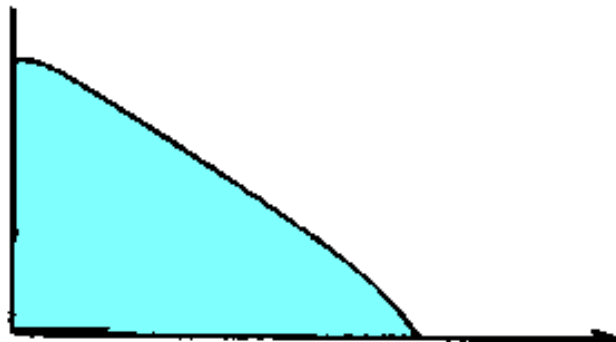
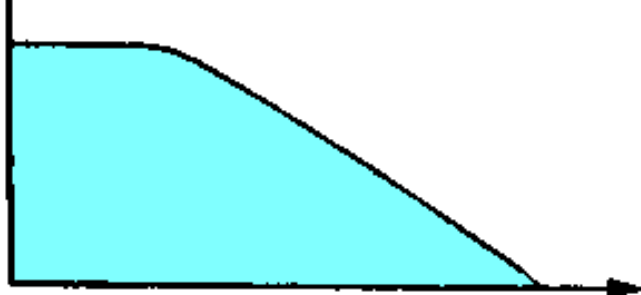


behaucht



Strohbas
("creaky voice")

dB



Frequency (log scale)



Stimmumfang

(Hess, 1983 [Lit. siehe dort])

Sprache

FAIRBANKS (1940)	65 – 450 Hz
RISBERG (1961b)	50 – 310 Hz
HADDING-KOCH (1961)	50 – 500 Hz
SHAFFER (1964)	110 – 500 Hz
HOLLIEN (1972)	80 – 300 Hz
RABINER et al. (1976)	50 – 500 Hz
MONSEN / ENGEBRETSON (1977)	110 – 250 Hz

Phonation

CATFORD (1964)	28 – 1100 Hz
MÖRNER et al. (1964)	33 – 3100 Hz
HOLLIEN (1972)	27 – 1200 Hz
KEATING / BUHR (1978)	30 – 2500 Hz
MONSEN / ENGEBRETSON (1977)	35 – 1200 Hz

Gesang

Klassische Musik (Mozart)	50 – 1800 Hz
MÖRNER et al. (1964)	65 – 1350 Hz



Artikulatorische und akustische Phonetik

1. Phonation

1.1 Der Mechanismus der Phonation

1.2 Stimmregister

1.3 **Ausgewählte instrumentelle Messmethoden**



Zusammenstellung

(Hess, 1983 [Lit. siehe dort])

Visuell

- Hochgeschwindigkeitsfilm
- Stroboskopie
- Photoelektrisch (Photoglottogramm; Durchleuchten der Stimmbänder mit einer starken Lichtquelle von außen)

Elektrisch/ physikalisch

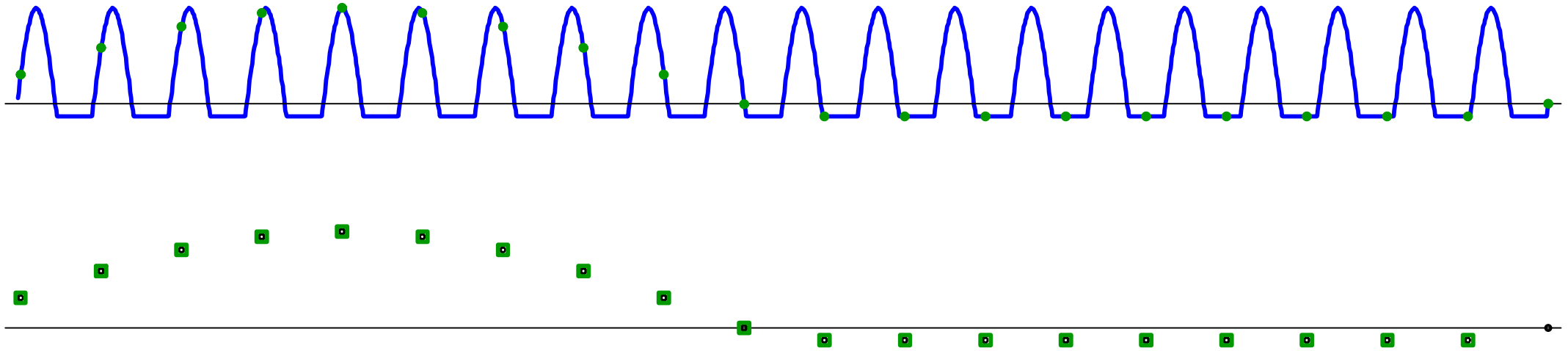
- Laryngograph (Messung des elektrischen Widerstandes des Kehlkopfes)
- Ultraschall
- Mechanisches inverses Filter

Akustisch

- Inverse Filterung (siehe *Sprachsignalverarbeitung* 1,2 Kap.4)
-



Stroboskopie (Beispiel)



Ein periodisches Signal (hier: eine einseitig abgeschnittene Sinuskurve) der Grundfrequenz F_0 wird abgetastet mit der Abtastfrequenz $F = F_0 - \Delta f$. Die abgetastete Kurve wird dann periodisch mit der Periode $1/\Delta f$.



Elektroglottograph / Laryngograph (FOURCIN/ABBERTON, 1971)

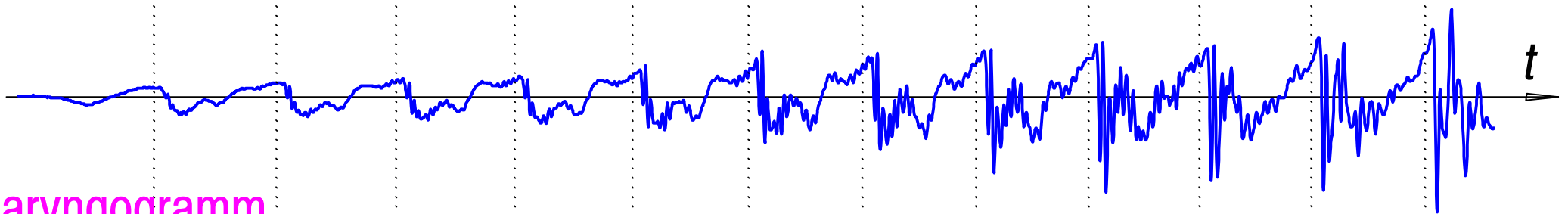
Das Gerät misst den elektrischen Widerstand des Larynx über zwei Elektroden, die am Hals beiderseits des Kehlkopfes mit einem Band befestigt werden. Die geöffnete Glottis wirkt wie ein Isolator.



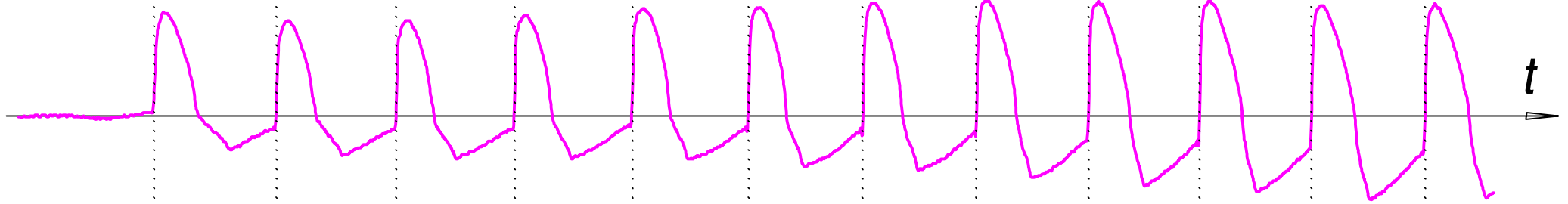


Laryngogramm: Beispiel

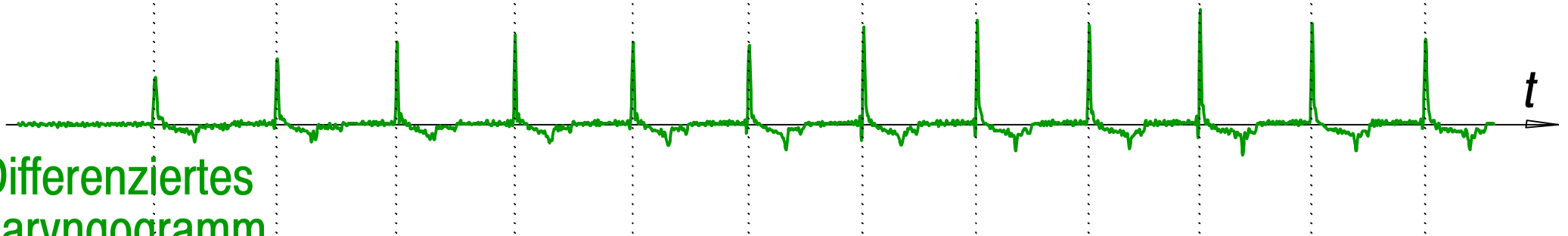
Sprachsignal



Laryngogramm



Differenziertes
Laryngogramm



Beginn [ja], Sprecher WGH, 100 ms



Instrumentelle Messmethoden

Beispiel [BOVES, hier nach HESS, 1983]

