De natuurkunde van de stem

Rein Kolpa, Peter van Rijn, Gideon Koekoek

WND Conferentie
14 december 2024

Wie zijn wij?

Rein Kolpa

Zanger/zangdocent

auteur van de Vocal Core zangmethode

dr. Peter van Rijn

KNO arts en chirurg,

OLVG, Amsterdam

dr. Gideon Koekoek

Associate Professor theoretical Physics,

Maastricht University

Maastricht University

Natuurkunde van geluid

Parasaurolophus
(HAVO, 2012-2, opg 1)

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

+ Superpositie

www.universiteitvannederland.nl/college/kun-je-een-glas-breken-met-je-stem

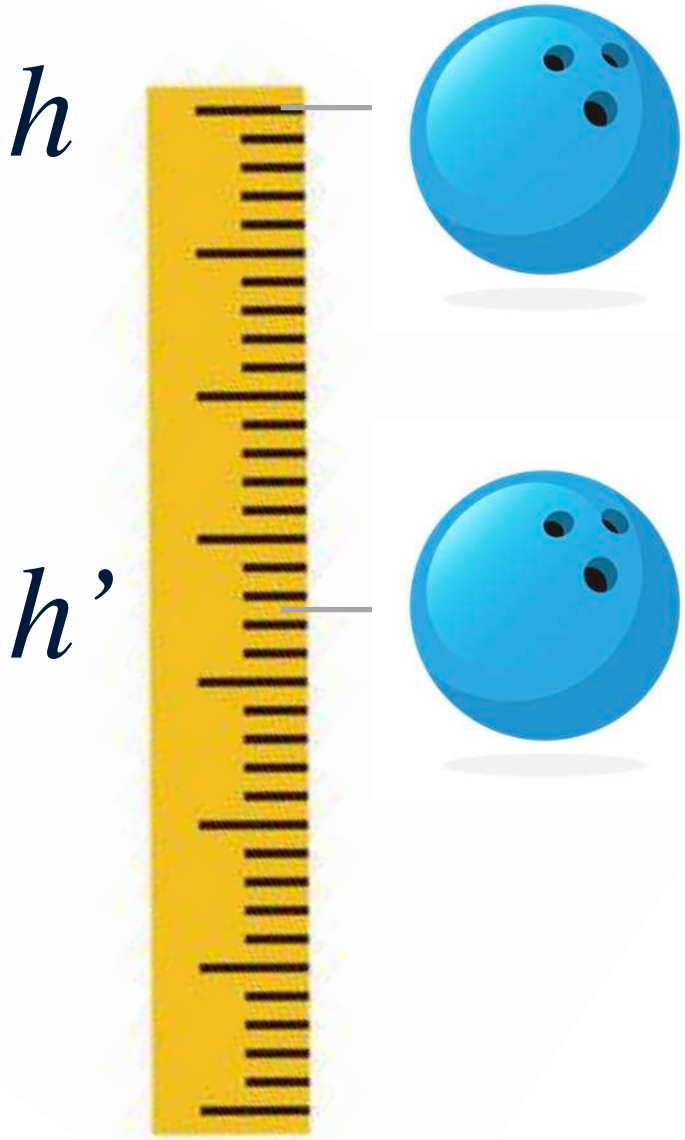
Wet van Bernoulli

$$\frac{1}{2}v^2 + gh + P/\rho = \text{constant}$$

v = stroomsnelheid van de vloeistof

P = druk van de vloeistof

ρ = dichtheid van de vloeistof

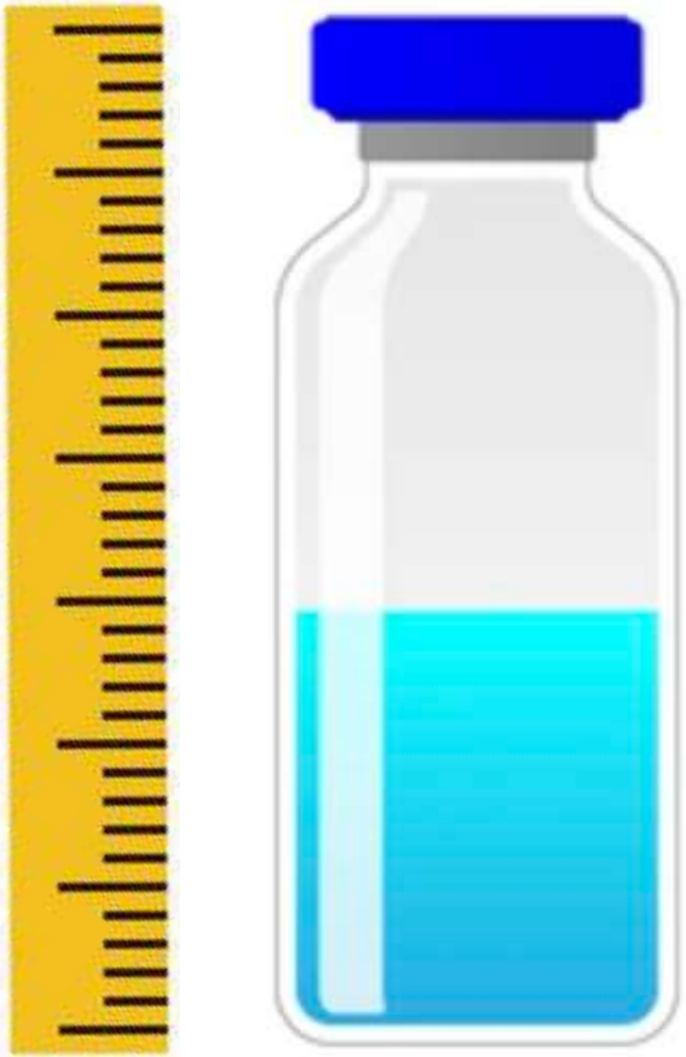


mgh

$mg\,h' + mg\,\Delta h$

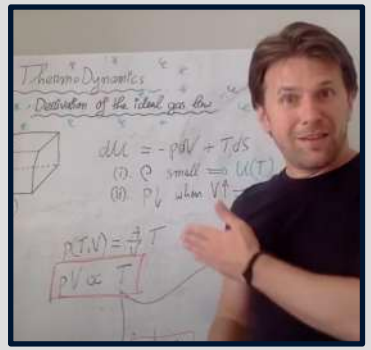
$$\Delta h = \frac{1}{2}\,g\,\Delta t^2 \qquad g = v/(\Delta t)$$

$$m\,g\,h = m\,g\,h' + \frac{1}{2}m\,v^2$$



$$\frac{1}{2}\,m\,v^2 + m\,g\,h = \text{constant}$$

$$P\,V = \text{constant}$$



www.youtube.com/watch?v=BoIZHX7Rctk&t=2747s

$$\frac{1}{2}\,\rho\,v^2 + \rho\,g\,h + P = \text{constant}$$

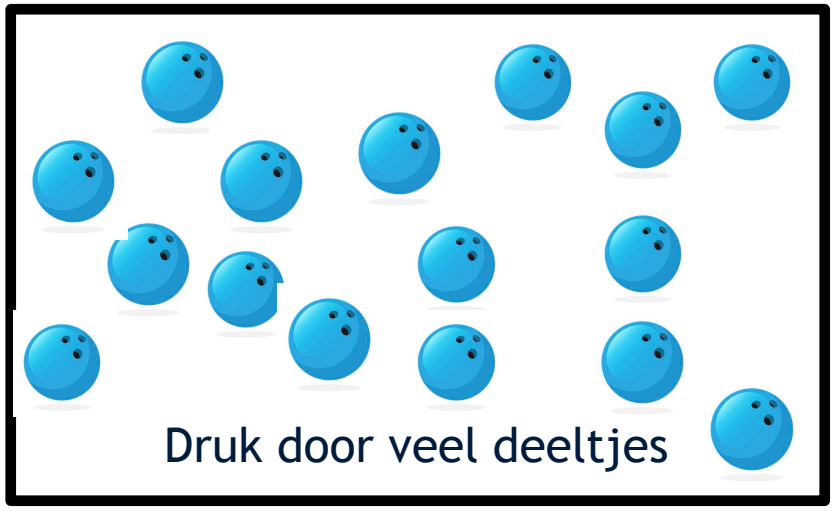
$$\Delta t$$

$$\Delta p = 2\,p \quad \rightarrow \text{delen door botsingstijd} \quad \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2p}{\Delta t} \quad \rightarrow \text{delen oppervlak A van wand} \quad -P = \frac{2p}{A\Delta t}$$

$$\rightarrow \quad -P = \frac{2m\,v^2}{A\,\Delta x}$$

$p = mv,\ \Delta x = v\,\Delta t$

Druk door één deeltje



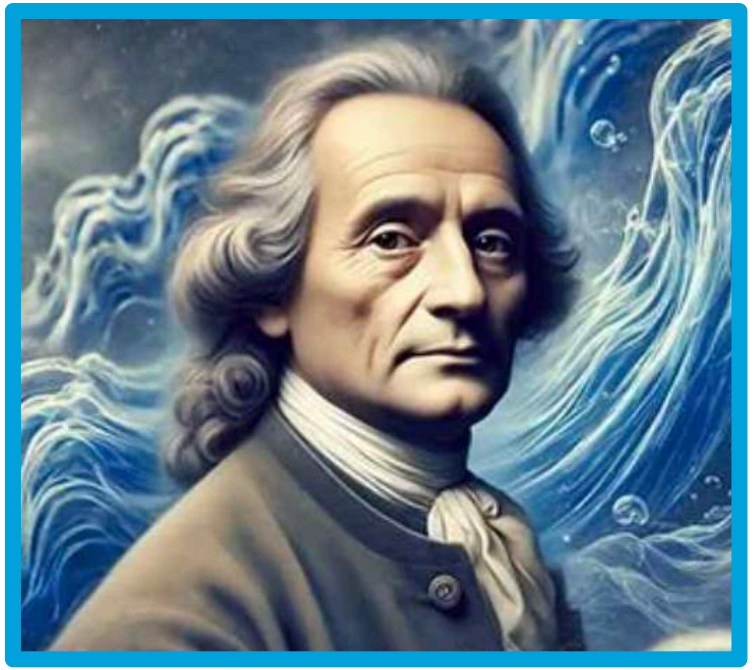
Druk door veel deeltjes

$$-P = \frac{2m\,v^2}{A\,\Delta x} \quad \Rightarrow \quad -P_{\text{gemiddeld}} = \frac{\frac{1}{2}m\,v^2}{V}$$

$$\frac{1}{2}\,\rho\,v^2 + \frac{V_{\text{pot}}}{V} + P_{\text{gemiddeld}} = \text{constant}$$

Wet van Bernoulli

$$\frac{1}{2}\,\rho\,v^2 + \frac{V_{\text{pot}}}{V} + P_{\text{gemiddeld}} = \text{constant}$$

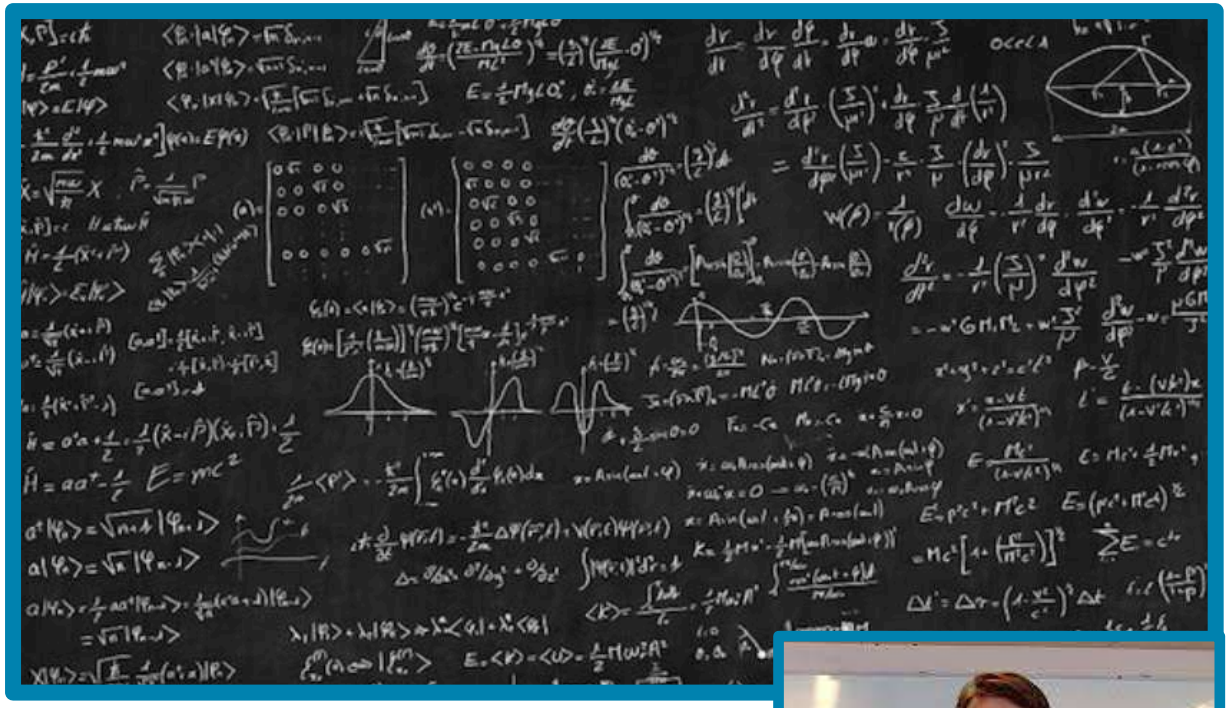


Daniel Bernoulli

- Vloeistof door kleiner oppervlak ———> vloeistof spuit er sneller uit
- Dichtheid groter maken ———> vloeistof stroomt langzamer

De grenzen van ons model

- Volume mag van *vorm* veranderd worden, maar moet wél constant blijven,
- Interne krachten zijn niet meegenomen.
- Kracht was omgeschreven naar energie. Dat kan niet voor alle krachten,
- Alleen mechanische interactie is meegenomen.



For goor treatment – TEAM work

General Practitional	Whole patient e.g. history
ENT	investigation & stroboscopy
Speech Therapist	Functional analyse & treatment
Specialist	Pulmonology & GE

olvg
een santeon ziekenhuis

Fysiology_voice

Voice Clinic ; Harris et.al. 1998

1 Power Source
   - lungs
2 Sound Source
   - vocal folds
3 Sound Modifiers
   - vaulted arch

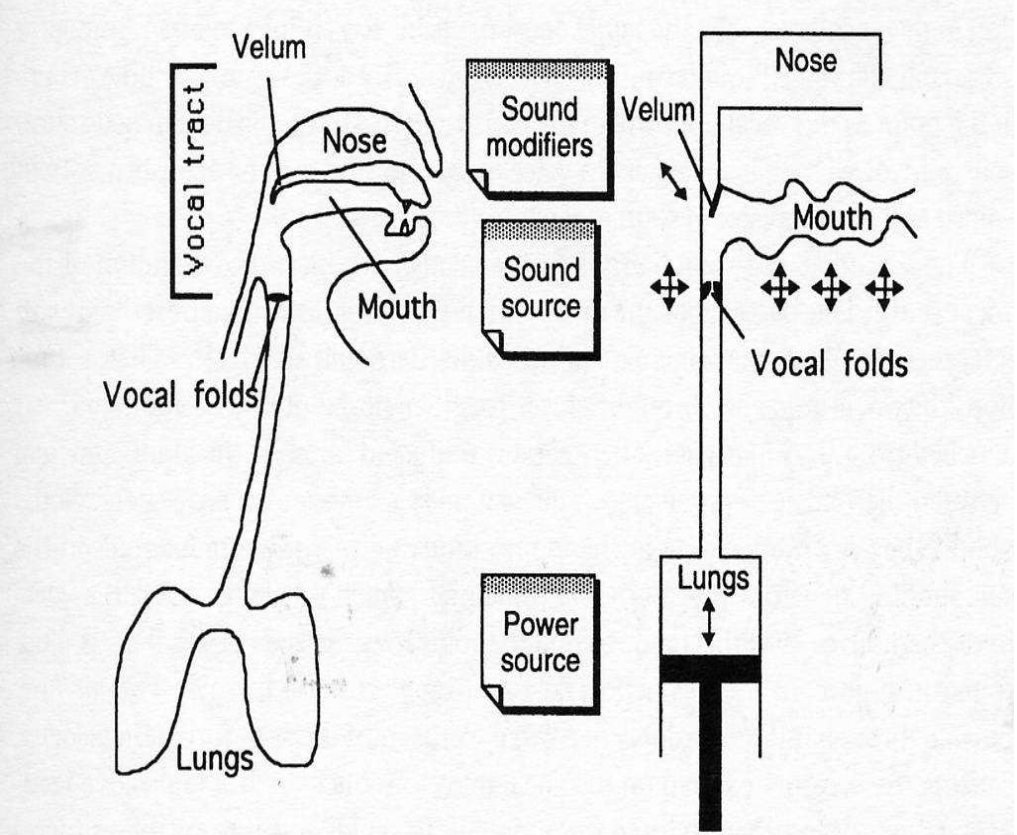
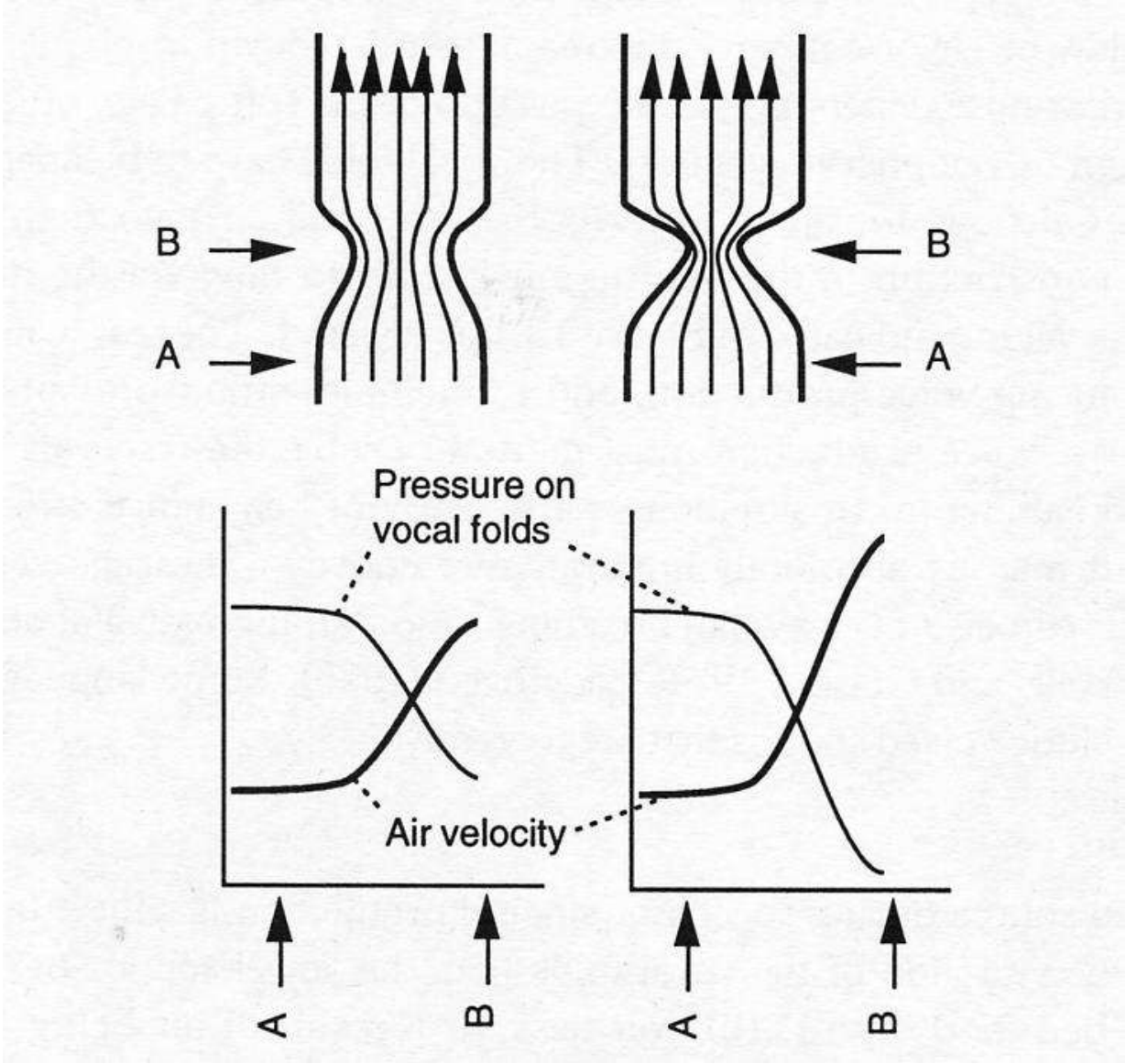


Figure 13.1 The power source, sound source and sound modifiers during the production of voiced sounds

olvg
een santeon ziekenhuis

Subglottic pressure & Air flow



olvg
een santeon
ziekenhuis

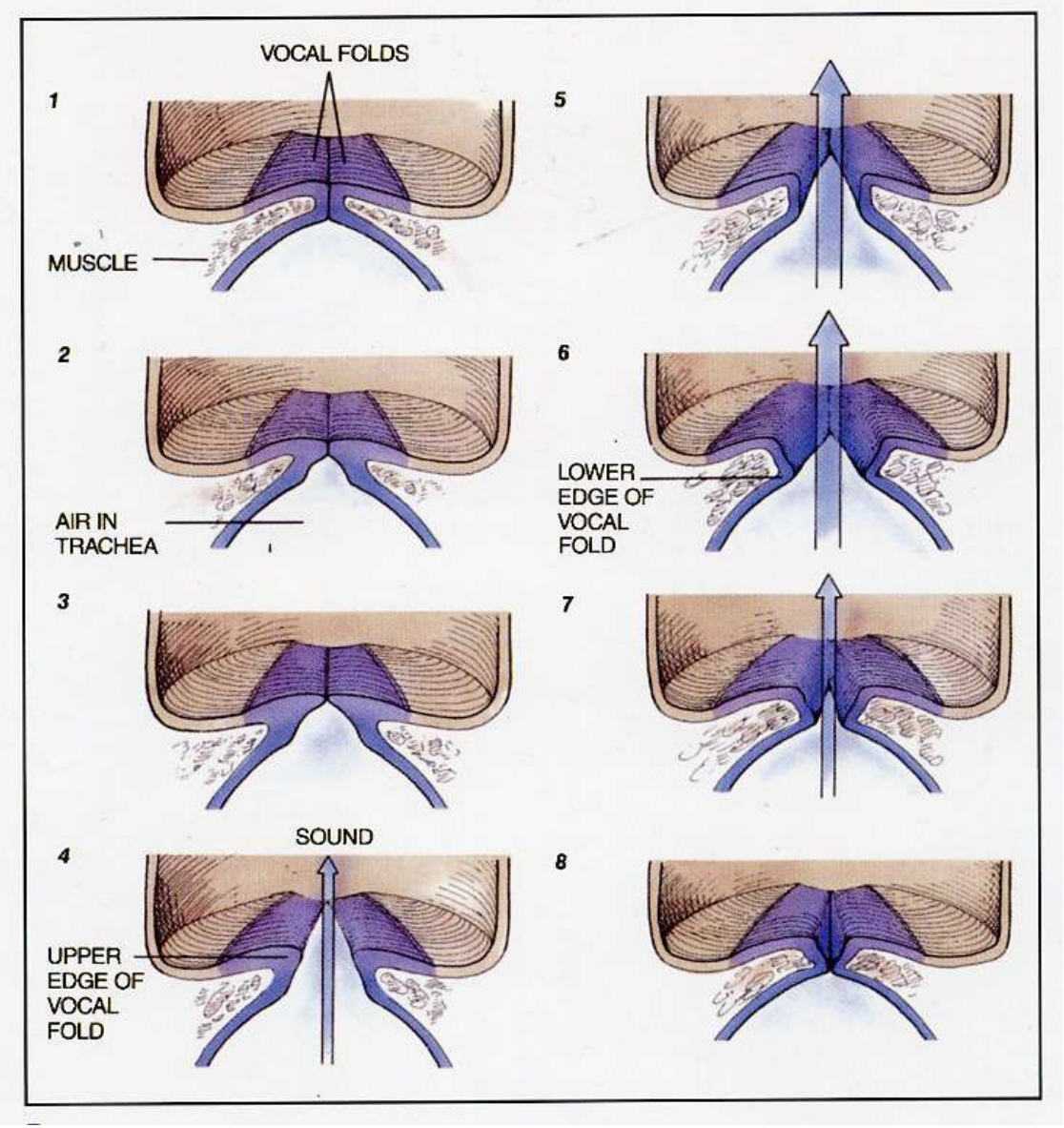
wet van Bernoulli

Fundamenteel principe in de vloeistofdynamica dat de relatie tussen druk, snelheid en hoogte in een stromende vloeistof beschrijft.

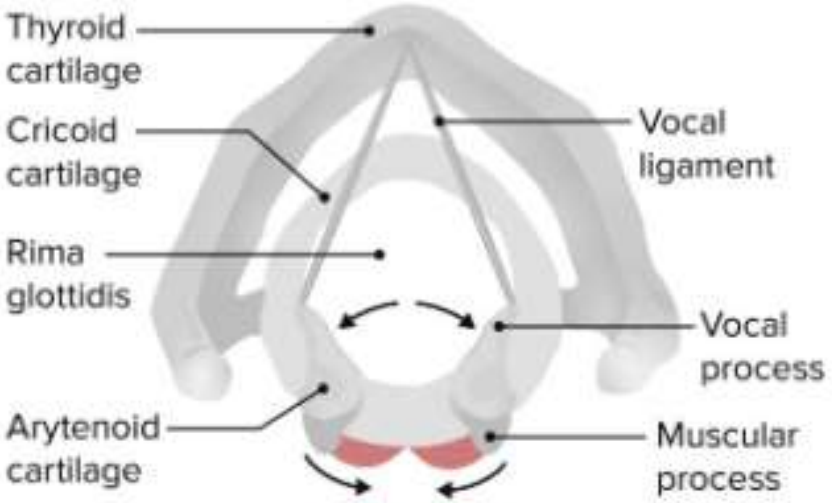
$$P+1/2\ \rho\ v^2\ +\rho gh=constant$$

P	de statische druk
ρ	de dichtheid van de vloeistof
v	de snelheid van de vloeistof
g	de versnelling door de zwaartekracht
h	de hoogte boven een referentieniveau.

Air flow – mucosal wave

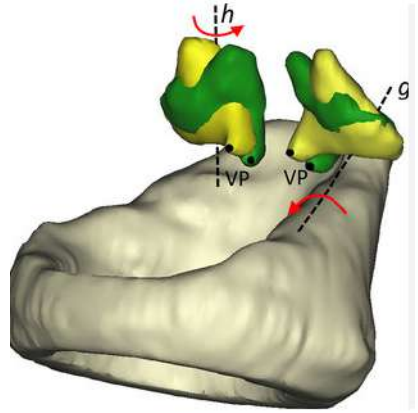


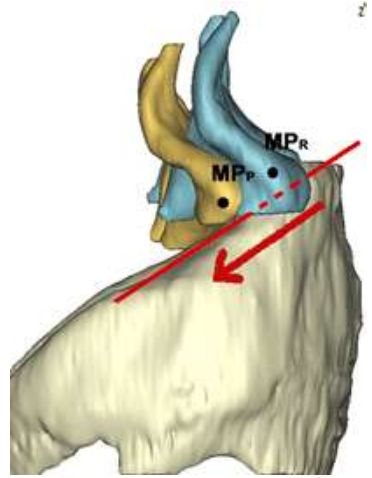
olvg
een santeon ziekenhuis

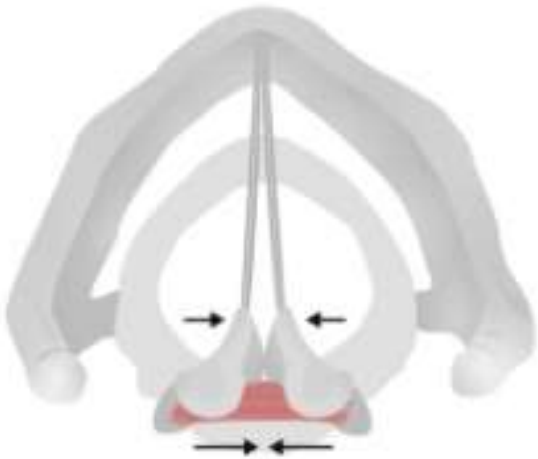


Posterior cricoarytenoid

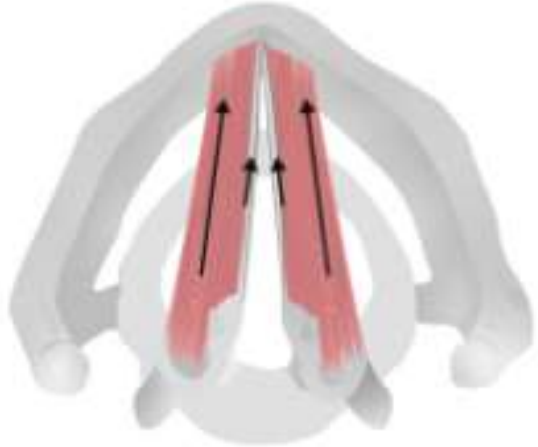
Lateral cricoarytenoid and oblique arytenoid



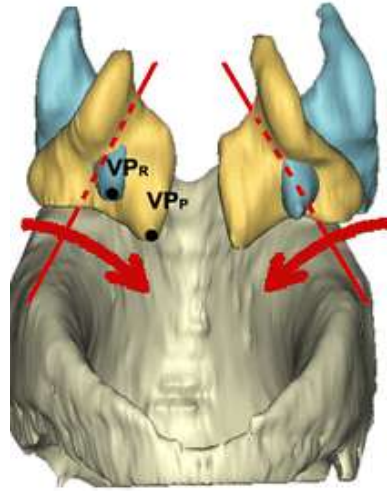


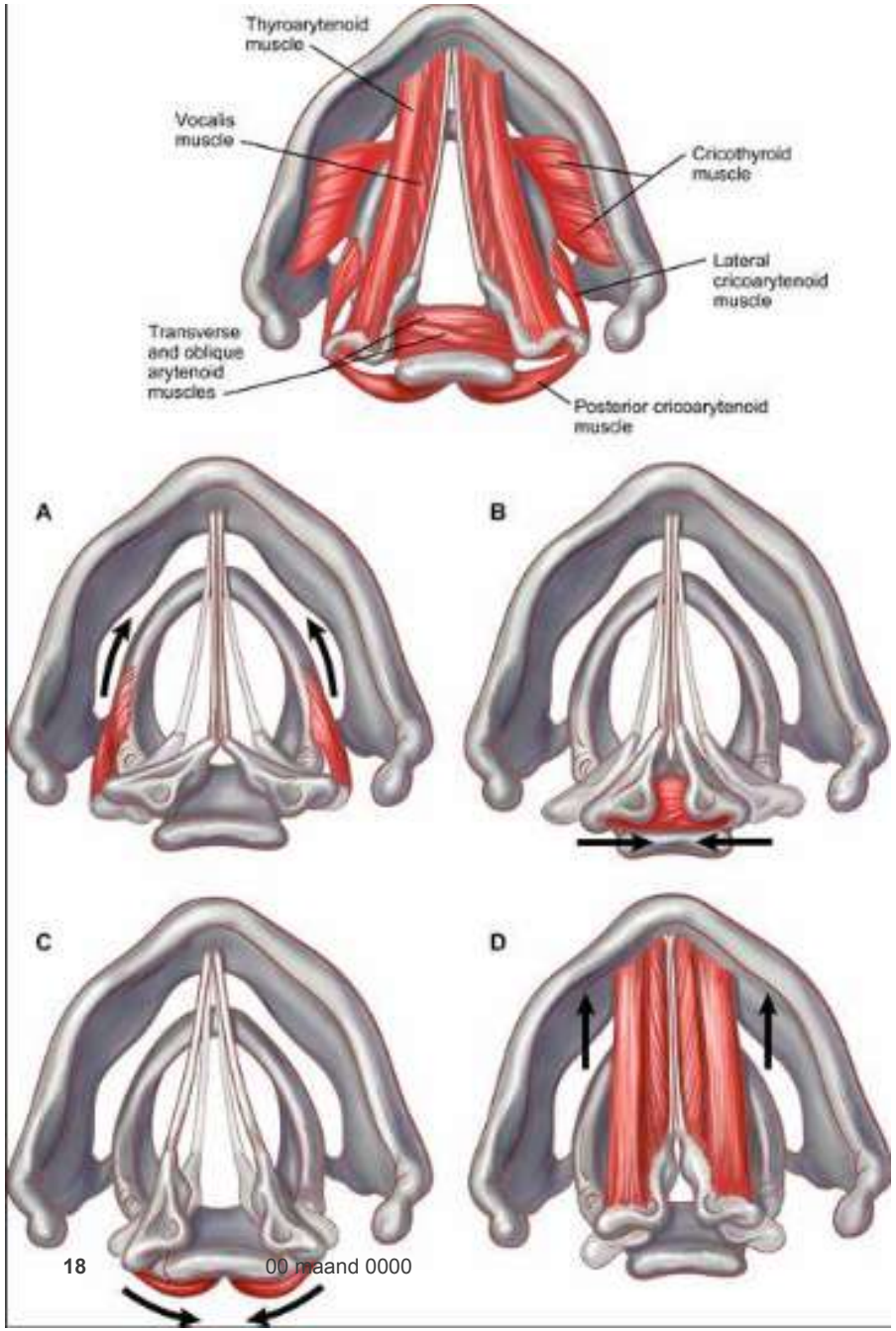


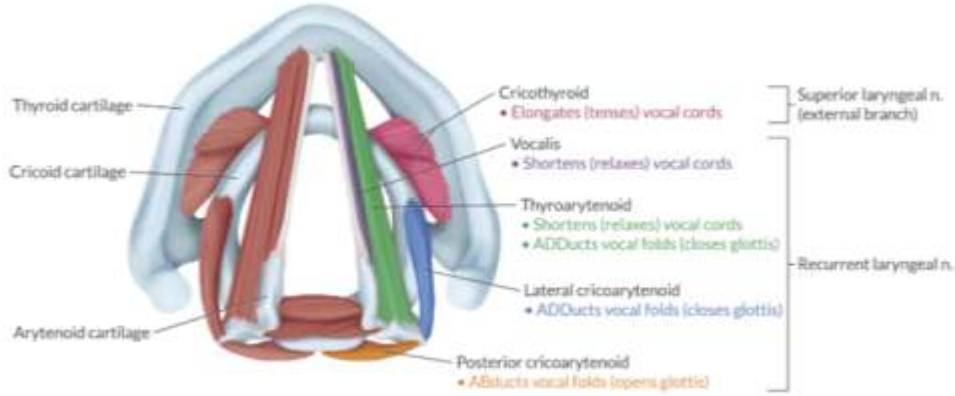
Transverse arytenoid

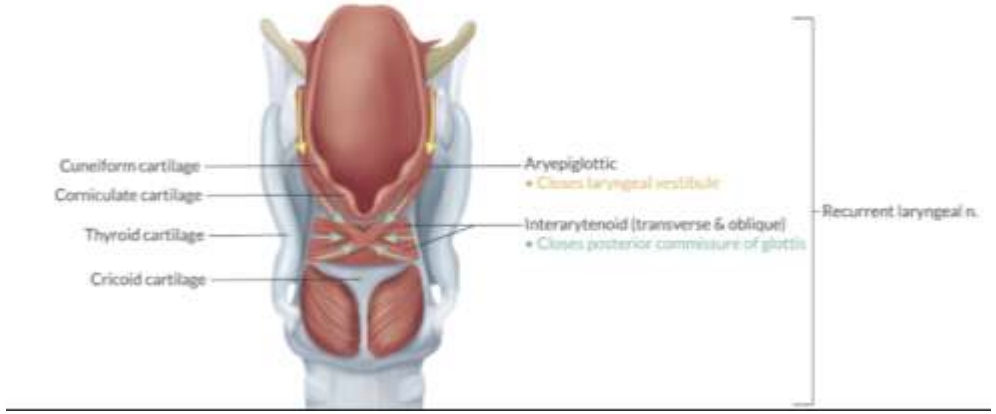


Thyroarytenoid



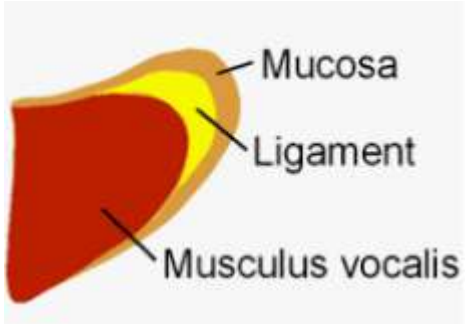






olvg
een santeon ziekenhuis

Vocal Cord Movement



Vocal Cord

- Thickness and Length
- Tension of vocal ligament
- Stifness body&mucosa
- Condition mucosal tissue and epithelia

Subglottic Pressure &
Air flow / volume

PTP –phonation threshold pressure

olvg
een santeon ziekenhuis

Phonation threshold pressure (PTP)

- Minimale subglottische druk benodigd voor vorming stembandoscillaties (cm H_2O)

$$P \geq {}^{2k}/_{T} \cdot Bc \cdot {}^{w}/_{2}$$

P = PTP
T = stembanddikte
B = representatie van weefselviscositeit
c = snelheid
W = straal glottis opening (voor phonatie)
K = transglottische druk coëfficiënt (constant)

Titze, 1988

Is de PTP te beïnvloeden?

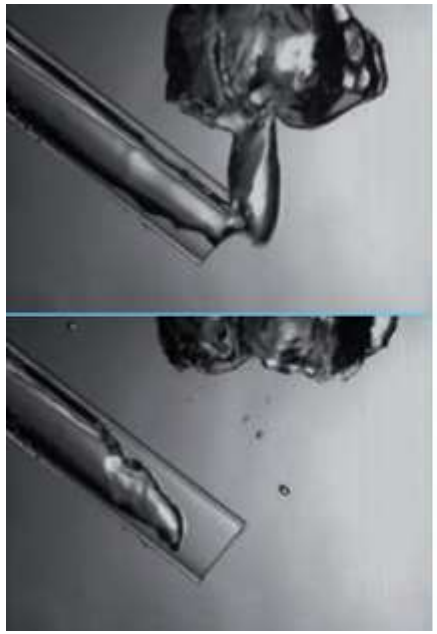
olvg
een santeon ziekenhuis

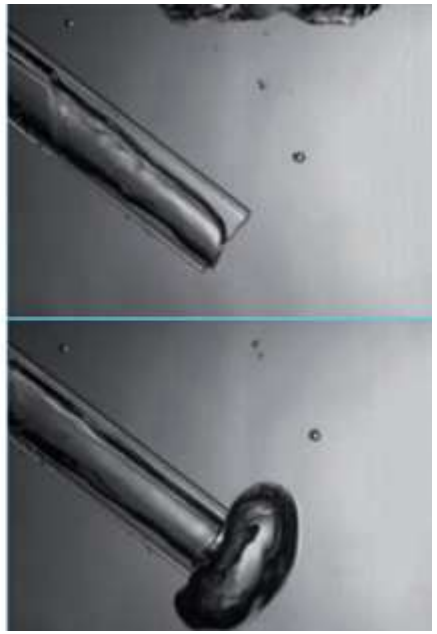
Samenstelling fysiologisch zout en Emser zout

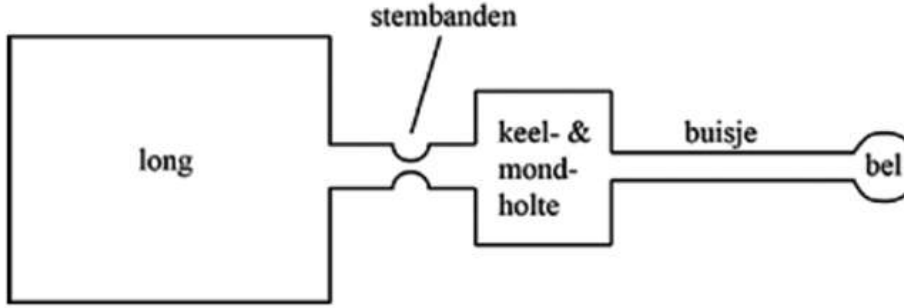
	Bloed plasma Gram/liter	**Keuken zout** Gram/liter	**Emser zout** Gram/liter
Natrium	3,26	3,54	3,36
Chloride	3,61	5,46	2,03
Kalium	0,16	-	0,07
Magnesium	0,02	-	0,0032
Calcium	0,10	-	0,0002
Sulfaat	0,05	-	0,1
Hydrogen carbonaat	1,65	-	5,14

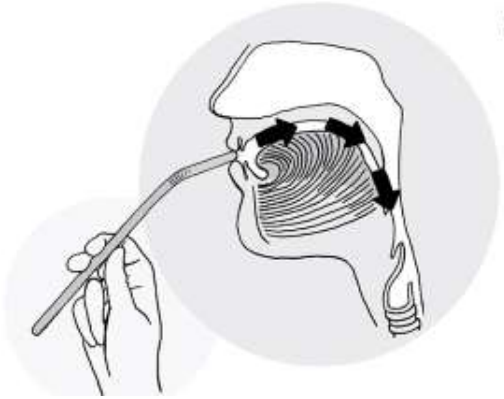
Invloeden werking Lax vox

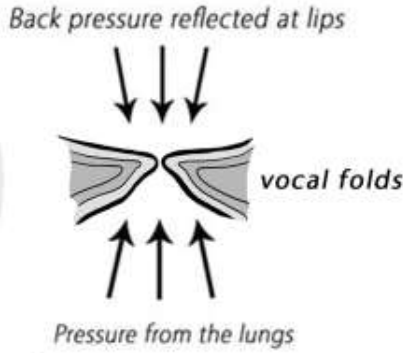
Lengte van de buis
Diameter van de buis
Frequentie door gebruiker geproduceerd
Diepte van de waterkolom
Materiaal van de buis (minimaal)











$$\Delta p_{st.b.} = \frac{3}{2}\left[1-\left(\frac{D_{st.b}}{D_L}\right)^2\right]^2 \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$\Delta p_{buisje} = 4f\frac{L}{D}\frac{1}{2}\rho v_{buisje}^2$$

olvg
een santeon ziekenhuis

Wat zegt dit?

- Twee bellen gevormd
- Na de tweede bel → water terug in buis
- Korte vermindering luchtuitstroom, terwijl constante aanvoer lucht uit long naar mond/ keel
- Druk in mond-/keelholte stijgt en daalt
- Drukverschil → 8 Hz → lager dan stem

- Verschil met resonantie:
- Trillingen van stem gebruikt → 100 Hz.
- Hoe hoger de longdruk, hoe hoger luchtstroom, sneller nieuwe bel, sneller drukverschil in keel en mond → minder ontspanning hals.

olvg
een santeon ziekenhuis

3 Fysiology; Vaulted Arch

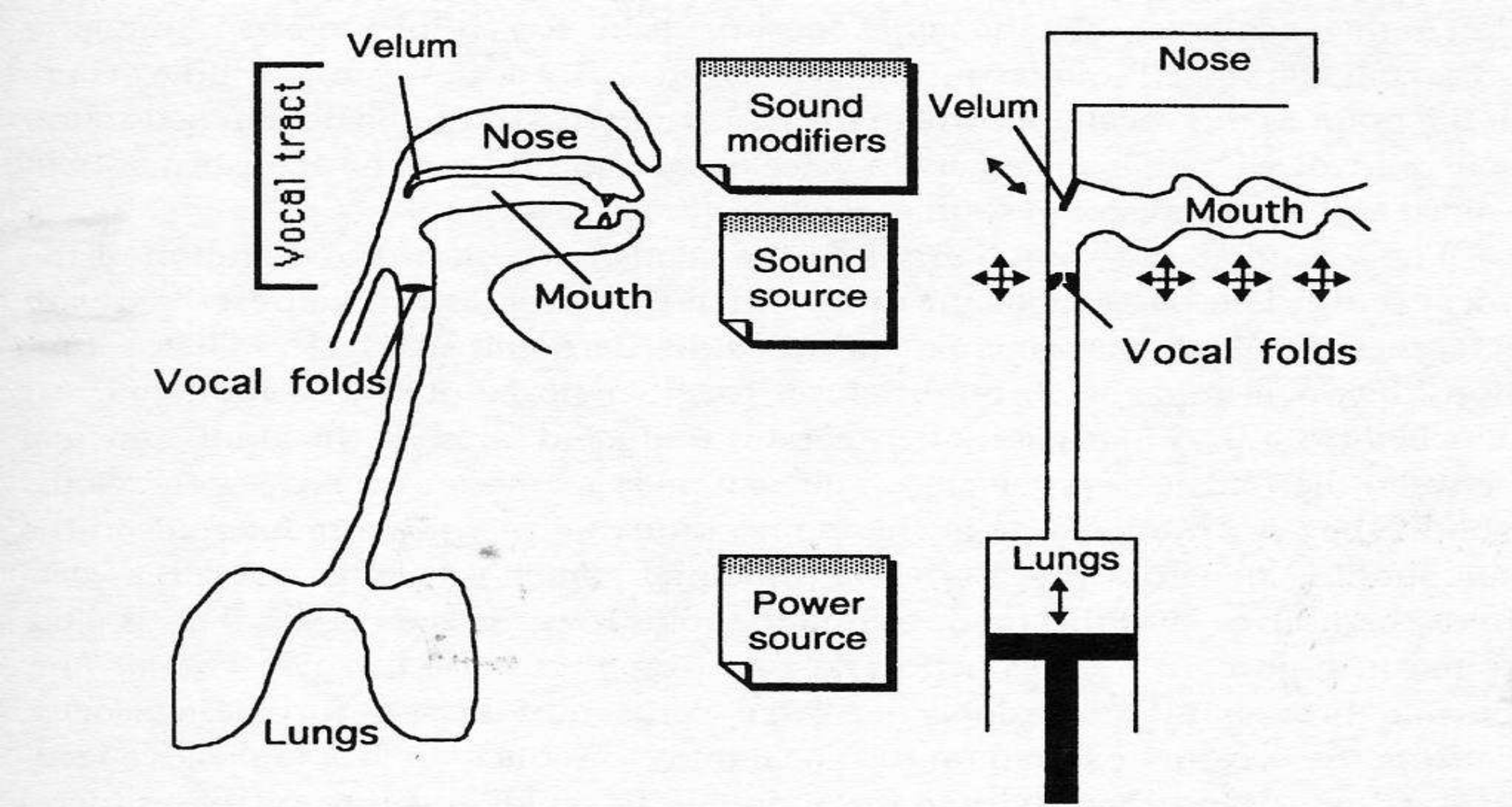
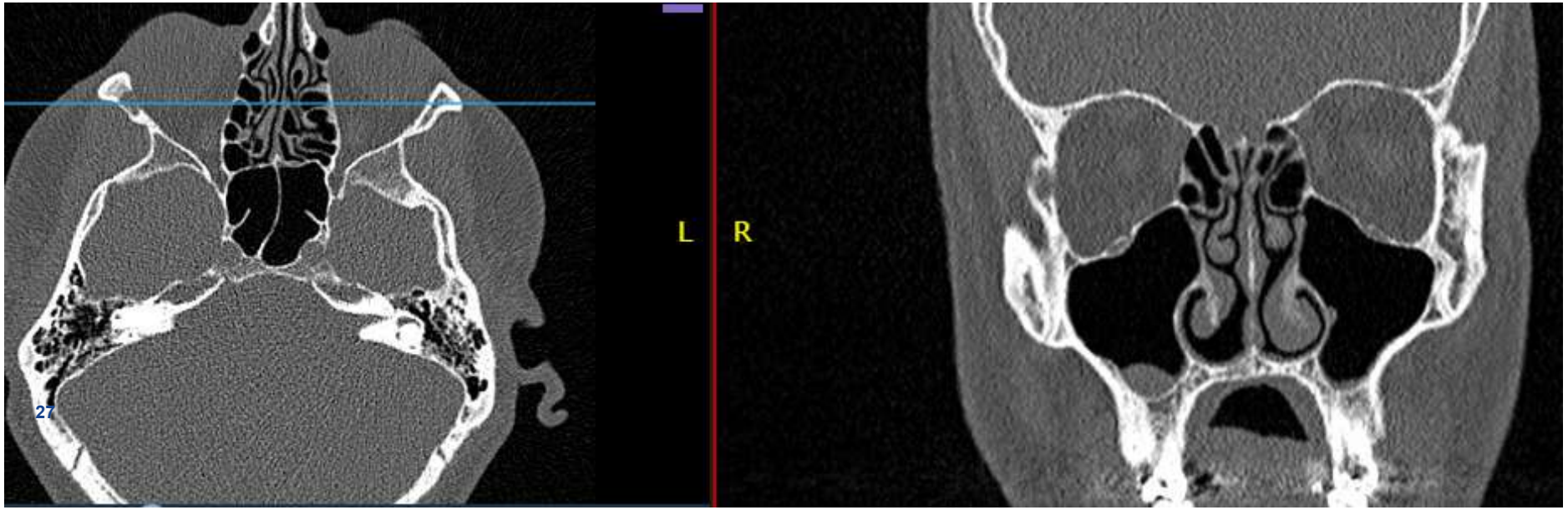


Figure 13.1 The power source, sound source and sound modifiers during the production of voiced sounds

Klankholte = klankkast



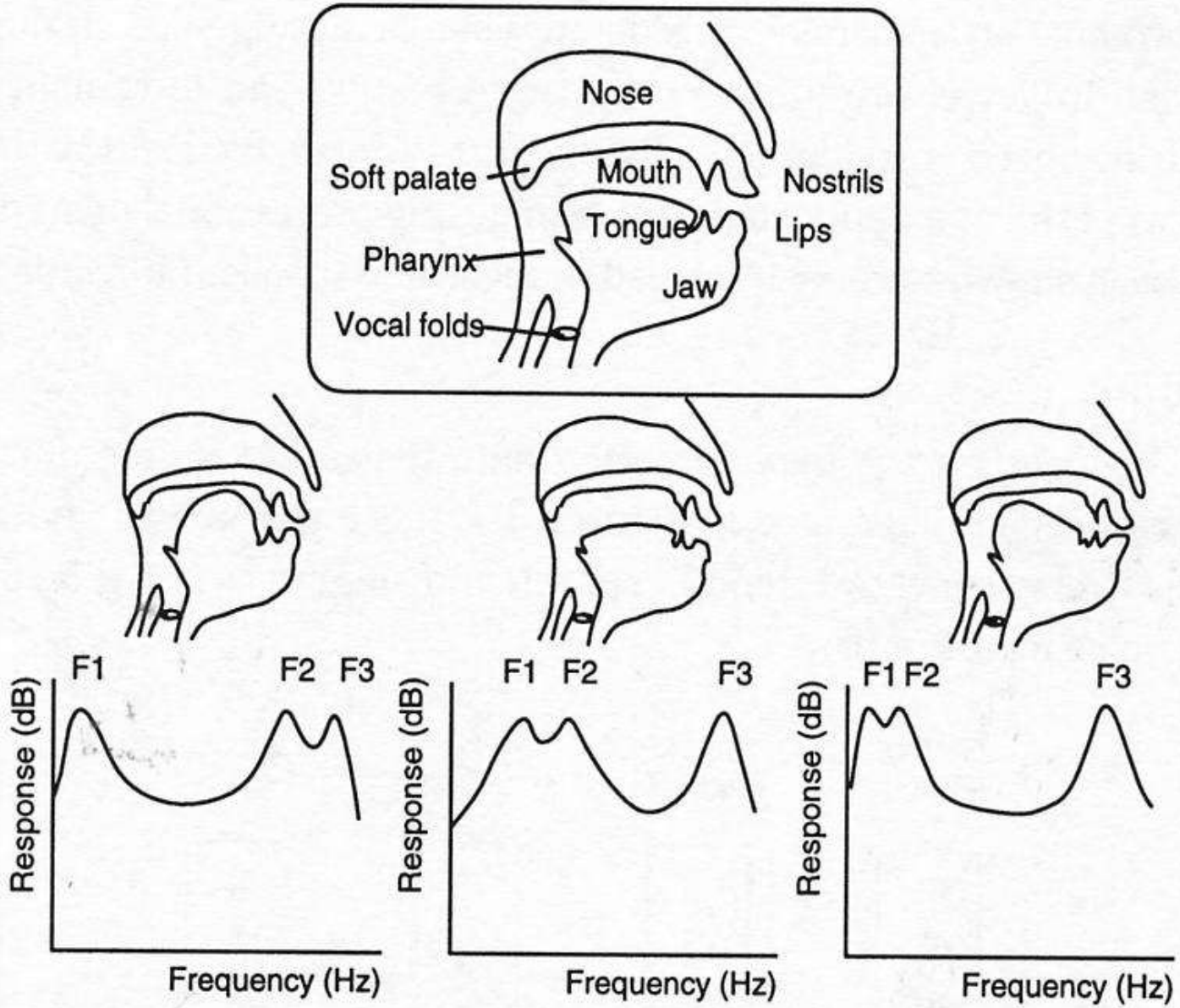


Figure 13.6 The main speech articulators of the human vocal tract and the vocal tract frequency response for the vowels in 'bee' (left), 'baa' (centre) and 'boo' (right)

Rounded / spread lip voice

Figure 5: The upper and lower lips

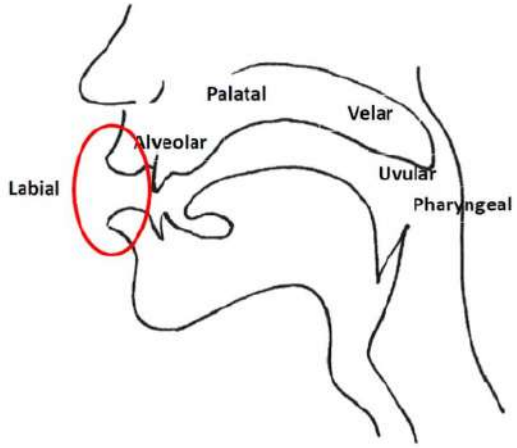


Figure 6: Labiodental setting

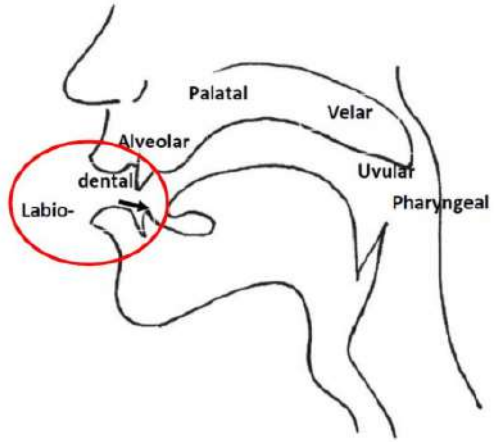


Figure 7: Palatal setting of the tongue body

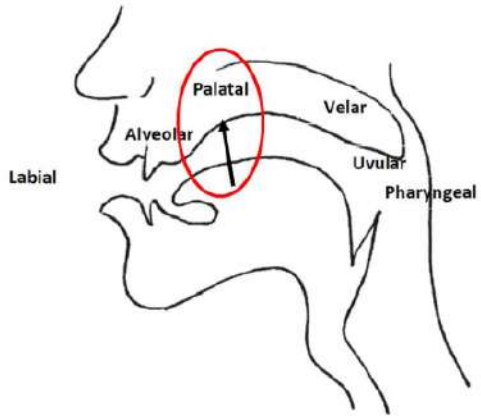


Figure 8: Velar setting of the tongue body

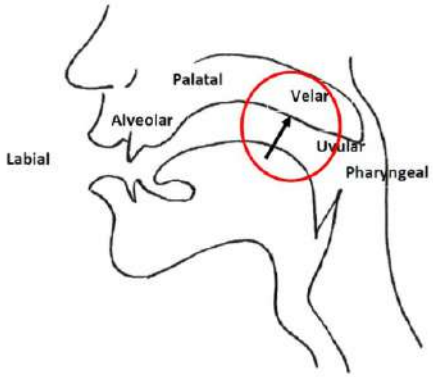
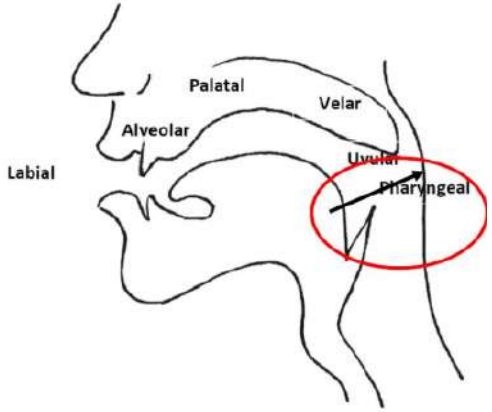


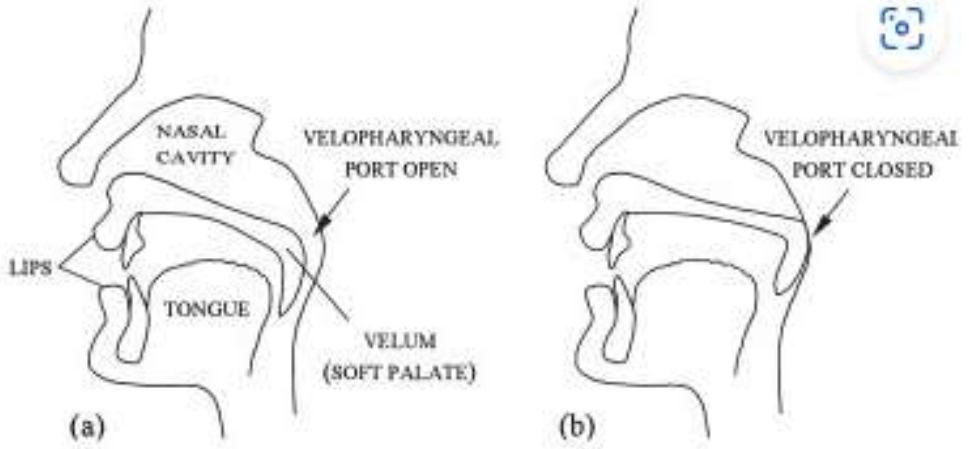
Figure 9: Pharyngeal setting of the tongue body



olvg
een santeon ziekenhuis

Open en gesloten neus spraak

Figure 10: Opening and closing of the velopharyngeal port



olvg
een santeon ziekenhuis

Larynx elevatie/ heffing

Figure 11: Raised larynx [7]

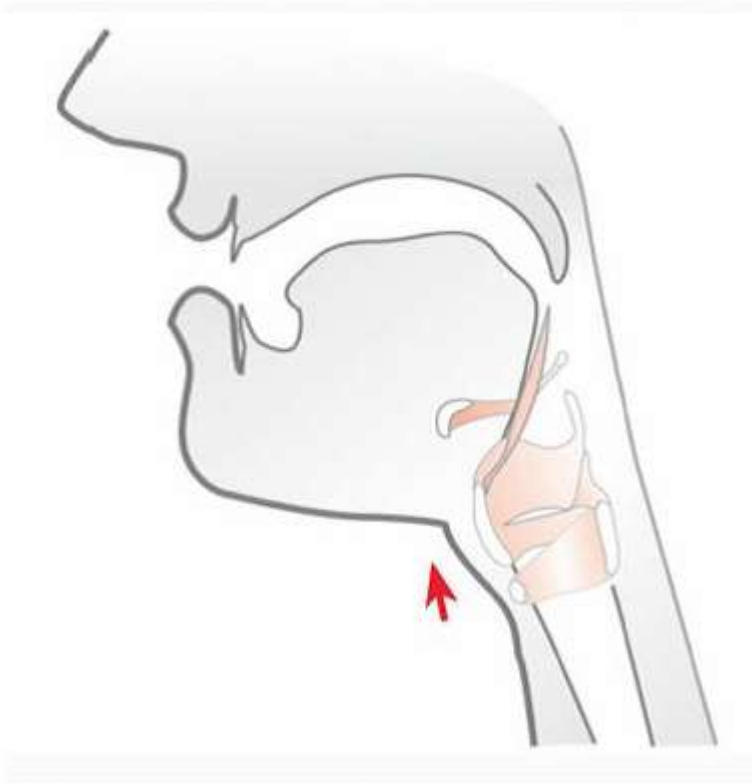
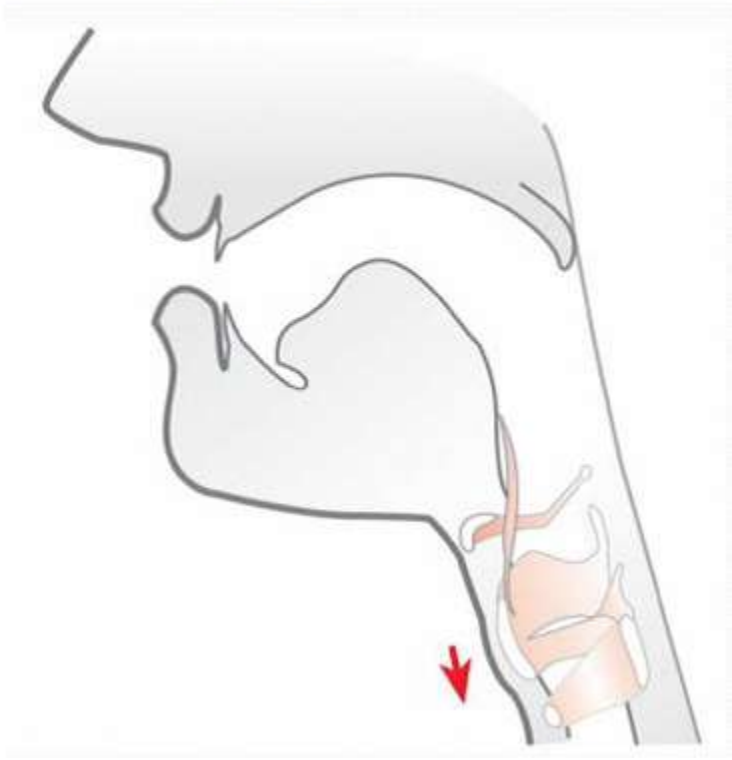
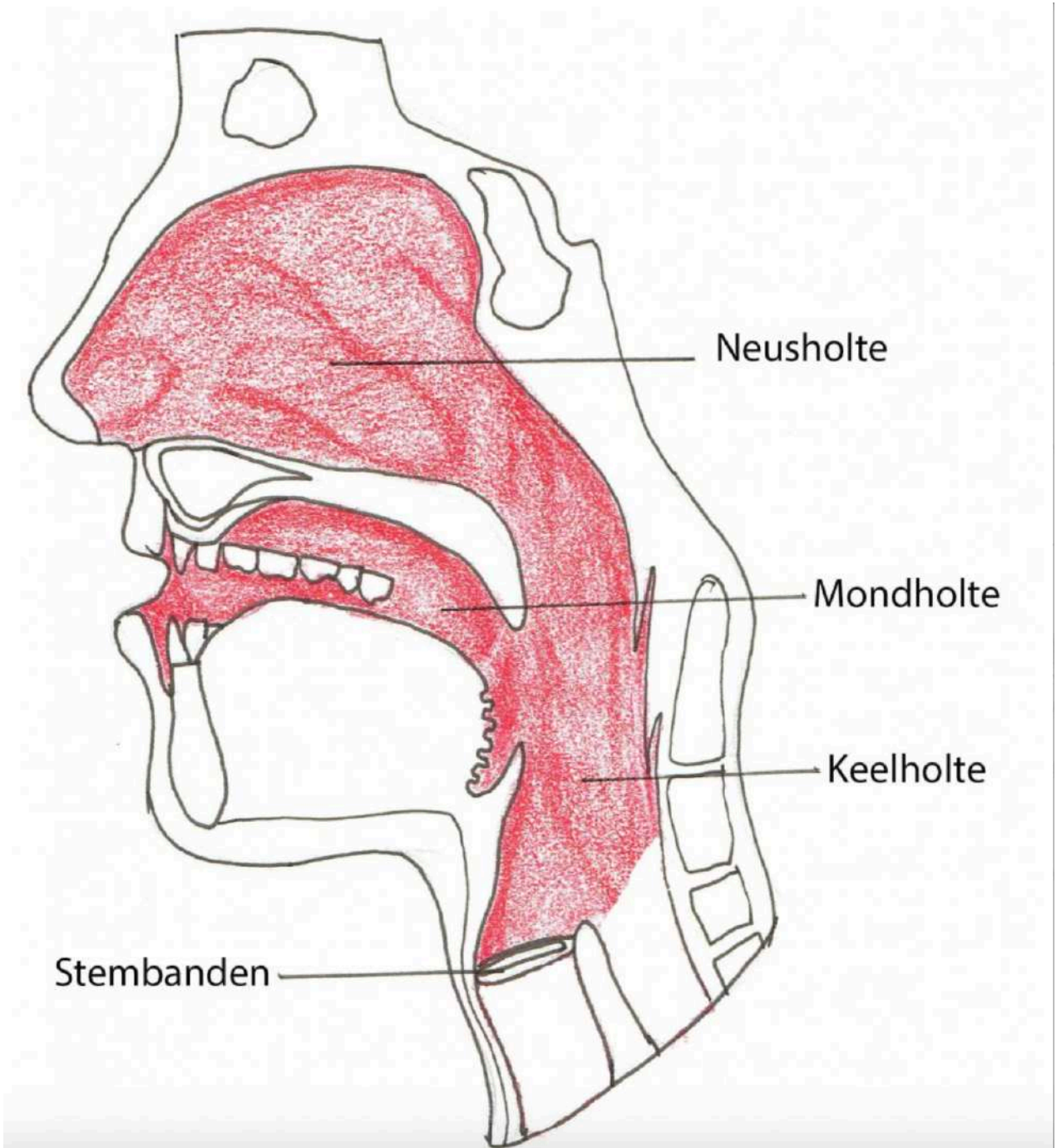


Figure 12: Lowered larynx [8]



olvg
een santeon ziekenhuis

Klankkleur maken we in de klankkast



Meegevers

* De stem is een prachtig stukje natuurkunde, én fysiologie,

* Verrassende toepassing van (examen)stof,

* Goede oefening om modellen af te leiden en goed in de gaten te leren houden waar deze zijn grenzen kennen (en waarom),

* Illustratie waar verschillende disciplines hand in hand gaan om samen tot een compleet plaatje te komen.

Stem en geluid kunnen heel goed in de les worden ingebouwd , op verschillende niveaus, en met alle ruimte voor samenwerking met andere vakken.

Dank jullie wel!

Rein Kolpa

Zanger/zangdocent

auteur van de Vocal Core zangmethode

dr. Peter van Rijn

KNO arts en chirurg,

OLVG, Amsterdam

dr. Gideon Koekoek

Associate Professor theoretical Physics,

Maastricht University