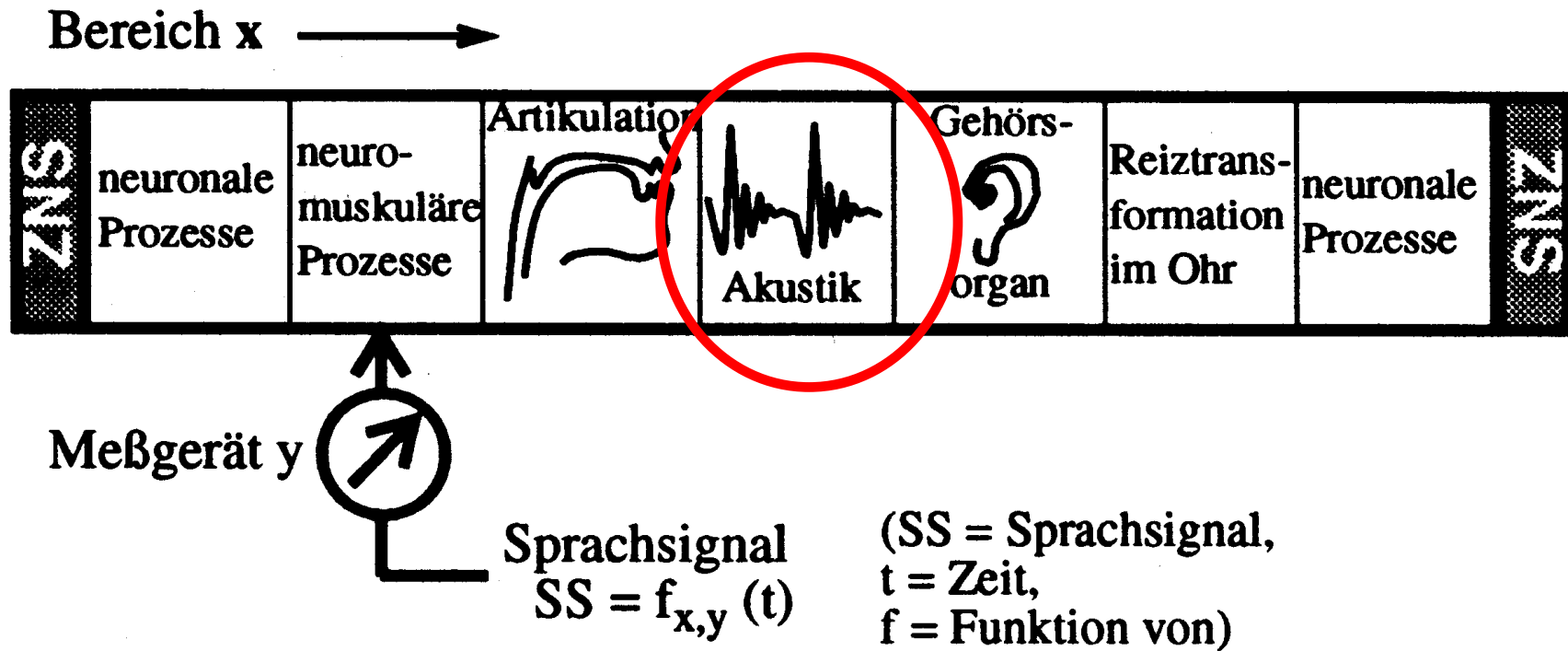


# Akustische Phonetik

Uwe Reichel, Phil Hoole

*IPS, LMU München*

# Phonetische Vorgänge



*Die Bereiche des 'signalphonetischen Bandes'  
Aus Pompino-Marschall (1995), Abb. 2, S. 14*

# Inhalt

- **Teil I: Allgemeine Akustik und Schwingungslehre**
  - Schwingungen und Wellen
  - Möglichkeiten der Schalldarstellung
- **Teil II: Sprachschall**
  - Quelle-Filter-Theorie
  - Akustische Beschreibung einiger Lautklassen

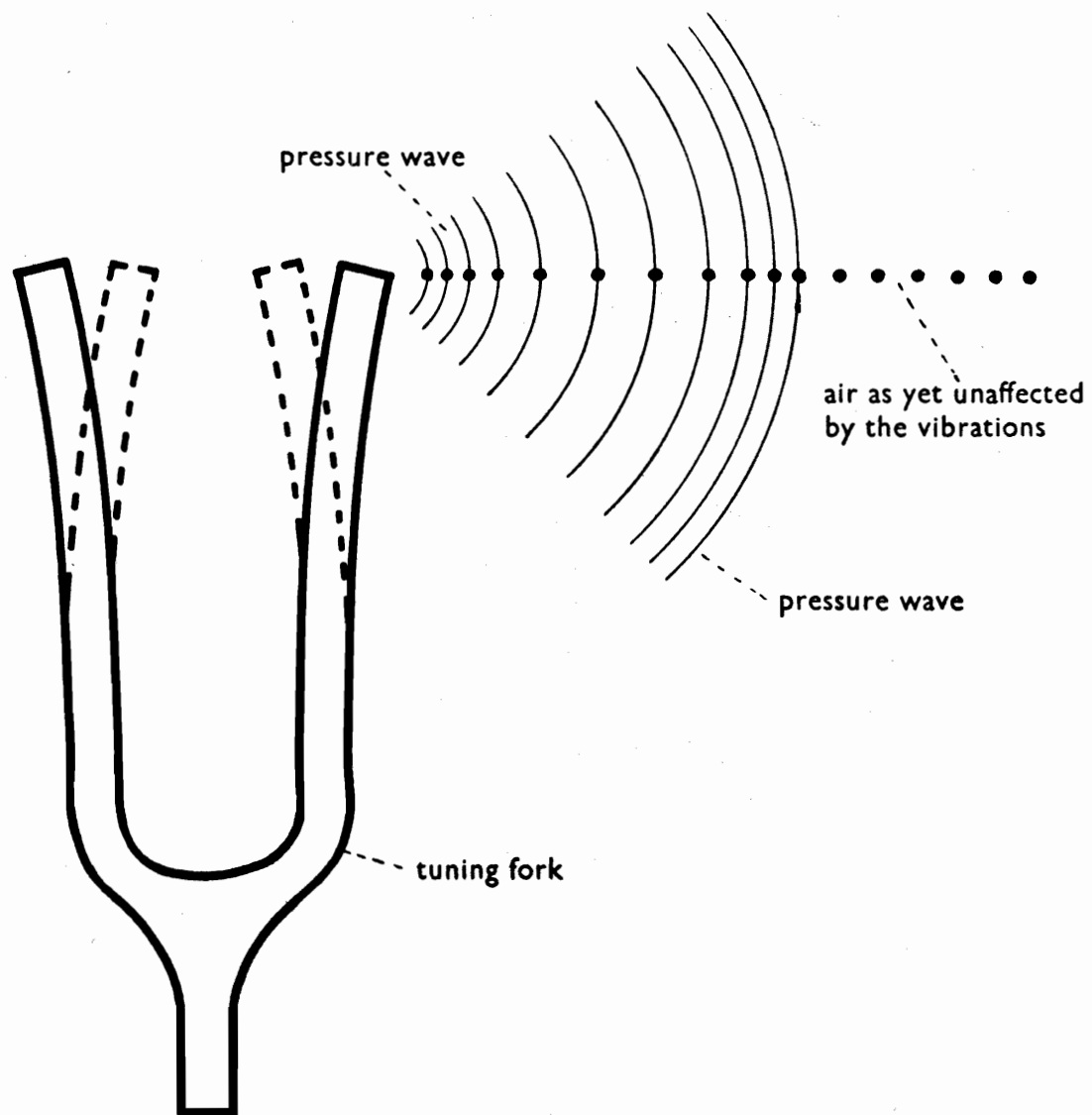
# Schwingungen und Wellen

## Schall

- Ausbreitung von lokalen **Druckschwankungen** in Form einer **Welle**
- Druckschwankungen werden als **Schwingung** behandelt

## Schwingung

- **zeitlicher Verlauf** einer Druckschwankung in einem **festen Raumpunkt**
- **Kenngößen:**
  - **Frequenz:** Anzahl der Schwingungsdurchgänge (Perioden) pro Sekunde, in Hertz (Hz); Periodendauer =  $1/\text{Frequenz}$
  - **Amplitude:** vertikaler Abstand zur Zeitachse; in Pascal (Pa, absolute Skala) oder Dezibel (dB, logarithmische Verhältnisskala)
  - **Phase:** horizontale Verschiebung der Schwingung

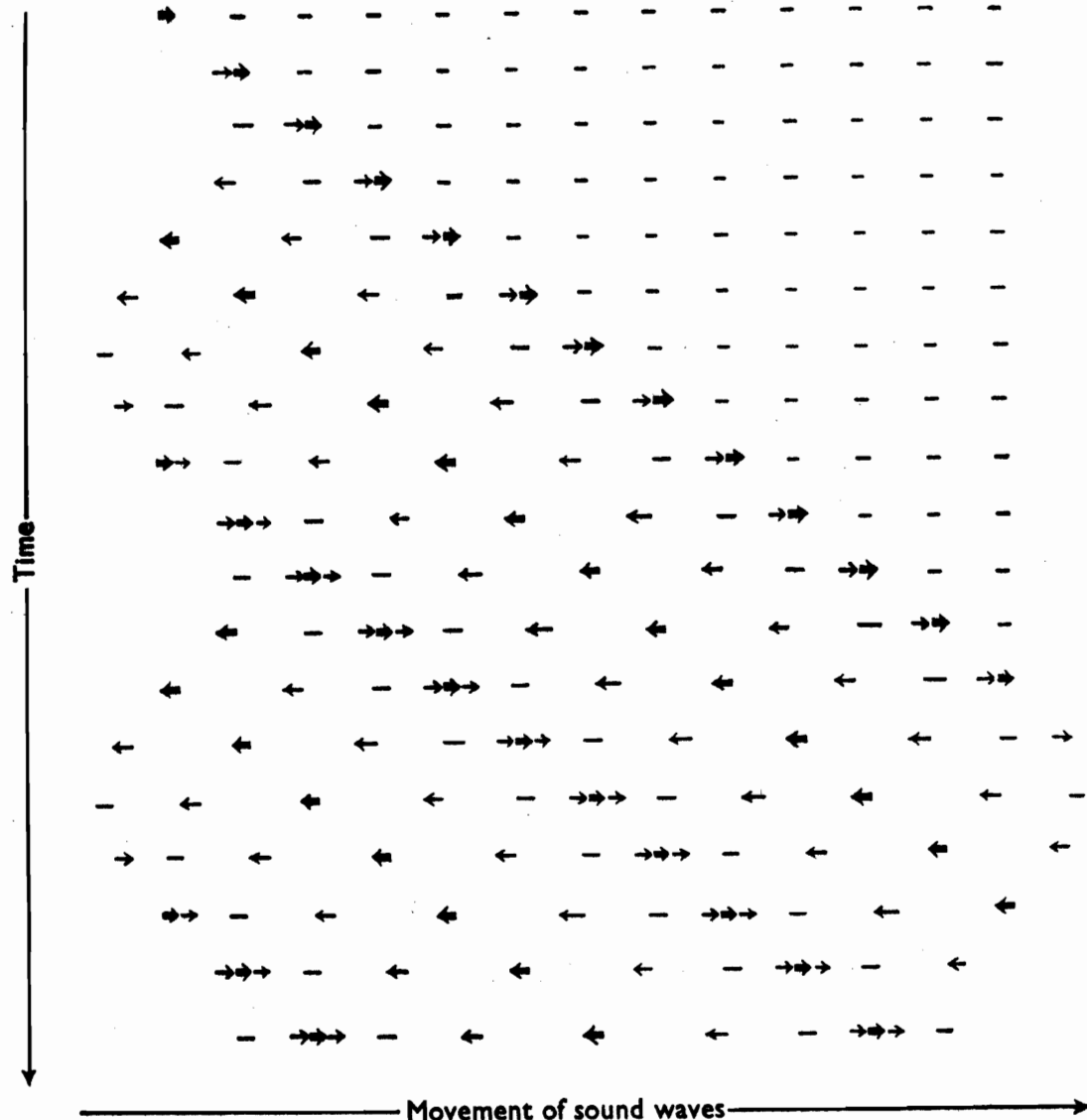


Eine schwingende Stimmgabel führt zu lokalen Luftdruckschwankungen (Schalldruck), die sich fortpflanzen. (aus Ladefoged, 1962, Fig. 1.2)

Abb. 1a

emittieren

Time



movement of sound waves

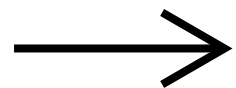
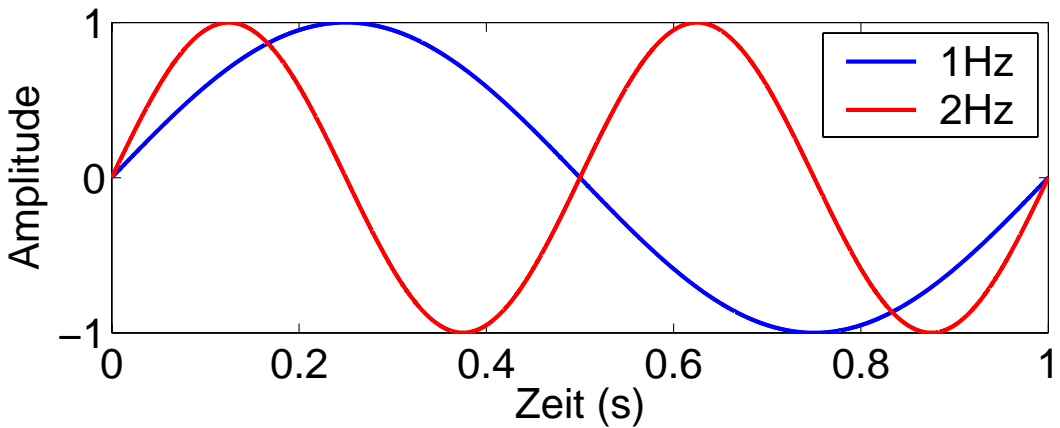


Abb. 1b

Bewegung der Luftmoleküle im Zuge der fortschreitenden Welle  
(aus Ladefoged, 1962, Fig. 1.3)





## Frequenz:

Wieviele Perioden passen in eine Sekunde?

1Hz = einmal

2Hz = zweimal, usw.

Abb. 2

# Möglichkeiten der Schalldarstellung

## 1. Als Zeitsignal (Oszillogramm)

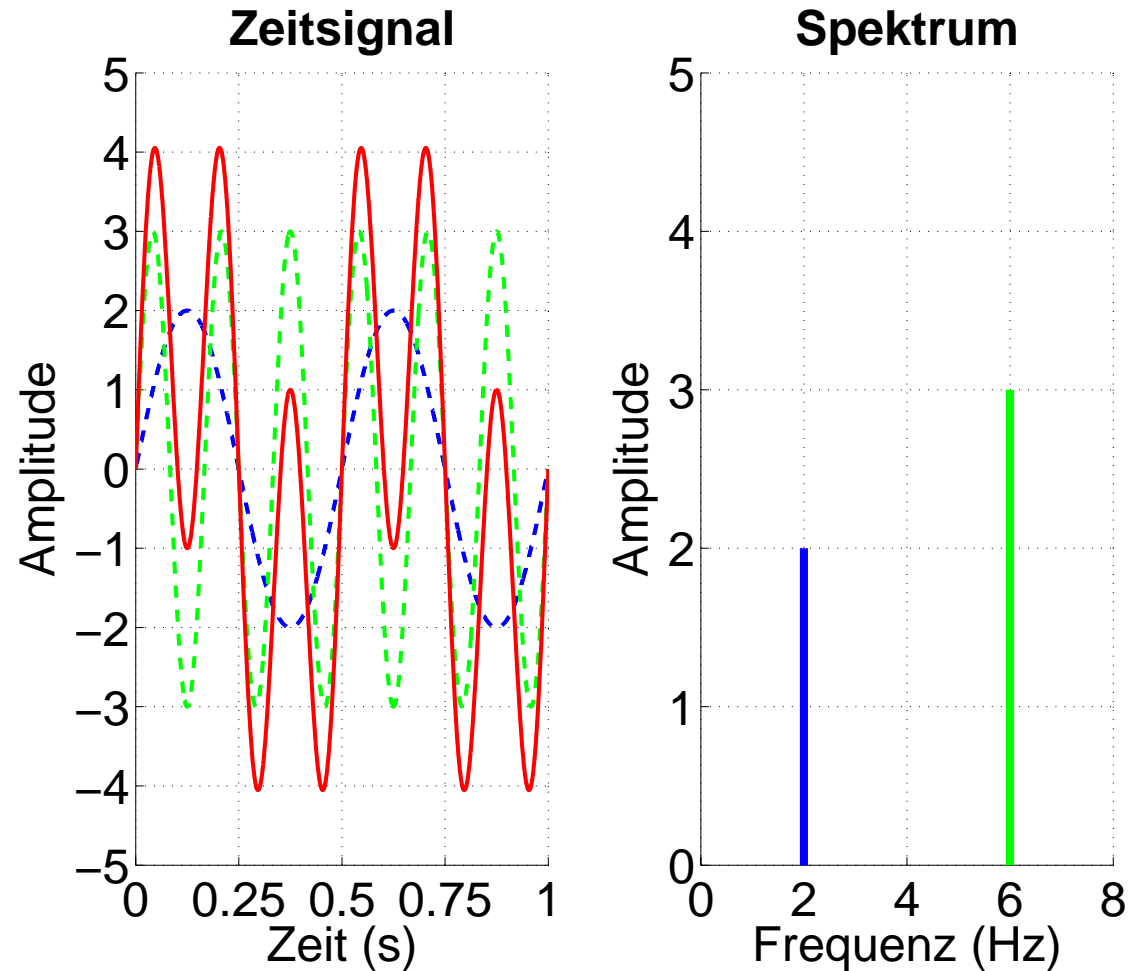
- Amplitude (Schalldruck) als **Funktion der Zeit**
- Ort fest
- vgl. Abbildung 2

## 2. Als Spektrum

- Amplitude als **Funktion der Frequenz**
- Ort und Zeitintervall fest
- Zerlegung **komplexer Schwingungen** in ihre **Teilschwingungen** (*Sinoidalschwingungen*)
- **Fourieranalyse:** Zeitsignal  $\longrightarrow$  Spektrum; Bestimmung der Amplituden (und Phasen) der enthaltenen Sinoidalschwingungen
- **Grundfrequenz  $f_0$ :** größter gemeinsamer Teiler (ggT) der enthaltenen Frequenzen



Abb. 3



Zeitsignal und Spektrum einer komplexen Schwingung (**rot**), als Ergebnis der Addition von zwei Sinoidalschwingungen (**blau**, **grün**). Die Grundfrequenz ist gleich der Frequenz der tiefsten Komponente (genauer: gleich dem GGT der Komponenten).

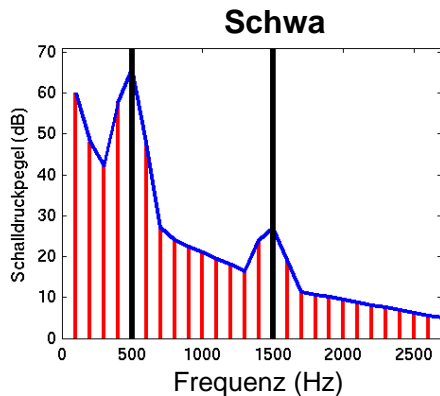
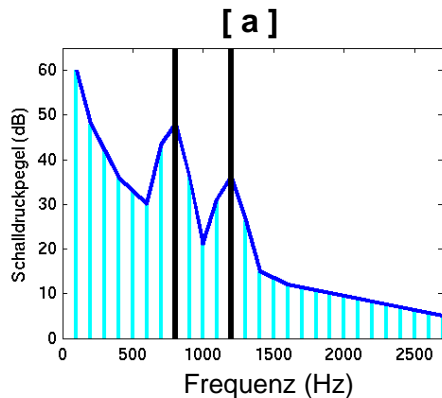
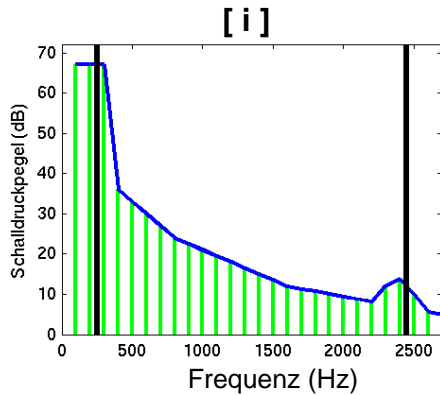
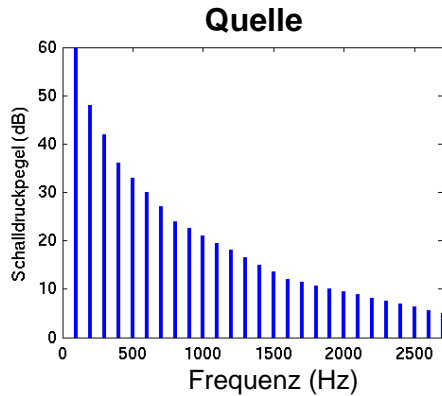
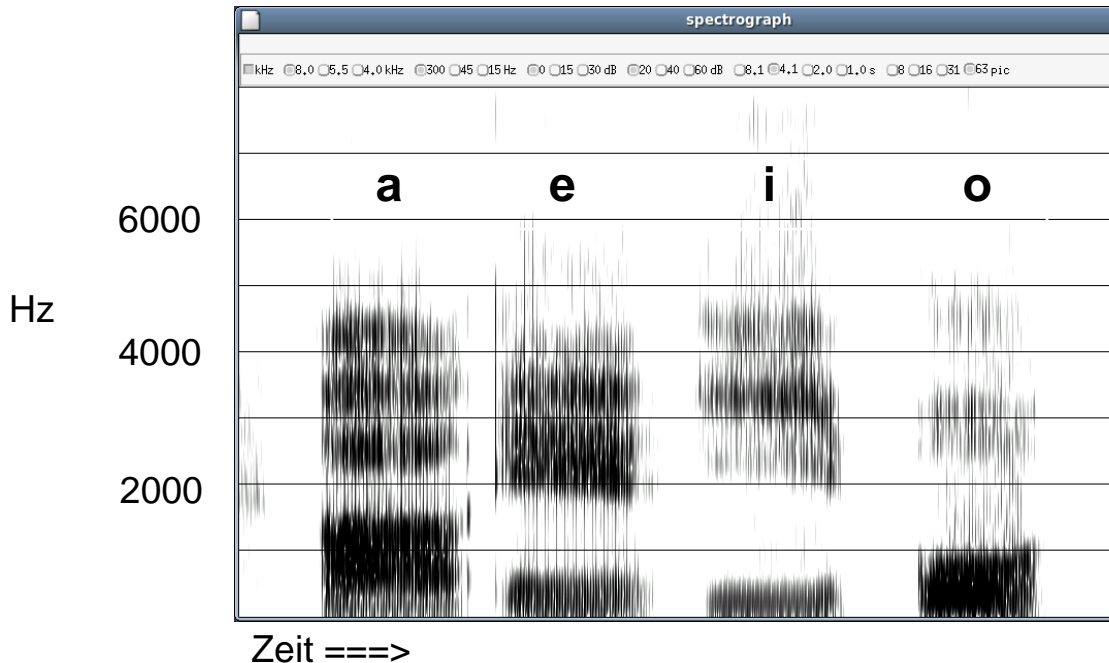


Abbildung 4: Spektren für die Laute [ia@]

### 3. Als Spektrogramm (Sonagramm)

- Amplitude als **Funktion von Frequenz und Zeit**
- x-Achse: **Zeit**
- y-Achse: **Frequenz**
- Schwärzungsgrad: **Amplitude**



# Quelle-Filter-Theorie (Fant, 1960)

**Sprachschall: Rohschall (Quelle)**, der durch einen nachgeschalteten **Resonator (Filter)** verformt wird

## 1. Quelle

- **Schwingung der Stimmlippen: periodische Anregung**

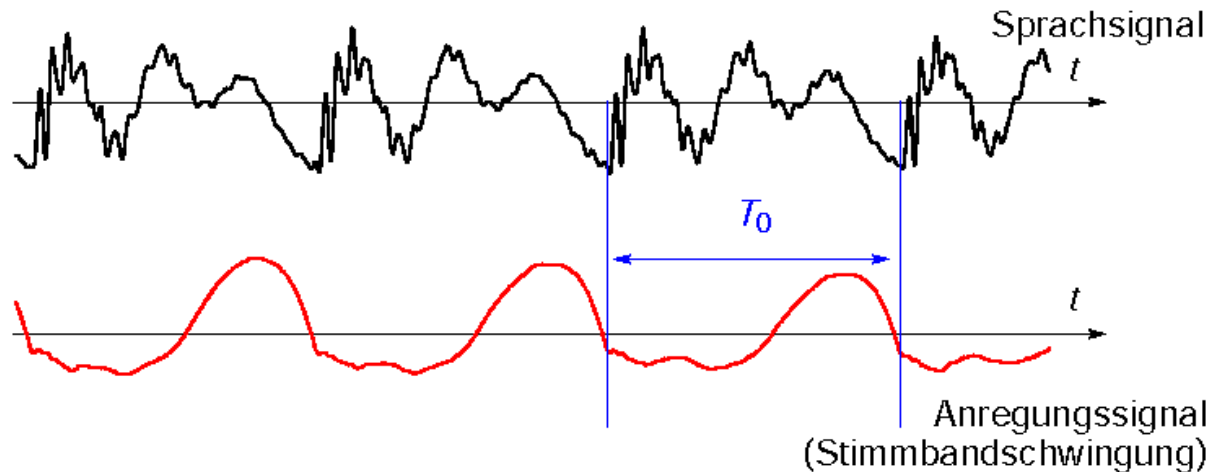


Abbildung 6: Oszillogramm und durch Glottisschläge erzeugtes periodisches Anregungssignal. Das Schließen der Stimmbänder (blaue Linien) markiert den Beginn einer Periode.

- **Artikulatorische Enge (Frikative): Rauschen**

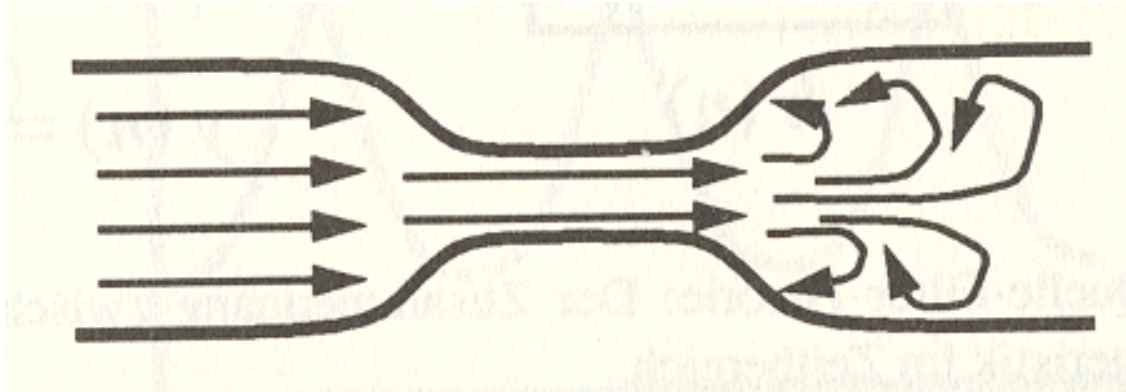


Abbildung 7: Entstehung von Rauschen an Verengungen: Umschlagen der laminaren in eine turbulente Luftströmung.

- **Verschlussprengung (Plosive): transiente Anregung (Impuls)**
- Quellen **kombinierbar**: z.B. Glottis+Enge bei stimmhaften Frikativen

## 2. Filter (Artikulationstrakt)

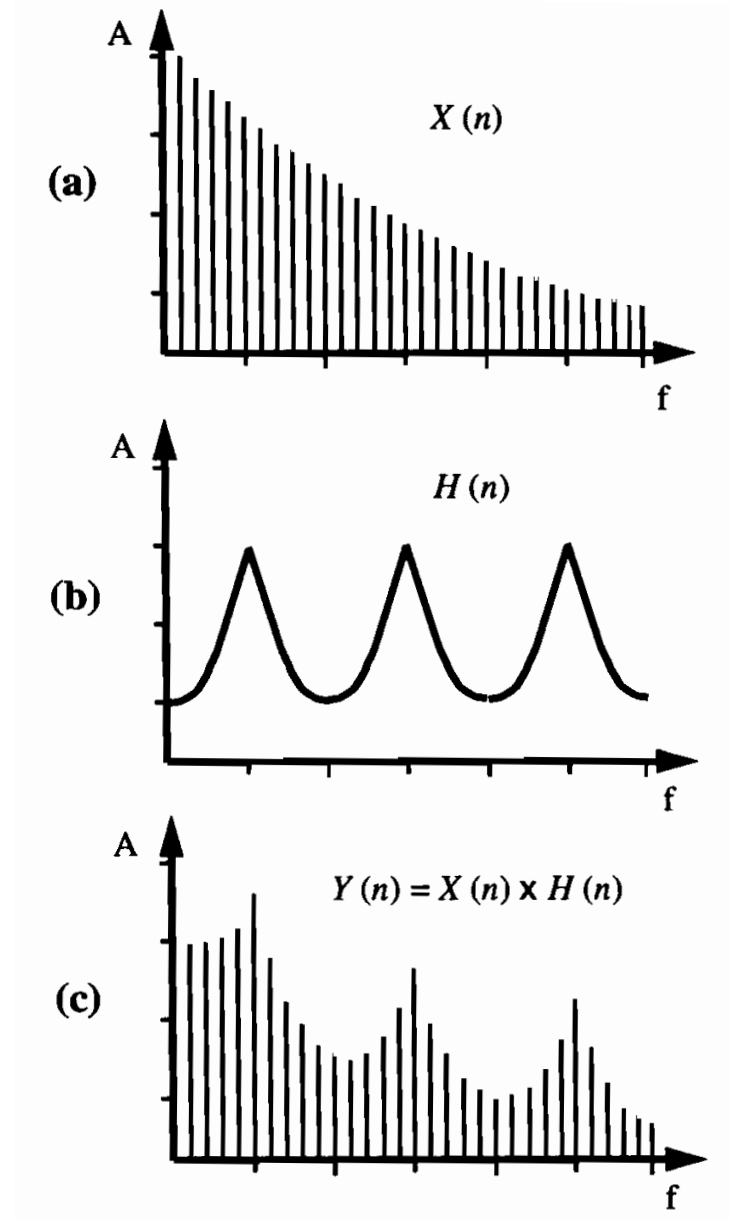
Verknüpfung von Quelle (a) und Filter (b)  
im Frequenzbereich:

Multiplikation des Rohschallspektrums mit  
der Übertragungsfunktion des Filters.

Ergebnis (c): Sprachschall

(n: Index über spektrale Anteile)

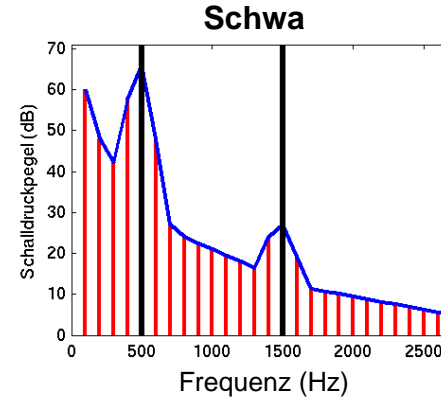
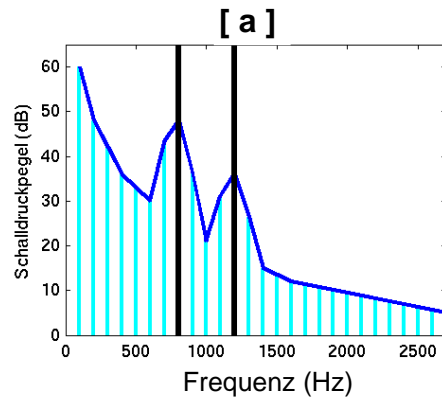
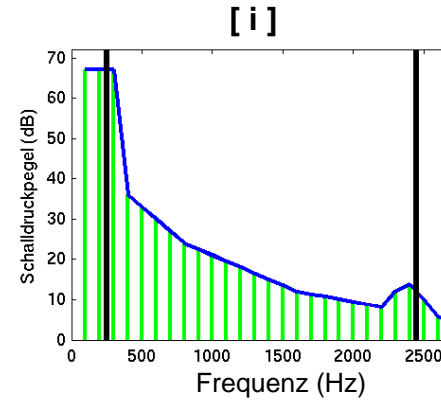
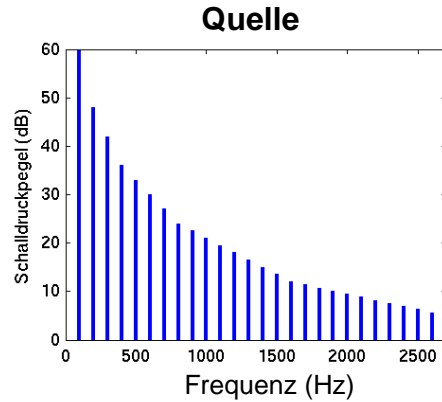
Abb. 51 aus Pompino-Marschall



## 2. Filter (Artikulationstrakt)

- **Verstärkung** von Frequenzbereichen (**Resonanzfrequenzen**) des Quellsignals

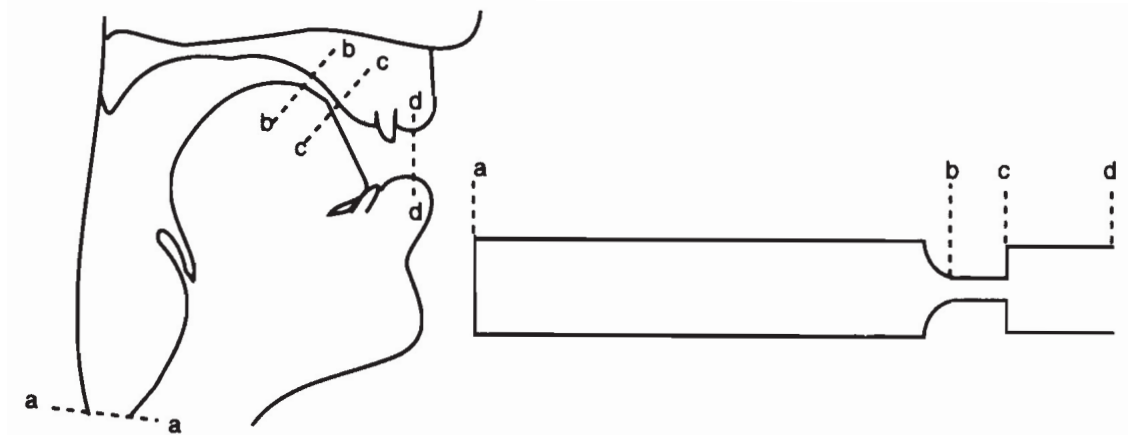
Formanten:  
markiert  
durch  
schwarze  
senkrechte  
Linien



## Formanten:

- Frequenzbereiche erhöhter Energie; abhängig von **resonatorischen Eigenschaften** des Artikulationstrakts
- Artikulationstrakt als Sequenz von akustisch definierten Resonatoren repräsentierbar:





Artikulation des Vokals [i], schematisch als Üohrsystem dargestellt

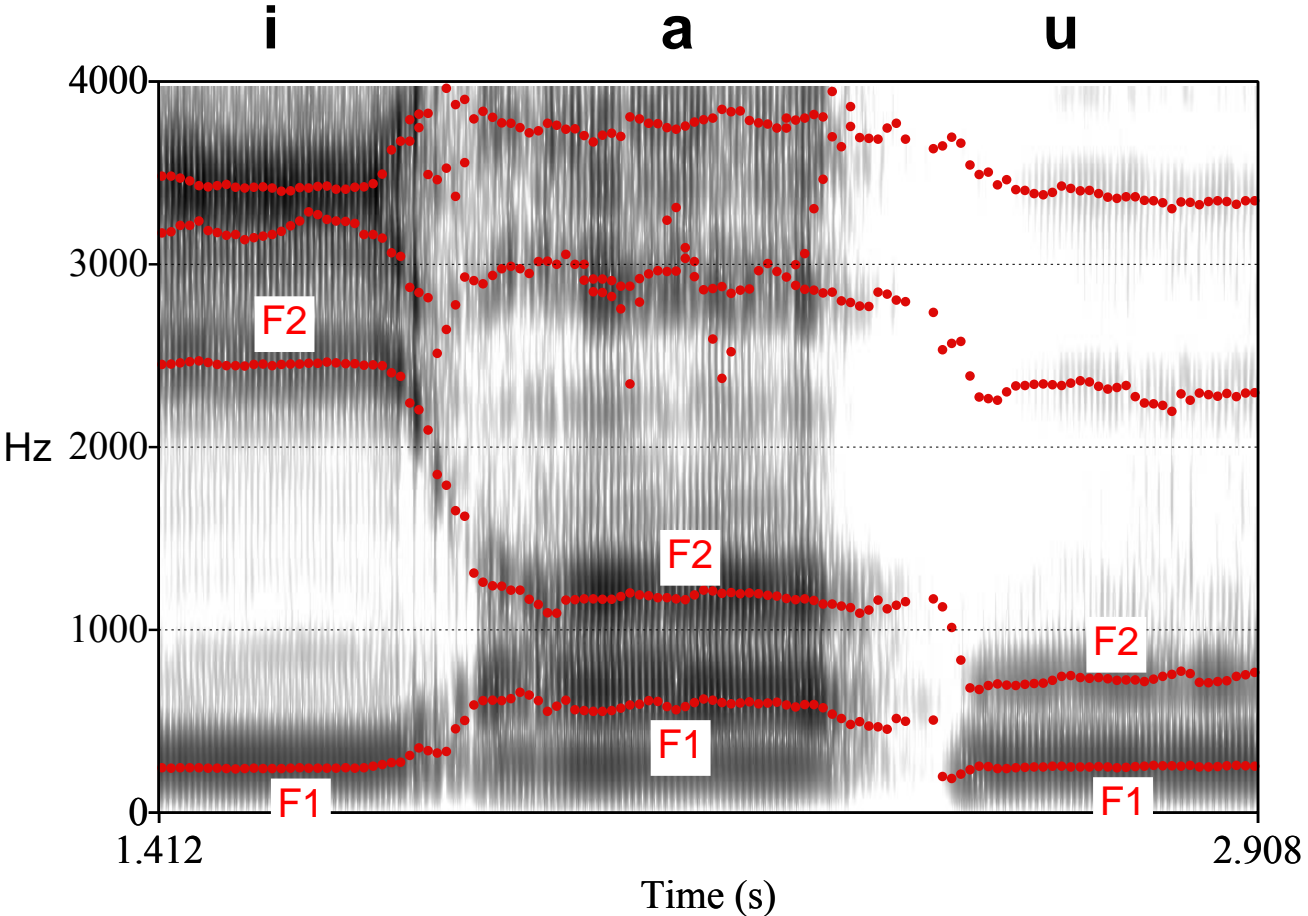
# Akustische Beschreibung einiger Lautklassen

## Orientierung im Sonagramm

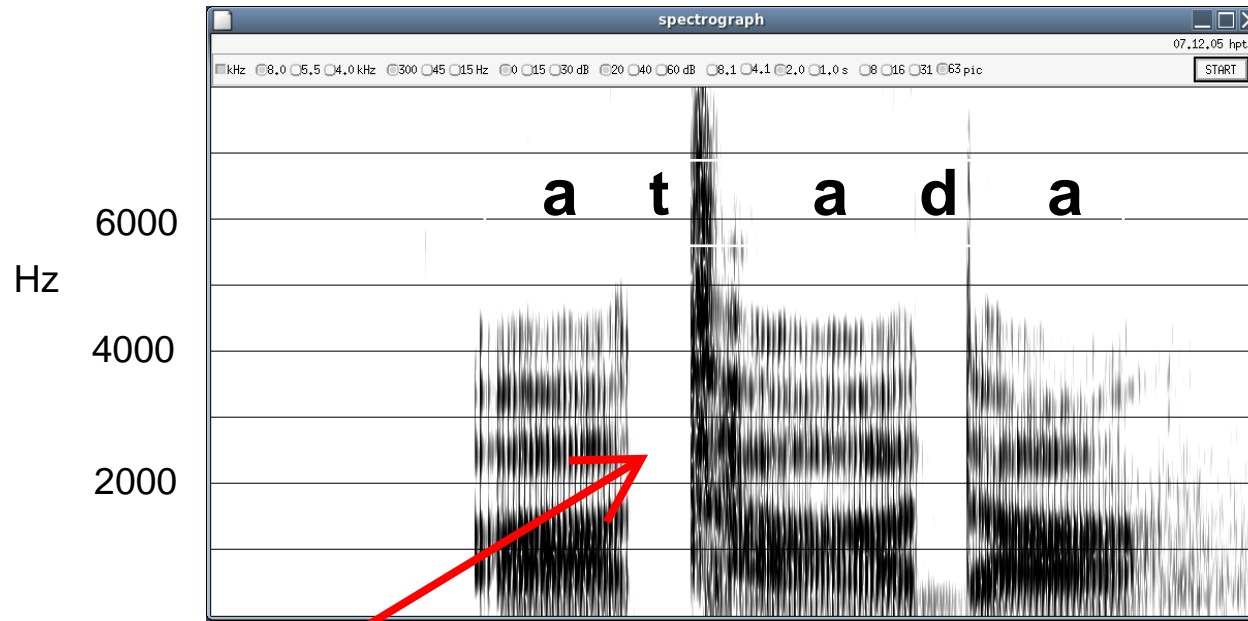
- vertikale Linien (*Amplitudenmodulation*): **Glottisschläge**
- schwarze Balken: **Formanten**; für die Charakteristik von Sprachlauten sind die ersten drei Formanten F1–F3 ausschlaggebend

Praat download: [www.praat.org](http://www.praat.org)

# Vokale: Ausgeprägte Formantstruktur

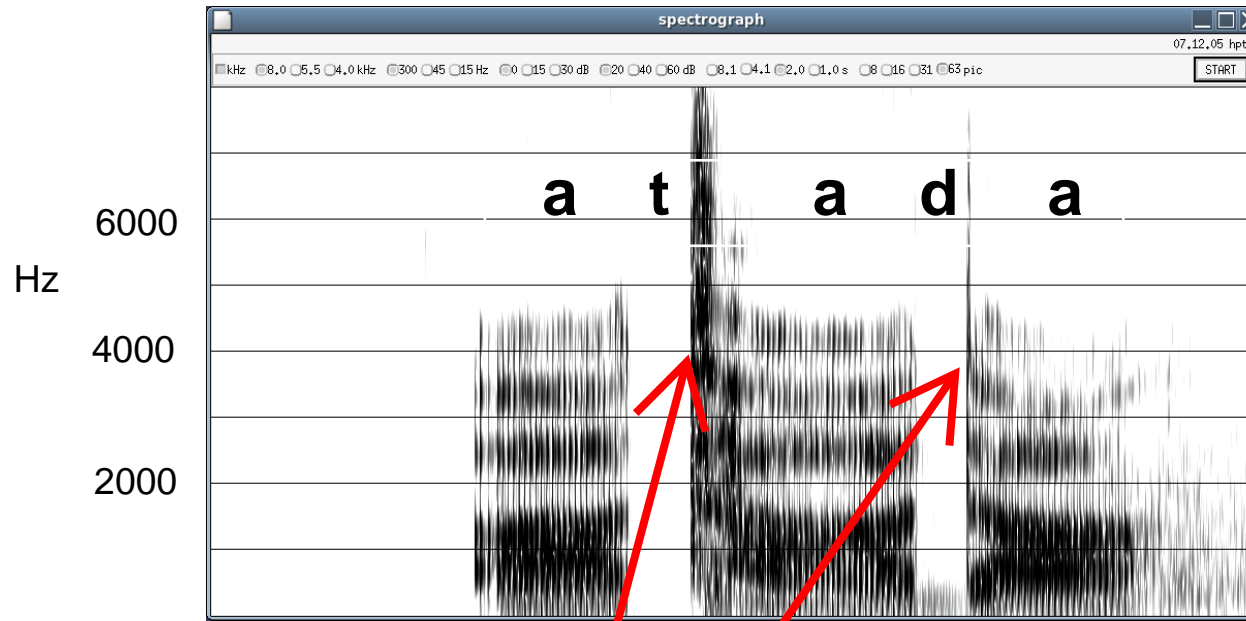


# Plosive



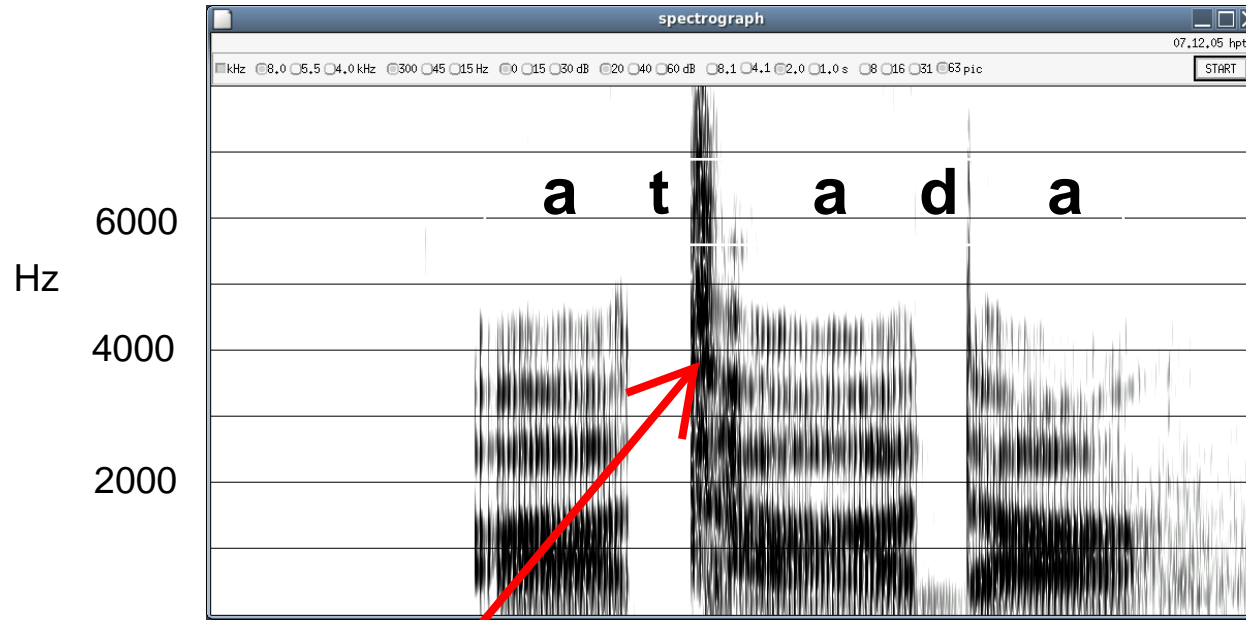
- **Phasen:**
  - **Pause**; bei stimmhaften Plosiven mit **Voice Bar** gefüllt
  - **Verschlussprengung (Burst)**: transiente Anregung; *deutliche vertikale Linie über großen Frequenzbereich*
  - **Aspiration** (Rauschen, nur bei Fortis-Plosiven); *stochastische Schwärzung*
- **Voice Bar**: durch Gewebe abgestrahlte tieffrequente Anteile des Glottissignals, *Balken im unteren Frequenzbereich bis ca. 500 Hz*

# Plosive



- **Phasen:**
  - **Pause**; bei stimmhaften Plosiven mit **Voice Bar** gefüllt
  - **Verschlussprengung (Burst)**: transiente Anregung; *deutliche vertikale Linie über großen Frequenzbereich*
  - **Aspiration** (Rauschen, nur bei Fortis-Plosiven); *stochastische Schwärzung*
- **Voice Bar**: durch Gewebe abgestrahlte tieffrequente Anteile des Glottissignals, *Balken im unteren Frequenzbereich bis ca. 500 Hz*

# Plosive



- **Phasen:**
  - **Pause**; bei stimmhaften Plosiven mit **Voice Bar** gefüllt
  - **Verschlussprengung (Burst)**: transiente Anregung; *deutliche vertikale Linie über großen Frequenzbereich*
  - **Aspiration** (Rauschen, nur bei Fortis-Plosiven); *stochastische Schwärzung*
- **Voice Bar**: durch Gewebe abgestrahlte tieffrequente Anteile des Glottissignals, *Balken im unteren Frequenzbereich bis ca. 500 Hz*

- **Artikulationsstelle:**

- u.a. über **Formanttransitionen** ermittelbar
- **Formanttransition:** zeitliche Änderung der Formantfrequenzen an Lautübergängen
- **Beispiel:** in Abbildung 13 liegt von den Plosiven aus gesehen der Ausgangspunkt (**Lokus**) der Transitionen des zweiten Formanten jeweils bei etwa **1800 Hz**  
→ **alveolare Artikulationsstelle**

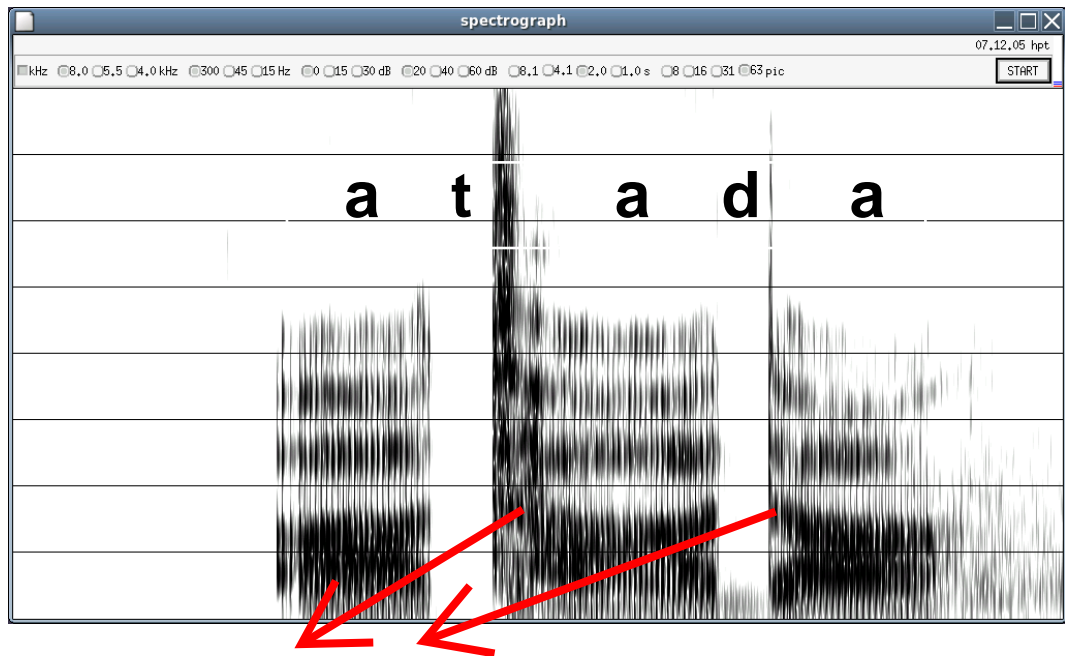
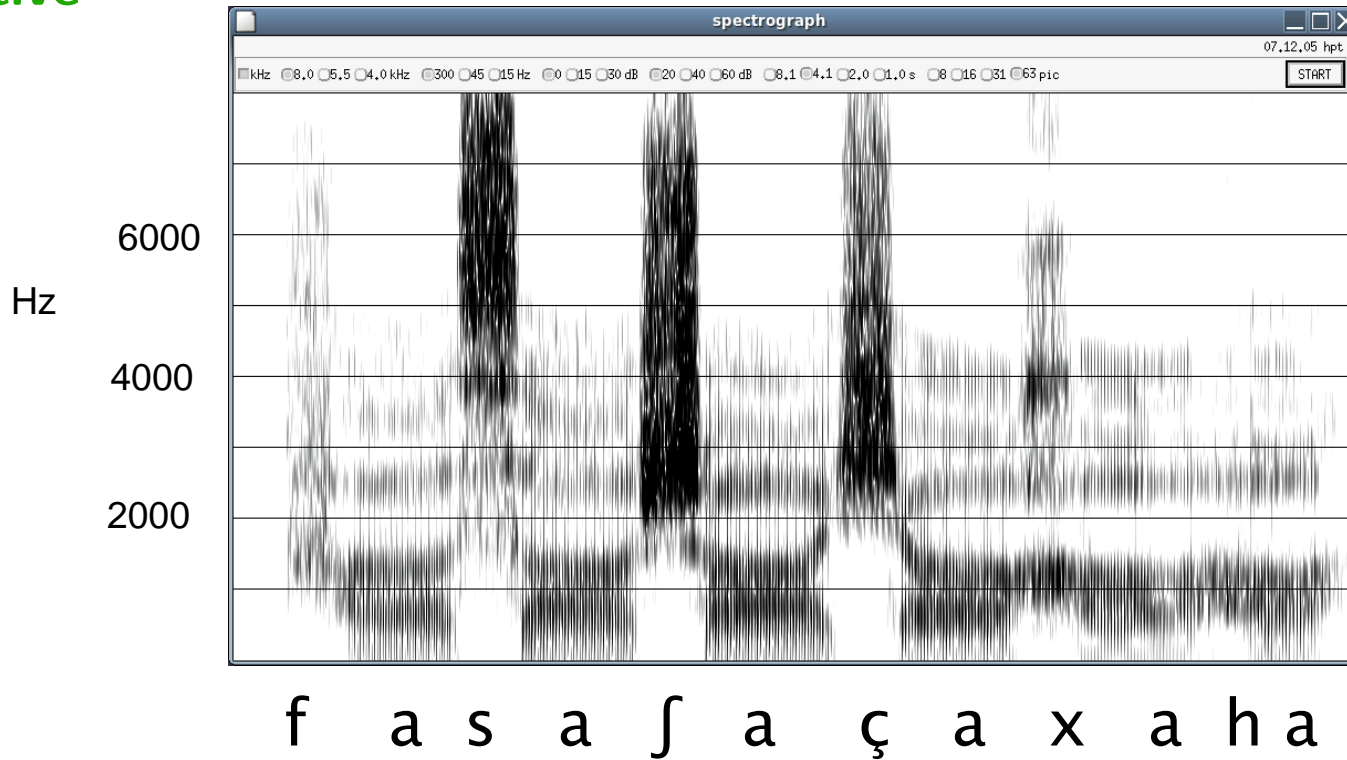


Abb. 13. Transitionen



# Frikative



- **Anregungssignal:** **Rauschen**; *stochastische Schwärzung*
- **Artikulationsstelle:** Je weiter entfernt von Mundöffnung die Konstriktion, desto länger das Resonanzrohr → desto
  - tiefer der **Energieschwerpunkt** und
  - **strukturiertes** das Spektrum (velare und larngale Frikative weisen **Formantstruktur** auf).

## Nasale

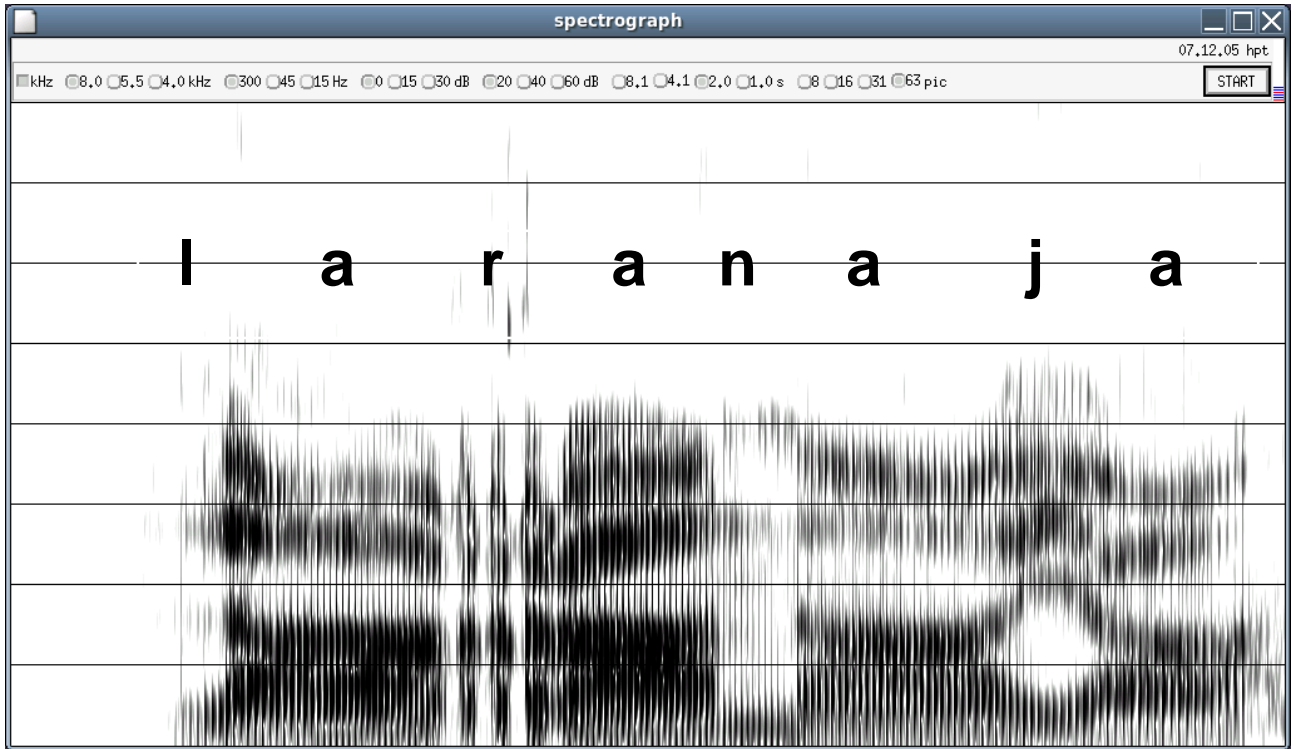
- durch oralen Verschluss geschlossene Mundhöhle entzieht dem Signal Energie im Bereich ihrer Resonanzen → **Antiformanten** (*“Energieeinbrüche” im Spektrum*)

## Trills

- niederfrequente Amplitudenschwankungen, die die Glottisschläge überlagern; *vertikale “Riffelung”*

## Laterale, Approximanten

- Formantstruktur, niedriger erster Formant



spectrograph

07.12.05 hpt

kHz  8.0  5.5  4.0 kHz  300  45  15 Hz  0  15  30 dB  20  40  60 dB  8.1  4.1  2.0  1.0 s  8  16  31  63 pic

START

Hz

6000

4000

2000

l a r a n a j a