

Vokale und die Quantaltheorie

Jonathan Harrington

Vokale und die Quantaltheorie.

1. die Berechnung von Formanten in einem ein 3-Rohr System.

1(a) Hinterrohr, 1 (b)Helmholzresonator, Vorderrohr.

2. Daraus ergibt sich:

Es gibt artikulatorisch-akustische stabile Regionen
= Aenderungen in der Vokaltraktgestaltung kaum
Formant-Aenderungen zur Folge haben.

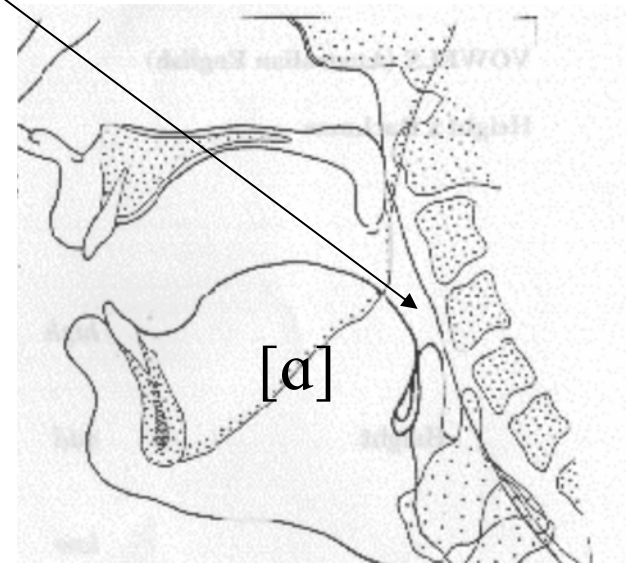
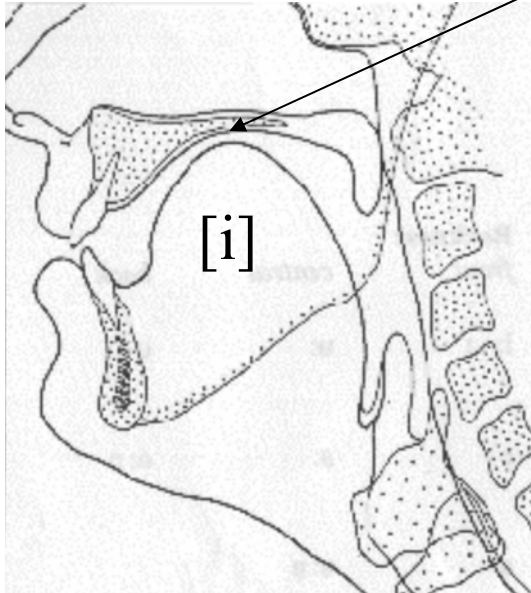
3.

Die Stelle der geringsten Verengung

Wie Konsonanten haben Vokale eine gewisse 'Artikulationsstelle' oder **Stelle der geringsten Verengung**, die:

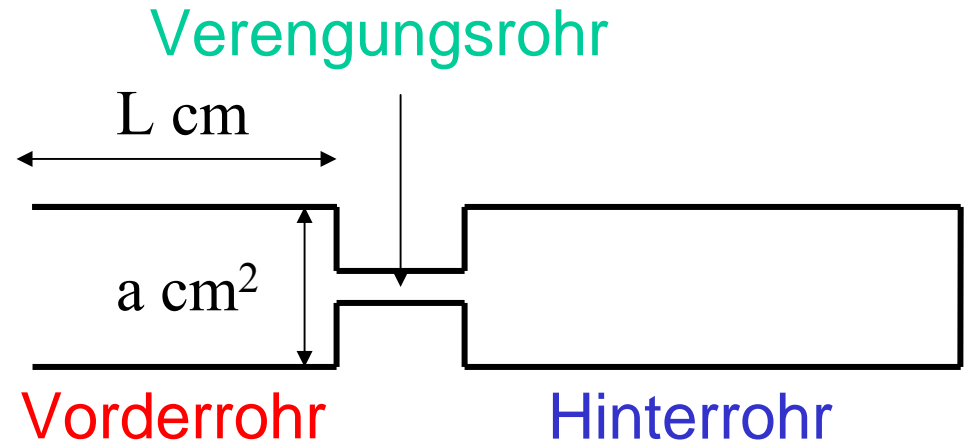
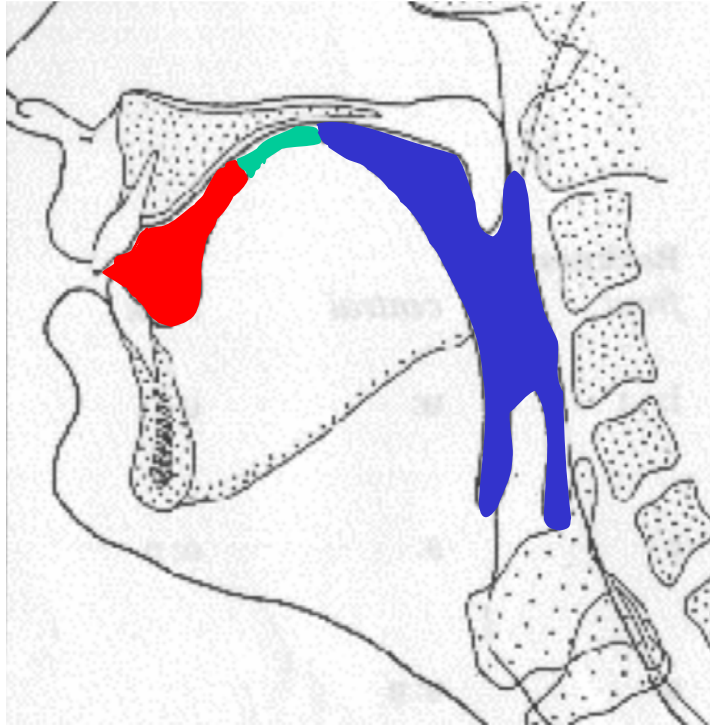
- zwischen dem Glottis und hartem Gaumen gebildet wird
- einen bedeutenden Einfluss auf das akustische Signal ausübt

Stelle der
geringsten
Verengung

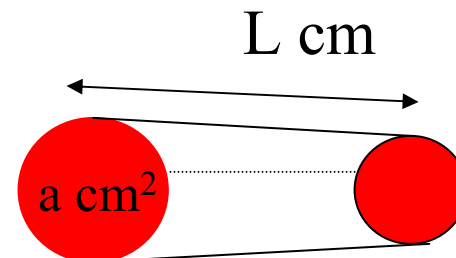


Allgemeines Drei-Rohrmodell für Vokale

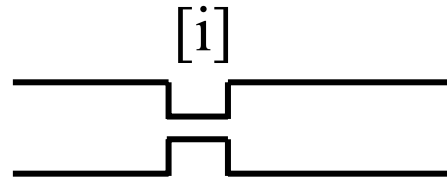
Wegen dieser Verengungsstelle wird der Mundraum in drei Räume aufgeteilt, die mit drei Röhren entsprechender Länge modelliert werden können.



Diese Parameter entsprechen der Länge und Querschnittsfläche vom jeweiligen Rohr

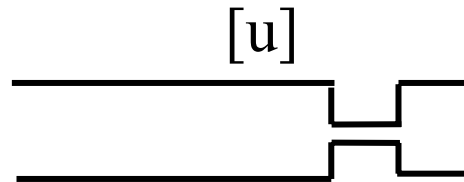


Beitrag der Röhre zur Akustik der Vokale

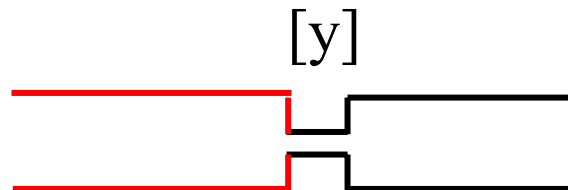


Alle Röhre tragen zur Akustik/Formanten bei, diese Merkmale jedoch am meisten (in dieser Reihenfolge):

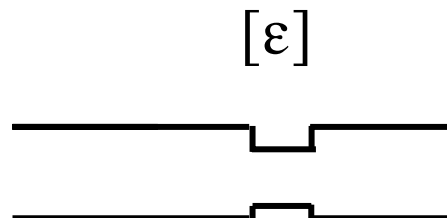
1. Verengungsstelle



2. Rohrlänge

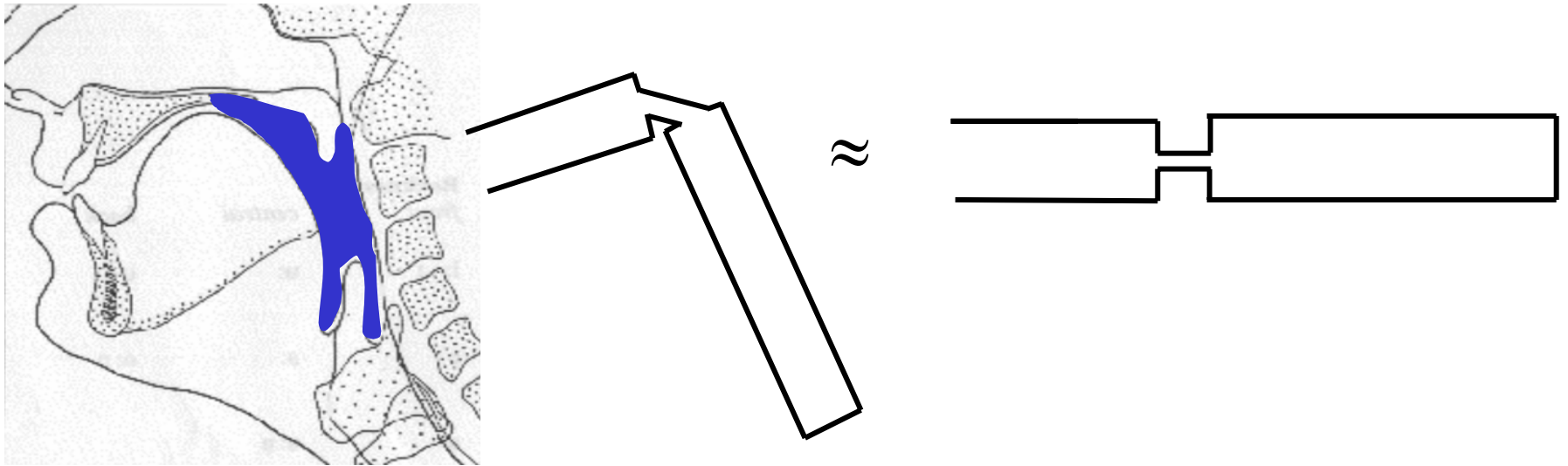


3. Verengungsbreite

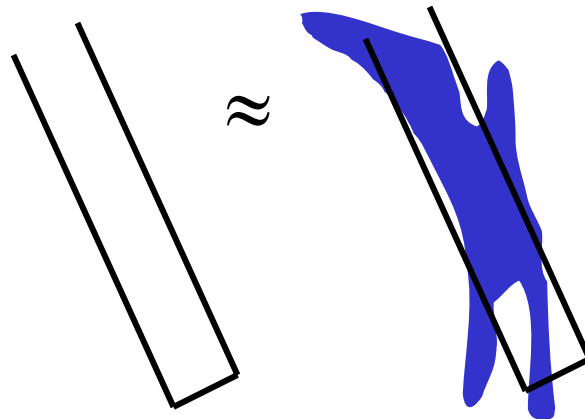


Kaum akustische Unterschiede wegen:

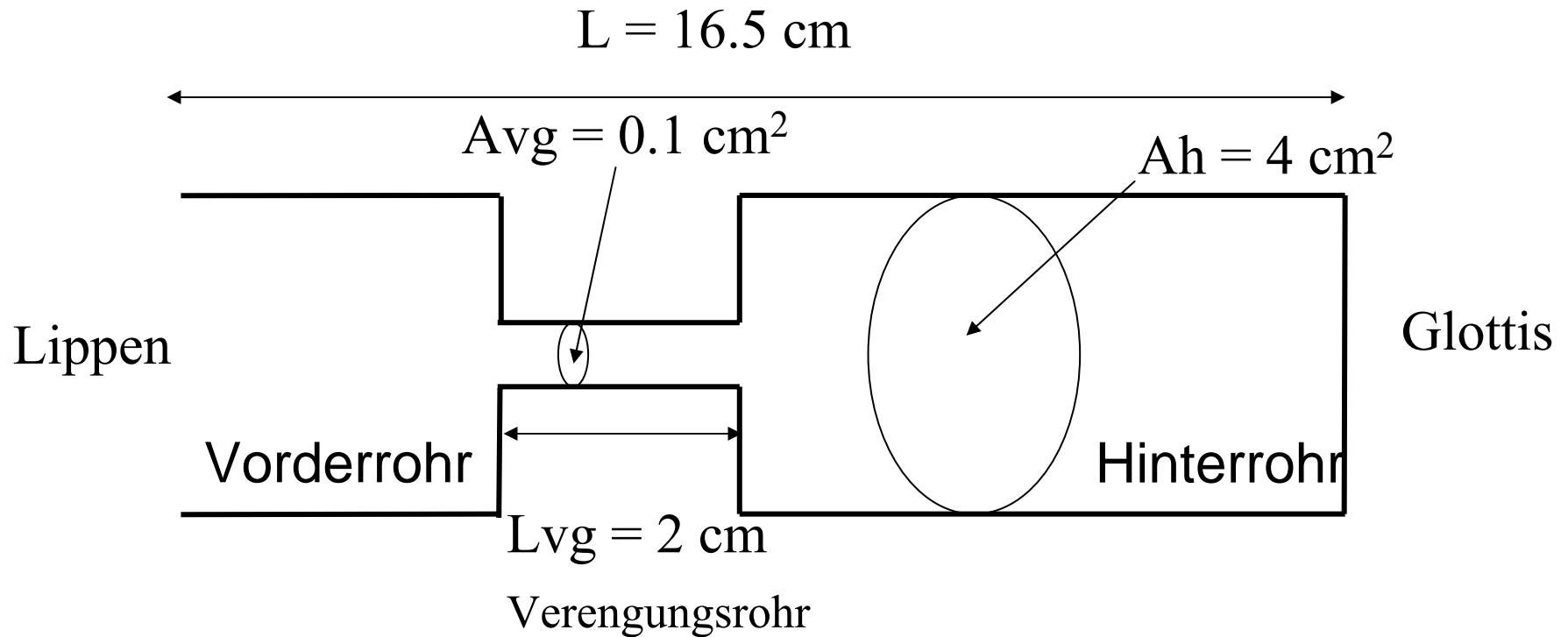
Der Biegung vom Vokaltrakt



Kleine Variationen in der Breite hinter oder vor der maximalen Verengung



Drei-Rohr Modell: Festgelegte Parameter

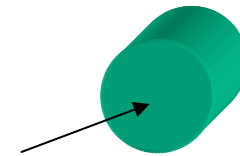


Vokaltraktlänge, $L = 16.5 \text{ cm}$

Verengungsrohr-Länge $L_{vg} = 2 \text{ cm}$

Verengungsrohr-Querschnittsfläche $A_{vg} = 0.1 \text{ cm}^2$

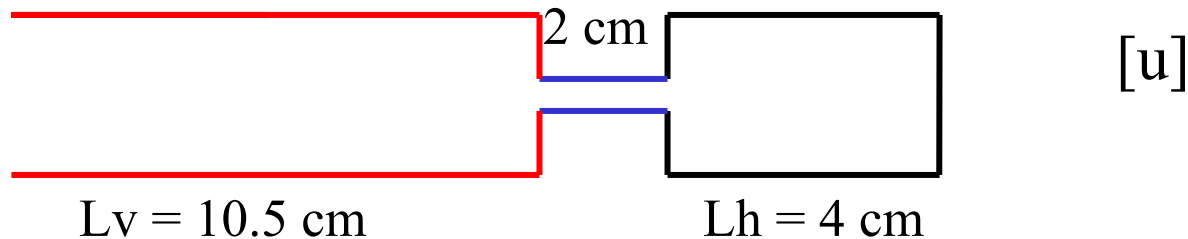
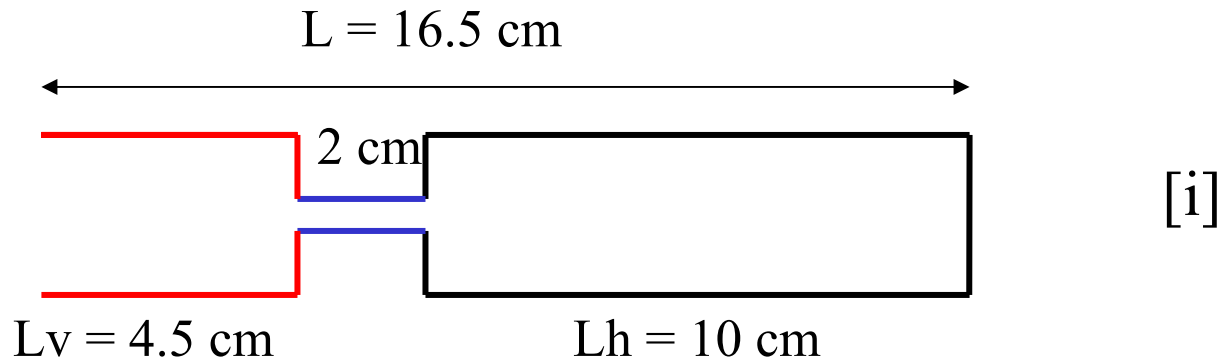
Hinterrohr-Querschnittsfläche = 4 cm^2



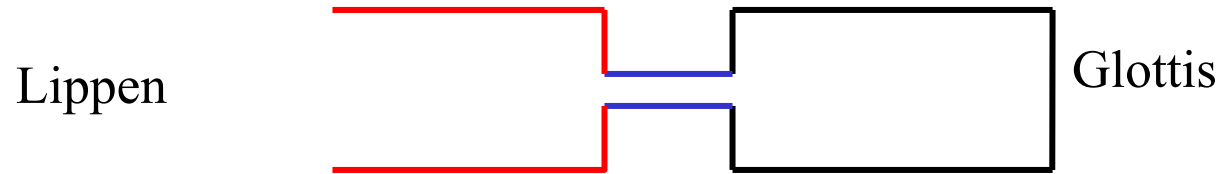
Drei-Rohr Modell: Veränderliche Parameter

Die Länge vom Hinterrohr L_h

Die Länge vom Vorderrohr, L_v wird dementsprechend geändert, **sodass die Gesamtlänge vom Vokaltrakt, L , bei 16.5 cm konstant bleibt**



Formantberechnung in einem Dreirohrmodell



Die Formantwerte können aus der Zusammensetzung von drei Rohrsystemen modelliert werden, angenommen dass, der Ein- und Ausgang zum Verengungsrohr klein ist

1. Hinterrohr: ein Rohr an beiden Enden geschlossen



2. Hinter- und Verengungsrohr zusammen: **Helmholtzresonator** (Physiker: Hermann von Helmholtz)



3. Vorderrohr: Rohr hinten geschlossen, vorne offen



1. Hinterrohr

Formanten in einem Rohr, an beiden Enden geschlossen

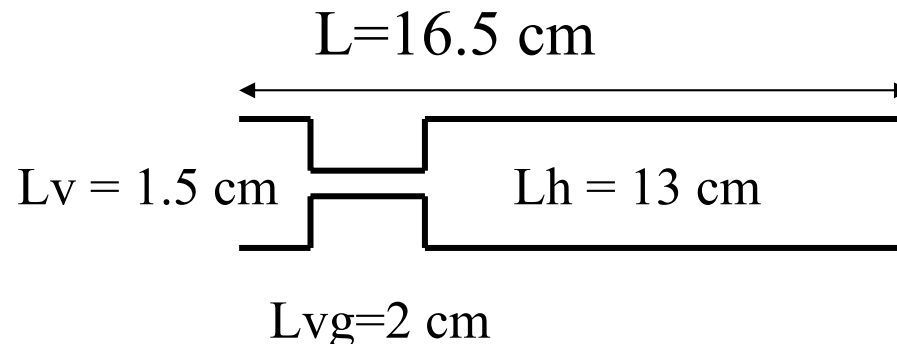
$$F_{nh} = \frac{nc}{2Lh} \text{ Hz}$$

n : die Formantnummer

c : die Schallgeschwindigkeit

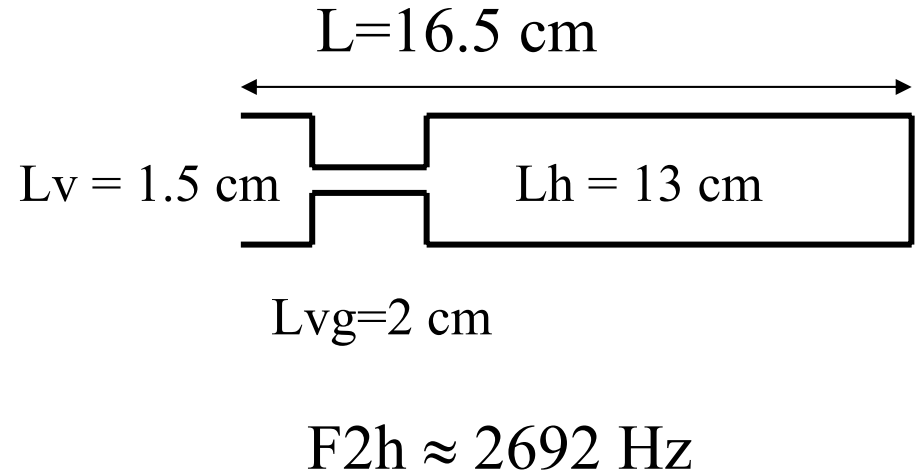
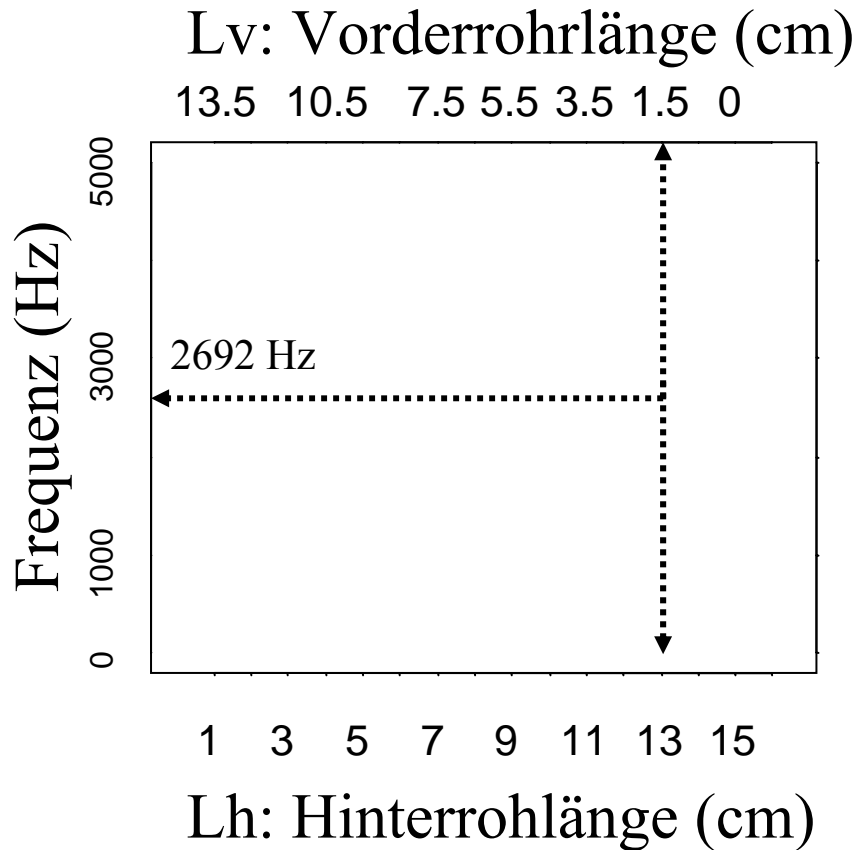
Zum Beispiel für F2 im Hinterrohr für $Lh = 13 \text{ cm}$

$$F_{2h} = \frac{2 \times 35000}{2 \times 13} \approx 2692 \text{ Hz}$$



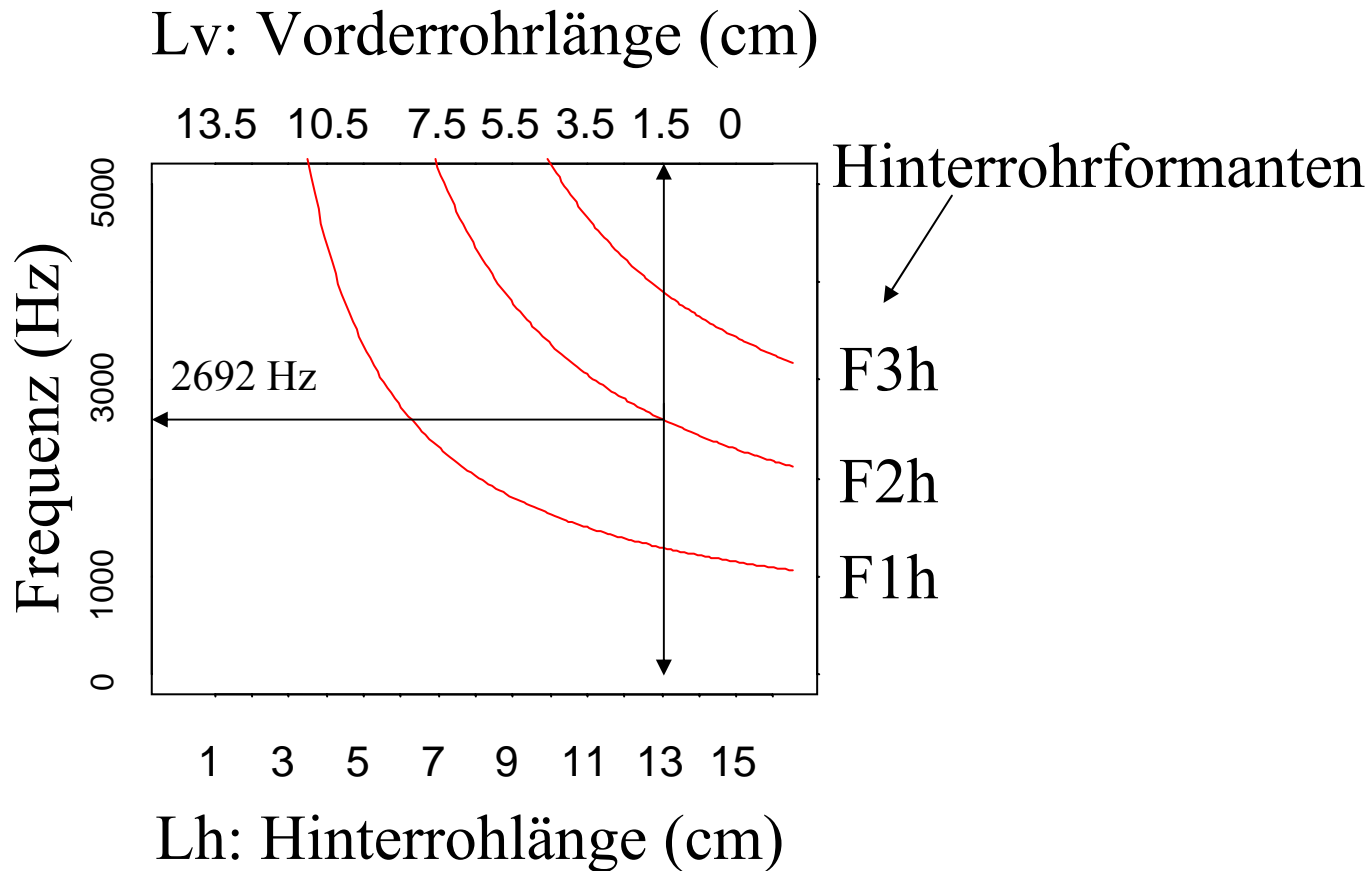
Nomogramm vom Hinterrohr

Nomogramm: Eine Abbildung, in der gleichzeitig mehrere Skalen gezeigt wird

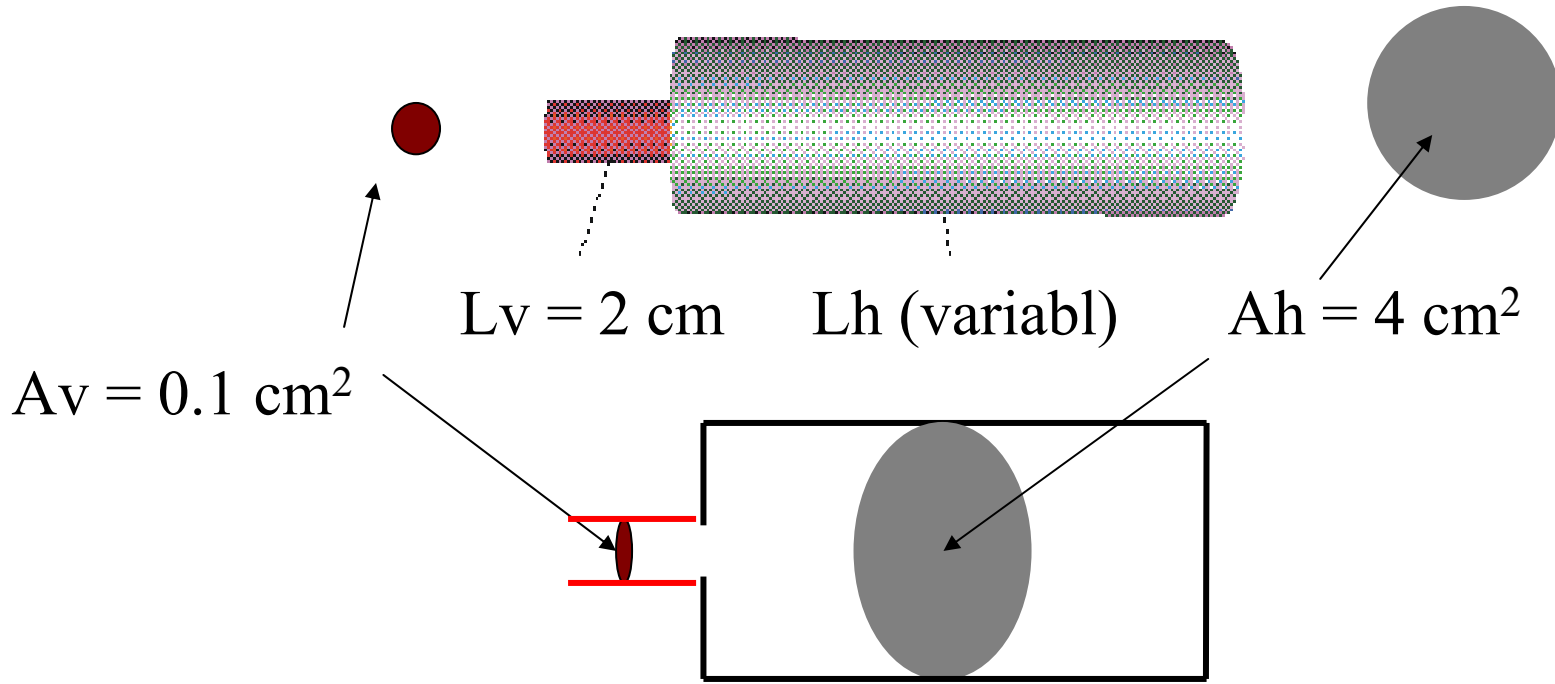


Nomogramm vom Hinterrohr (fortgesetzt)

Damit wir den Einfluss der Hinterrohrlänge auf die Formanten feststellen können, wird F1-F3 für das Hinterrohr für **alle möglichen Lh-Werte** berechnet



2. Helmholtzresonator



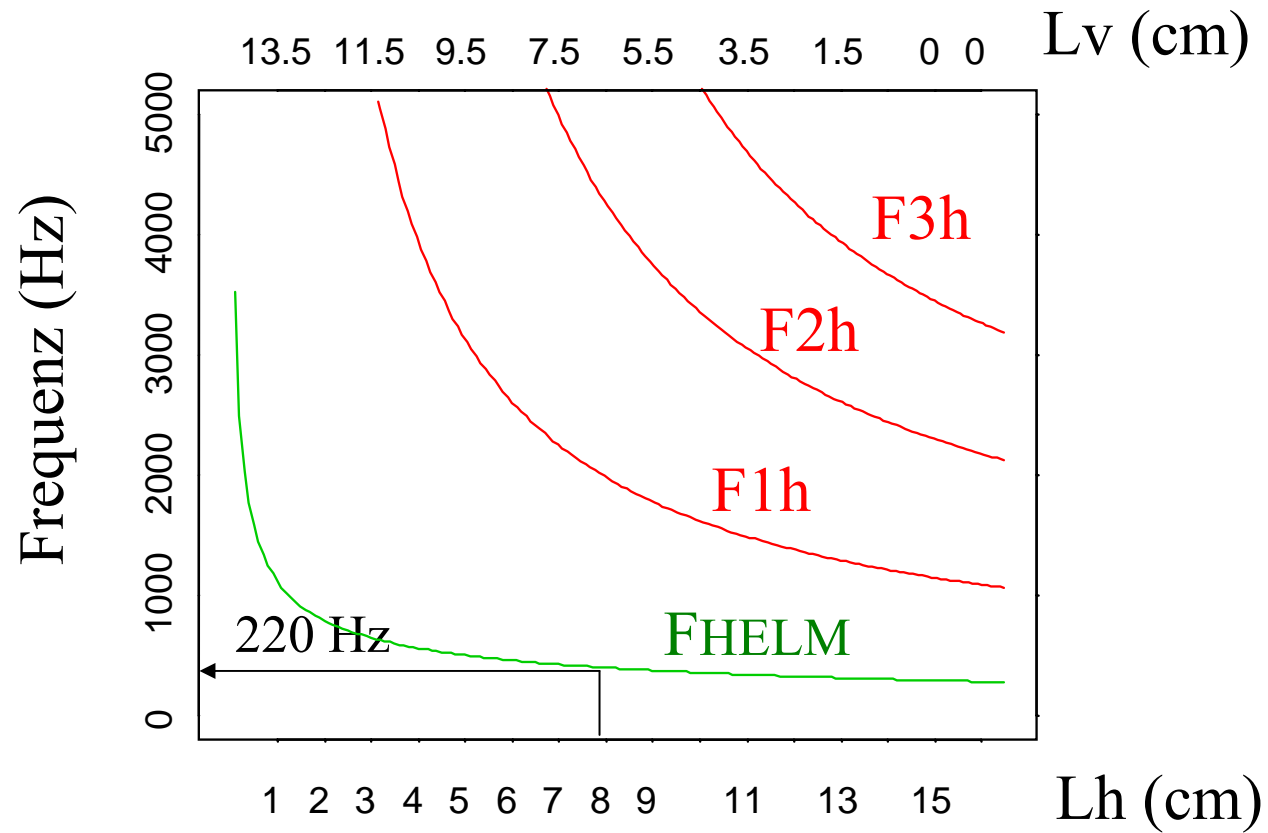
$$F_{\text{HELM}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A_v}{L_h \times A_h \times L_v}} \text{ Hz}$$

($\pi = 3.141593..$)

zB für $L_h = 8 \text{ cm}$

$$F_{\text{HELM}} = \frac{35000}{2 \times \pi} \sqrt{\frac{0.1}{8 \times 4 \times 2}} \text{ Hz} \approx 220 \text{ Hz}$$

Nomogramm vom Hinterrohr und Helmholtzresonator



3. Vorderrohr

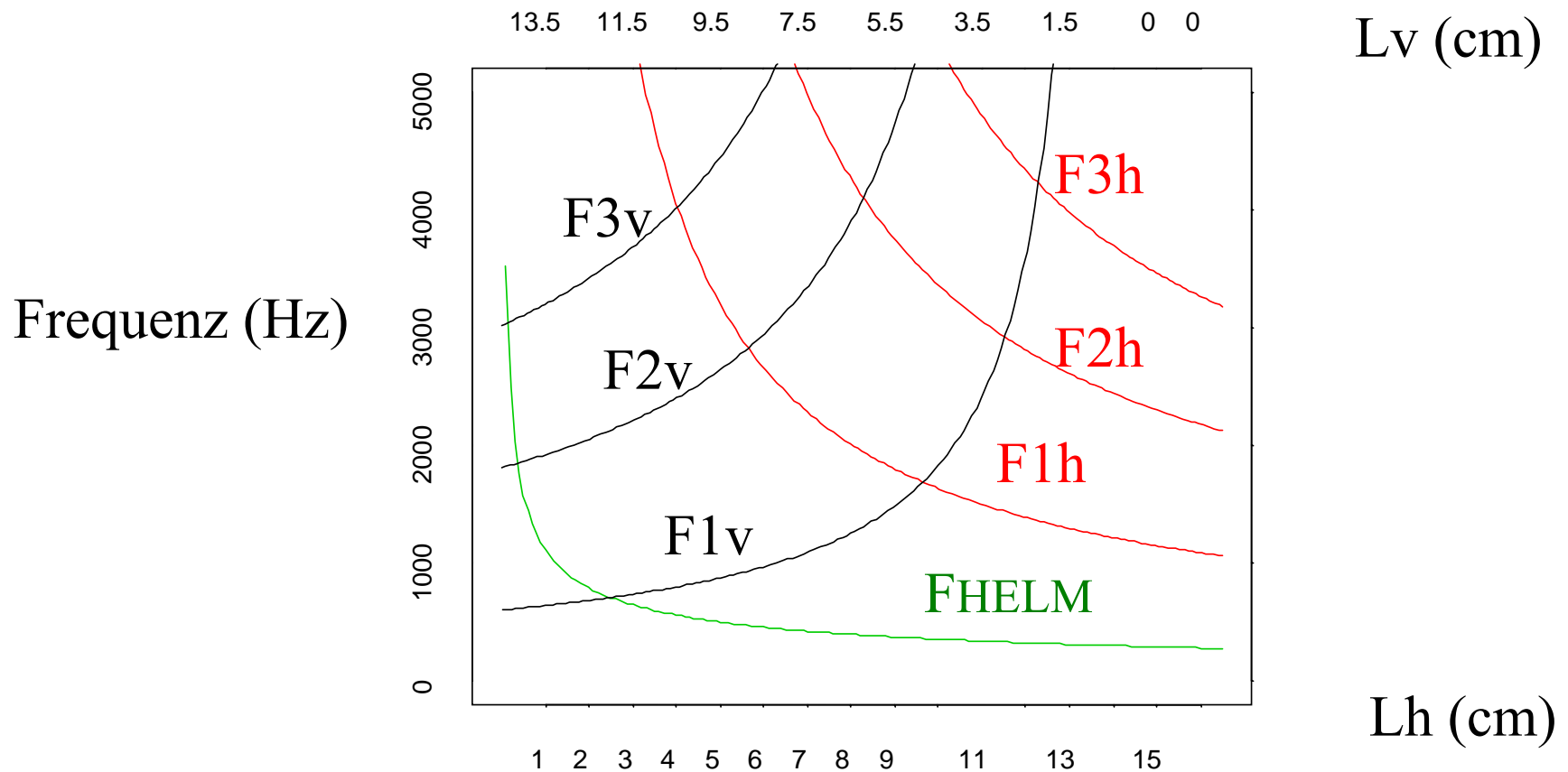
Rohr hinten geschlossen, vorne offen:

$$F_{nv} = \frac{c}{\frac{4}{2n-1} L_v} \text{ Hz}$$

zB was ist F_{1v} , wenn $L_v = 6.5 \text{ cm}$?

$$F_{1v} = \frac{35000}{\frac{4}{2-1} 6.5} \text{ Hz} \approx 1346 \text{ Hz}$$

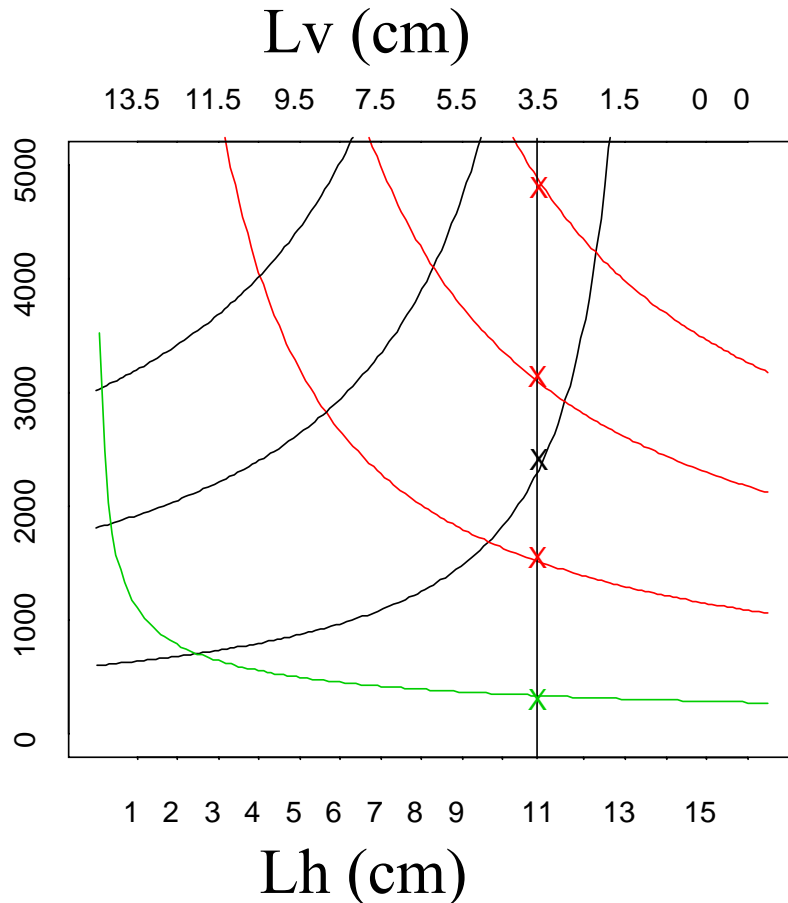
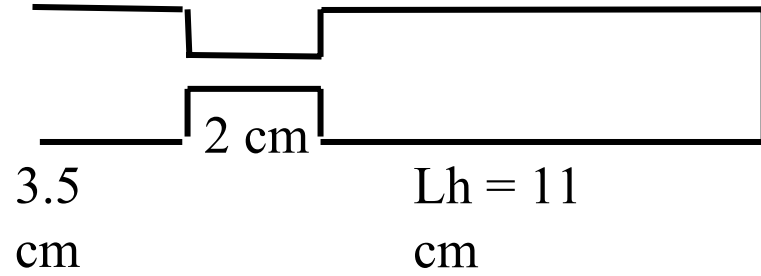
Nomogramm: Alle 3 Röhre zusammen



Die tatsaechlich vorkommenden Formanten in einem Drei-Rohr-System lassen sich aus den unteren n Formanten von allen Röhren erstellen...

Formanten in einem Dreirohrsystem

Was sind F1-F5 für dieses
3-Rohr-System?



$$F5 (=F3h) = 4773 \text{ Hz}$$

$$F4 (=F2h) = 3182 \text{ Hz}$$

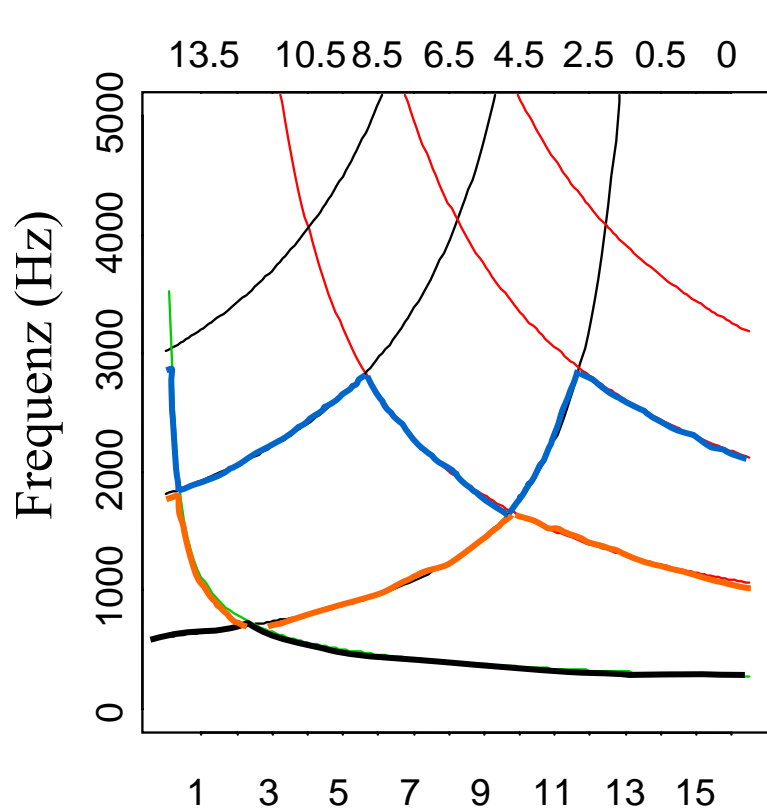
$$F3 (=F1v) = 2500 \text{ Hz}$$

$$F2 (=F1h) = 1591 \text{ Hz}$$

$$F1 (=FHELM) = 188 \text{ Hz}$$

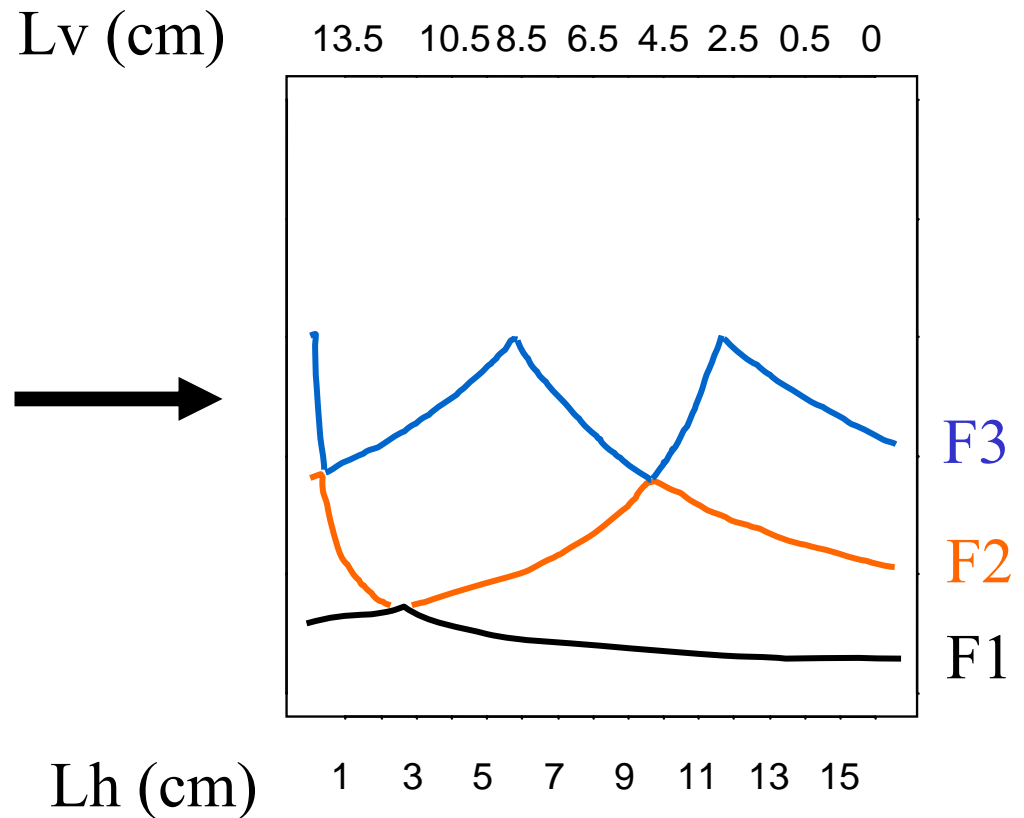
Nomogramm: Drei-Rohr-System

Individuelle Röhre



L_v (cm)

Drei-Rohr-System



L_h (cm)

F3

F2

F1

Quantal-Theorie der gesprochenen Sprache

(K. Stevens, MIT. Siehe *Journal of Phonetics*, 1989)

1. Die Beziehung zwischen Produktion und Akustik der Sprache ist **nicht-linear**.

2. Die Nicht-Linearität hat **Quantalgebiete** zur Folge.

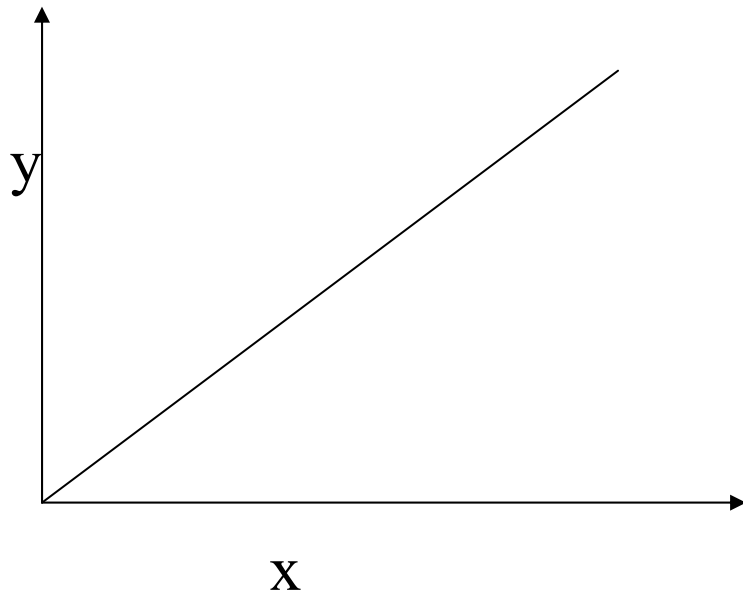
(Quantalgebiet: grosse artikulatorische Änderung, kaum eine akustische Änderung).

3. Sprachen bevorzugen Laute aus unterschiedlichen Quantalgebieten.

1. Nicht-Linearität

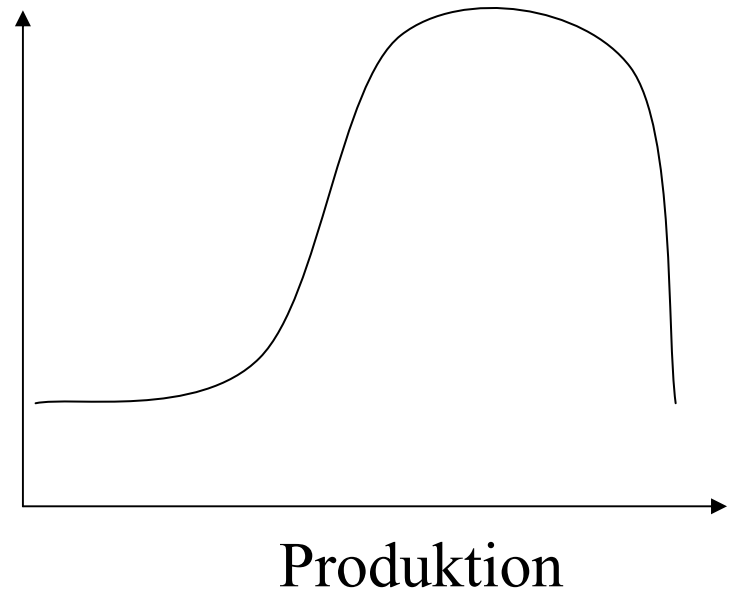
Linear

Die Änderung von x und y sind im linearen Verhältnis zueinander



Nicht-linear

Akustik

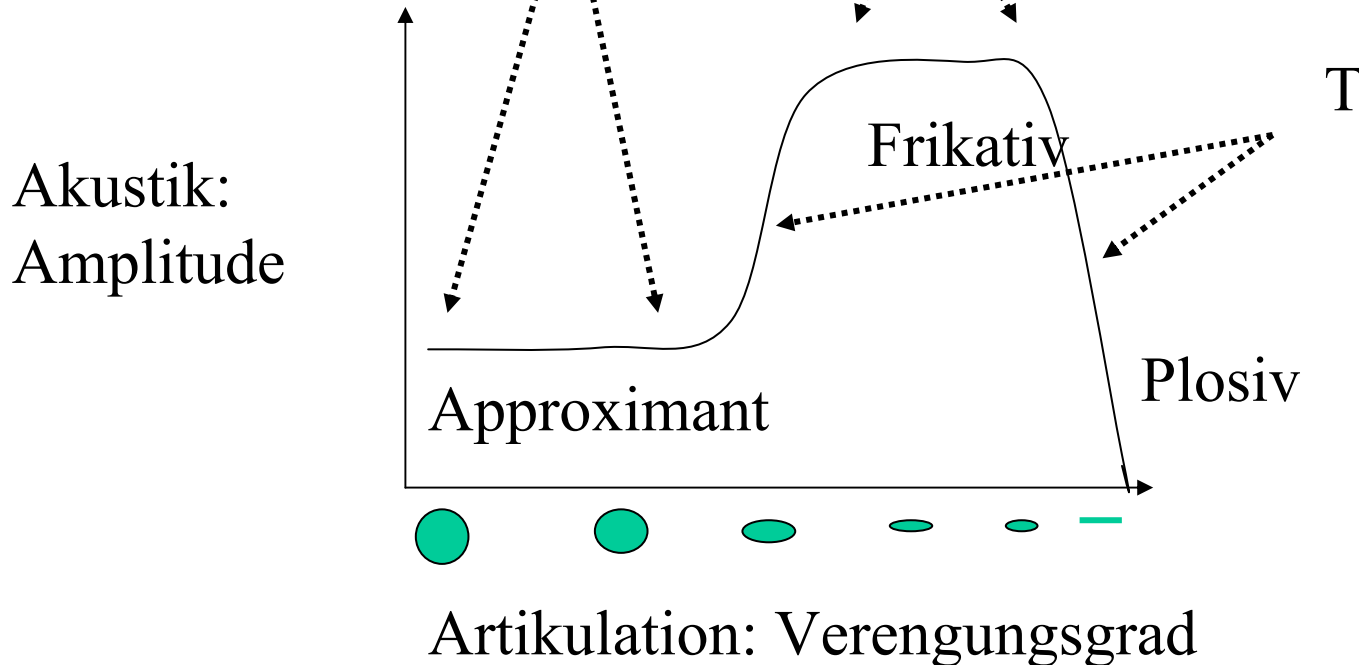


2. Nicht-Linearität und Quantalgebiete

Nicht-Linearität hat Quantal-Gebiete zur Folge

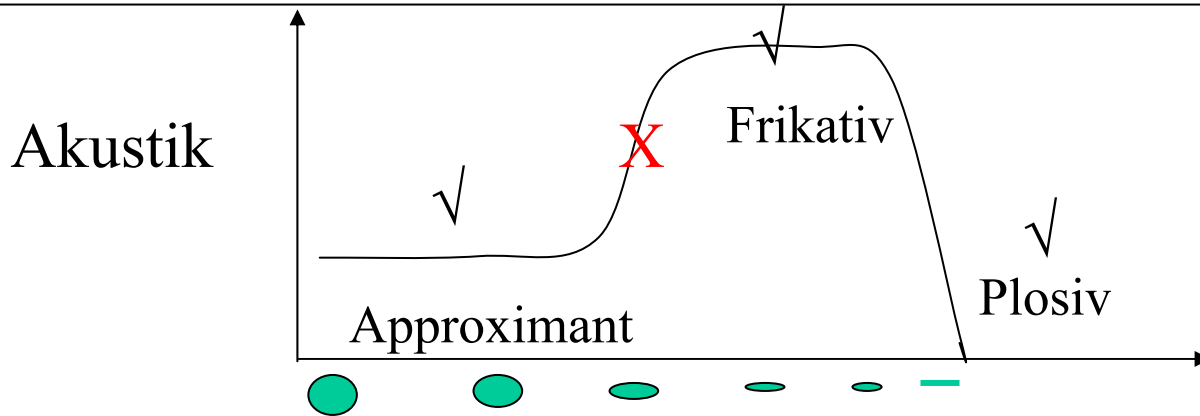
Q: Innerhalb eines Q-Gebiets verursachen **große** artikulatorische Änderungen **kaum** eine akustische Änderung

T (Transition): eine **kleine** artikulatorische Änderung verursacht eine **bedeutende** akustische Änderung



3. Bevorzugte Laute

Sprachen bevorzugen Laute aus **unterschiedlichen** Q-gebieten



Vorteilhaft für den Sprecher

Der Sprecher muss nicht innerhalb eines Q-Gebietes auf eine präzise Weise sprechen, weil hier artikulatorische Änderungen kaum akustische Änderungen zur Folge haben

Vorteilhaft für den Hörer

Laute aus unterschiedlichen Q-Gebieten sind **akustisch recht distinktiv** (zB Approximant vs. Frikativ vs Plosiv).

Inwiefern sind Vokale quantal?

Akustische-Artikulatorische Beziehungen in Vokalen

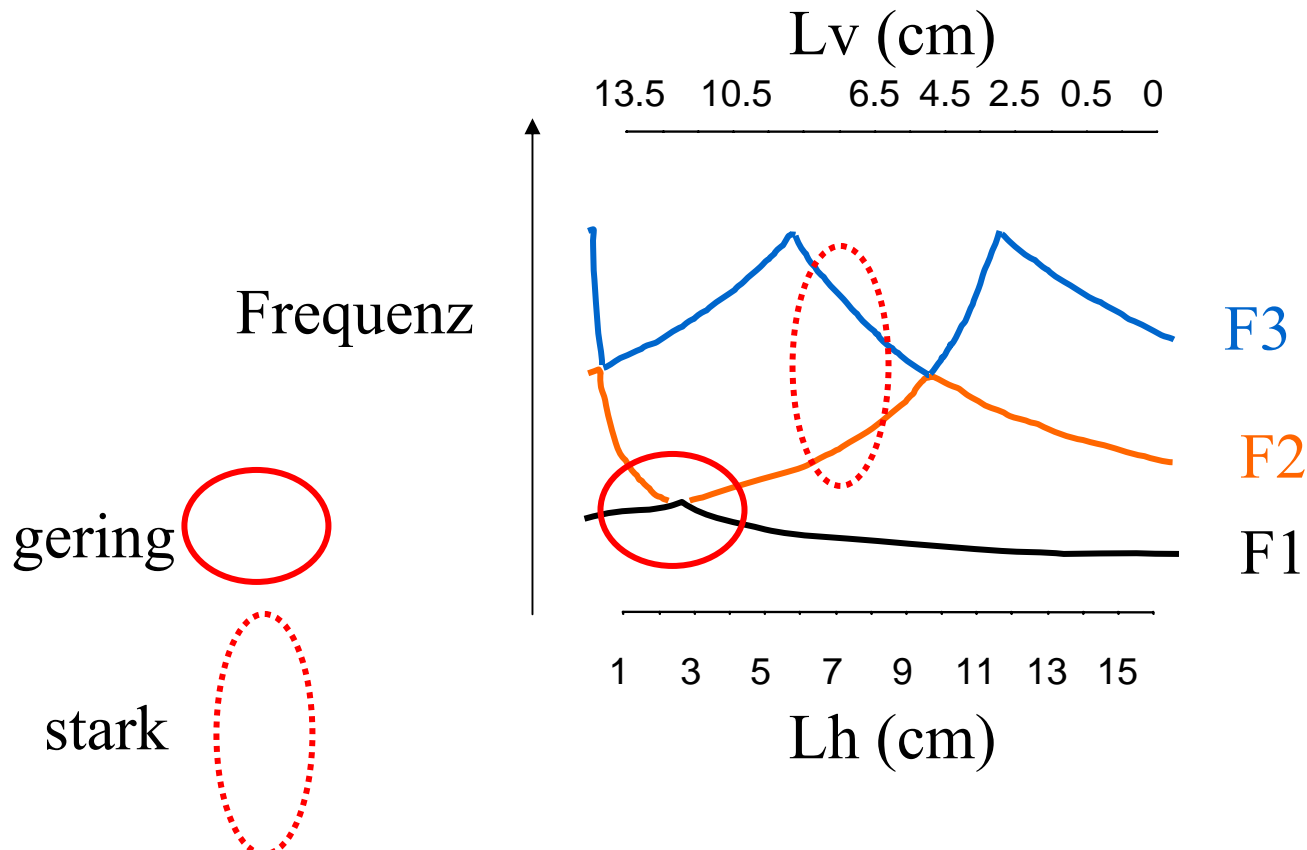
Ein Ueberblick vom 3 Rohren-System

Vorderrohr, Helmholzresonator,
Hinterrohr und deren Beitraege zur
Sprachakustik.

1. Vokale und Nicht-Linearität

Die Beziehung zwischen Artikulation und Akustik der Vokale ist nicht-linear, weil:

Kontinuierliche Änderung in den Rohrlängen manchmal eine geringe, manchmal eine starke Änderung der Formanten zur Folge haben

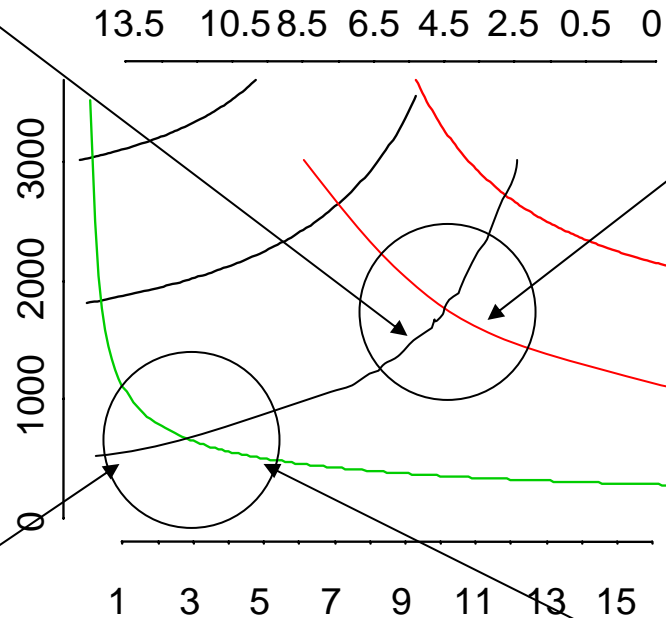


2. Q-Gebiete in Vokalen

Quantalgebiete gibt es an Stellen, wo die Assoziation zwischen Röhren und Formanten **wechselt**

F2 = F2 Vorderrohr

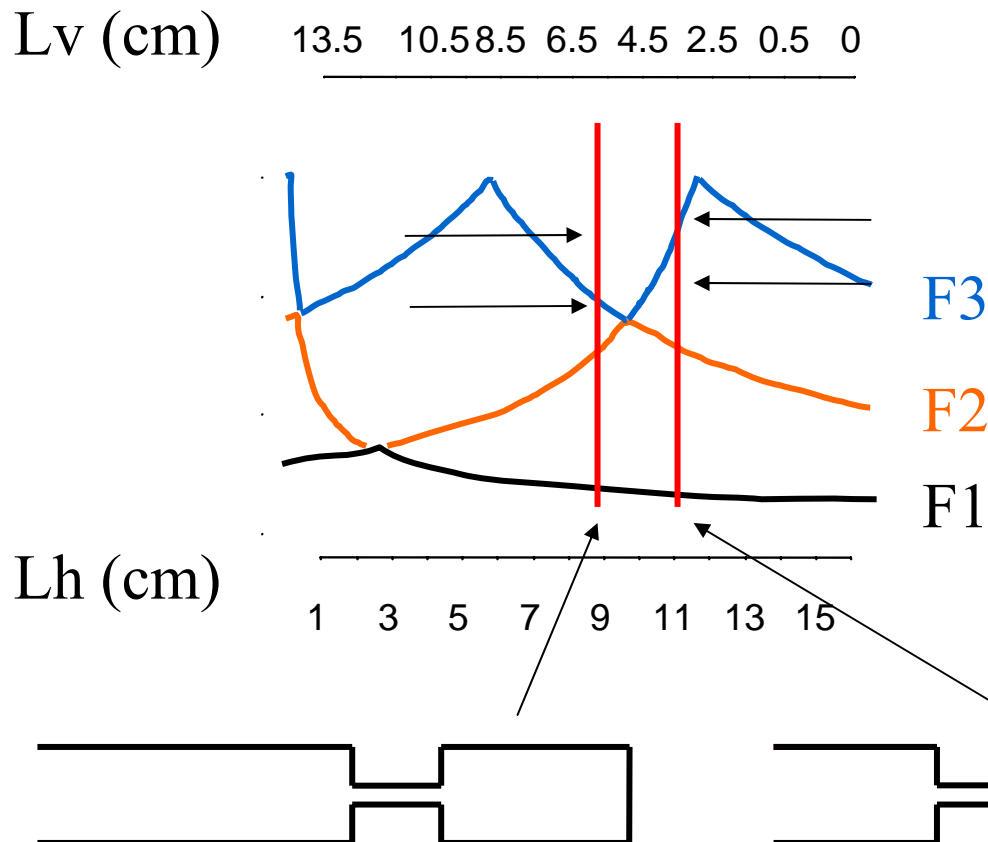
F2 = F2 Hinterrohr



F1 = F1 Vorderrohr

F1 = F1 HELM

Wegen dieser Wechselung zwischen Röhren und Formanten haben in diesen Bereichen **unterschiedliche** Vokaltraktgestaltungen fast die **selben** Formantwerte (und sind daher Q-Gebiete)



3. Q-Gebiete und bevorzugte Vokale

Die Häufigkeit von [i] und [u] in den Sprachen der Welt kann durch die Q-Theorie erklärt werden:

