

Akustik des Sprechens

Quelle*:

Magnús Pétursson – Joachim Neppert:
Elementarbuch der Phonetik, Buske: Hamburg, 1991,
Seite 125-149 (Kapitel 7).

(Abbildungen auch aus: Bernd Pompino-Marschall: Einführung in
die Phonetik, de Gruyter: Berlin / New York, 1995)

Themen:

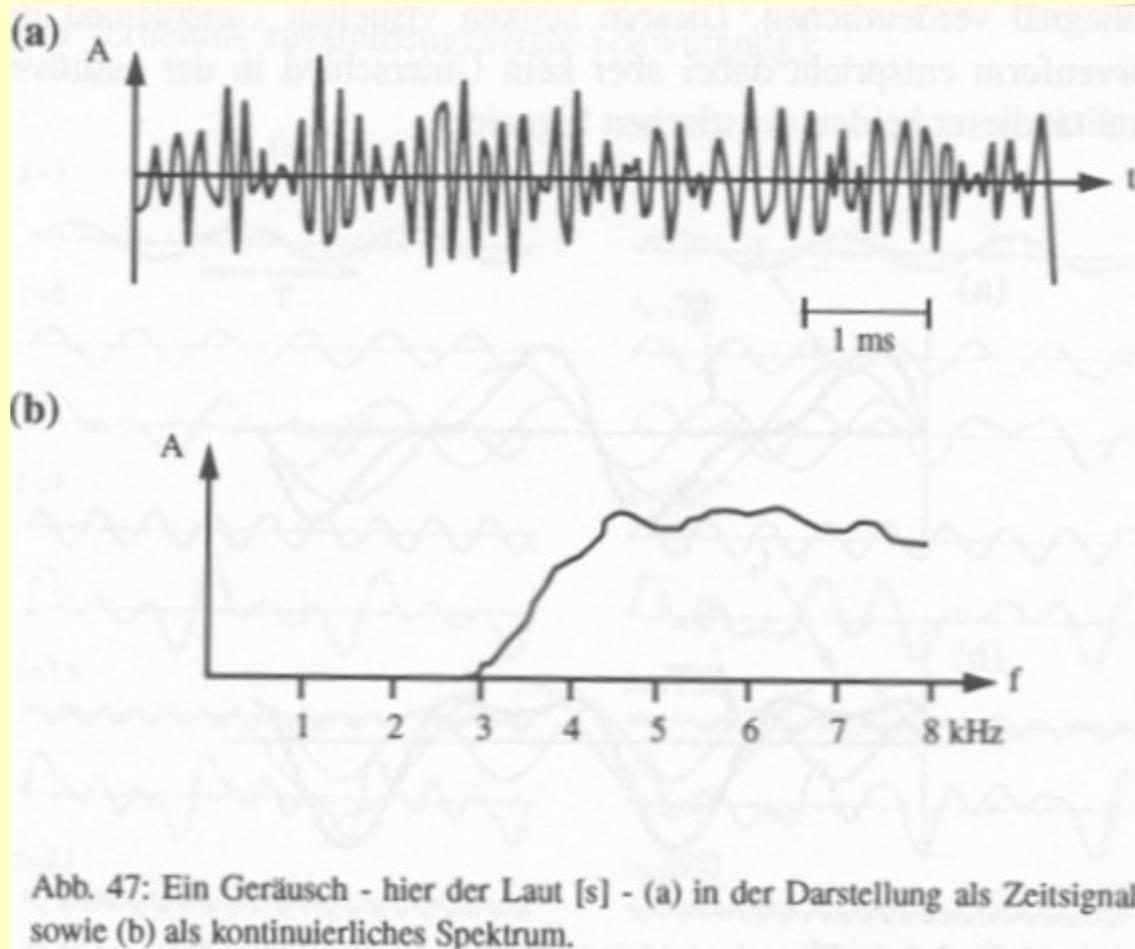
- Eigenschaften und Typen des Schalls
- Eigenschaften des Sprachschalls, Zusammenhänge mit der Artikulation

(*Zitate sind nicht als solche markiert.)

Entstehung des Sprachschalls

- **Schall** ist ein physikalisch darstellbares Phänomen. Er ist allgemein dadurch charakterisiert, dass Körper oder Moleküle Wechselbewegungen um eine potentielle Mittel- oder Ruhelage vollführen und dabei um sich herum Druckschwankungen erzeugen (**Schallschwingung**). Durch Wechselwirkung von Molekularbewegung und Druckschwankung breiten sich derartige Schallschwingungen als **Schallwellen** im Medium Luft aus.
- **Sprachschall**: Das Produkt des Artikulierens.
 - Der Sprachschall wird durch die Bewegungen der Sprechorgane erzeugt und so gestaltet, dass er als Trägersignal des darin kodierten sprachlichen Inhalts dienen kann.

Schalleigenschaften

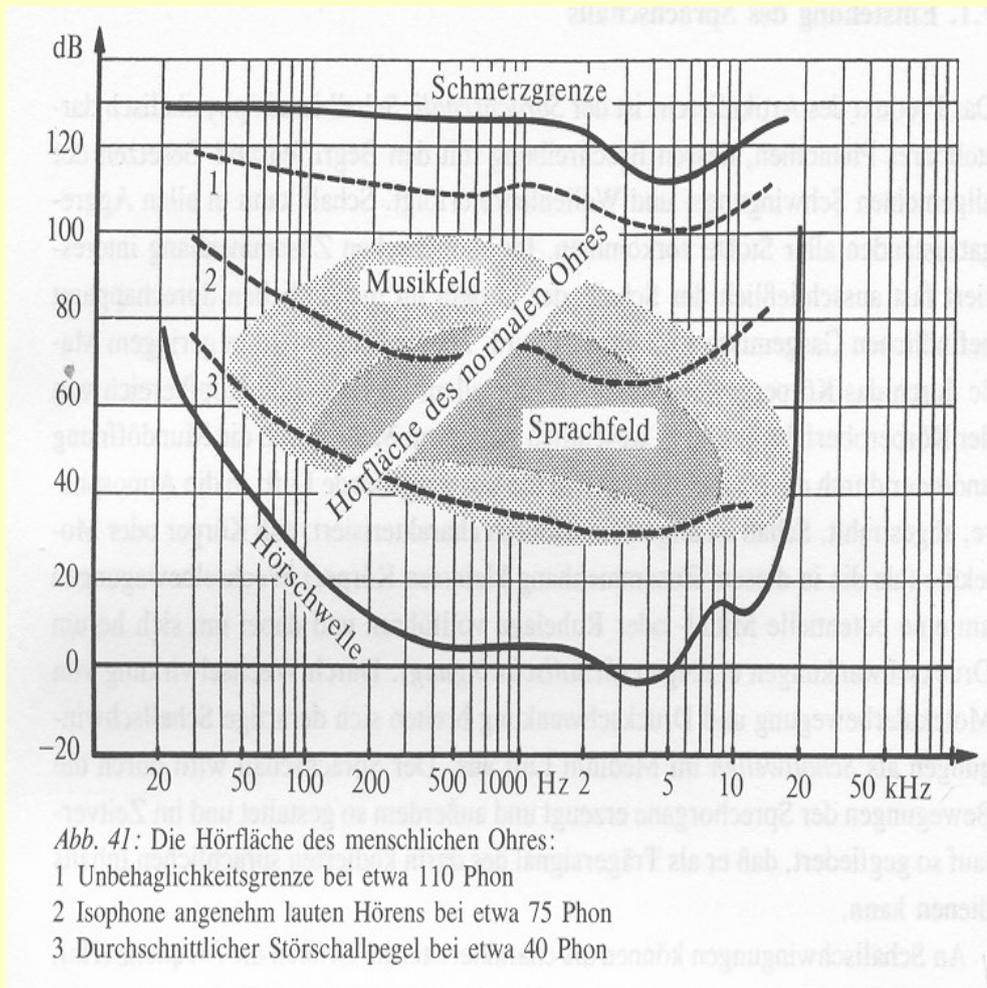


- An Schallschwingungen können als charakteristische Größen gemessen werden:
 - die **Amplitude** (z.B.: μm): die **Maximalauslenkung**, d.h. die maximale Abweichung von der potentiellen Ruhelage,
 - die **Frequenz** (Hz): das Verhältnis von **Schwingungszahl** (reine Zahl) zu **Zeit** (z.B.: sec).

Frequenz und Amplitude

- Das menschliche Hörorgan kann Schallschwingungen von etwa 20 Hz bis 20000 Hz verarbeiten. Dies ist das **hörbare Frequenzband**
 - der Begriff „hörbares Frequenzband“ bezieht sich hier ausschließlich auf das Hörvermögen des Menschen.
- Unter der unteren Frequenzgrenze von 20 Hz liegt der Bereich des **Infraschalls**.
- Oberhalb der oberen Frequenzgrenze von 20 kHz liegt der **Ultraschall**, in dem jedoch zahlreiche Tiere kommunizieren können.
- Die **Amplitude** bestimmt in erster Linie die **Lautstärkeempfindung** oder **Lautheit**. Die Größe **Schallintensität = Schallstärke** ist von der Amplitude abgeleitet.

Schallpegel-Frequenz-Diagramm



- Wählt man auf der Intensitätsskala den **Hörschwellenpunkt** für eine Sinusschwingung von 1000 Hz als Bezugspunkt für eine zehnerlogarithmische Einteilung, so erhält man die **Schallpegelskala**, auf der die logarithmierten Intensitätswerte in **Dezibel (dB)** angegeben werden.
- Durch das Diagramm ziehen sich **Isophone**: Phon-Kurven, die akustische Zusammenhänge der Frequenz und Intensität des Schalles darstellen.

Schallpegel-Frequenz-Diagramm

- Im mittleren Frequenzbereich (ca. 500 Hz bis ca. 5000 Hz) beträgt der Abstand von der **Hörschwelle** bis zur **Schmerzgrenze** etwa 130 dB. Dieser Abstand wird auch als **Hördynamik** dieses mittleren Frequenzbereiches bezeichnet.
 - Sowohl zu den hohen als auch zu den niedrigen Frequenzen laufen die Isophonen und Schallpegel-Linien nicht mehr parallel.
- **Hörschwelle**: die unterste Isophone, die die gerade hörbaren Schallpegel unterschiedlicher Frequenzen miteinander verbindet. Sie bildet die untere Abgrenzung des Hörfeldes.
- **Schmerzgrenze**: Die oberste Isophone verbindet die Punkte, an denen der Schallpegel beim Hörer eine Schmerzempfindung auslöst. Sie bildet die obere Abgrenzung des Hörfeldes.
- Kurz davor befindet sich die Isophone der Unbehaglichkeit = **Unbehaglichkeitsgrenze**, wobei unter unbehaglich nahezu unerträglich zu verstehen ist.

Schallpegel-Frequenz-Diagramm

- Die Frequenzhörgrenzen, die Hörschwelle und die Schmerzgrenze, sind die psychoakustischen Werte, die auch die **Hörfläche (Hörfeld)** des Menschen im Schallpegel-Frequenz-Diagramm abgrenzen.
 - Innerhalb des Hörfeldes befinden sich das Sprachfeld und das Musikfeld.
- Auf der Frequenz beruht die **Tonhöhenwahrnehmung** und weitgehend die Wahrnehmung von Qualitäten.
- Der Schallpegel korrespondiert mit der auditiven Lautstärke (Lautheit/Lautstärkewahrnehmung), wobei die **Lautstärkewahrnehmung** physiologisch bedingt entlang einer Schallpegellinie in der Hörfläche sehr frequenzabhagnig ist.
- Die Lautstärke wird in **Phon** gemessen, wobei die Phon-Skala und die dB-Schallpegel-Skala fur die Frequenz 1000 Hz identisch sind. Die Messung in Phon wird zunehmend durch die Messung in dB(A) abgelost. Man kann von einer vereinfachten Gleichsetzung der Phon- und dB(A)-Messung ausgehen.

Periodischer und nicht-periodischer Schall

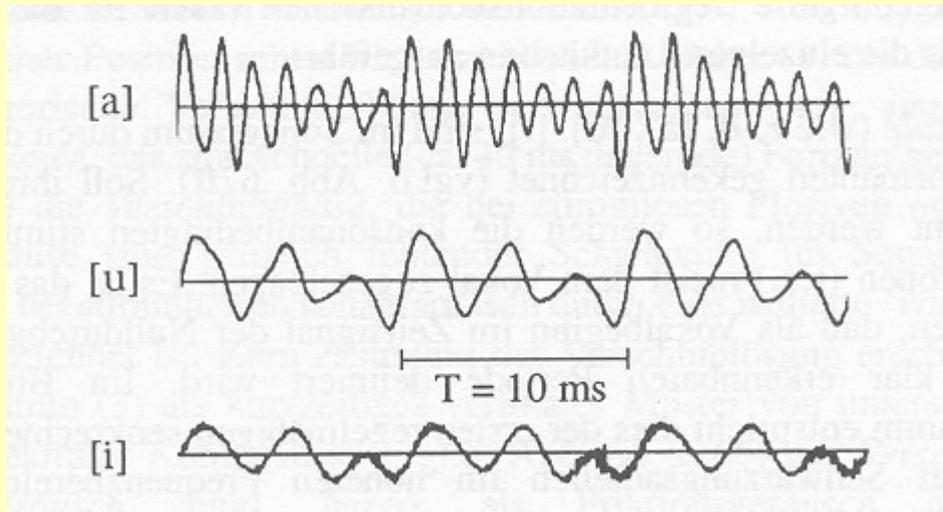
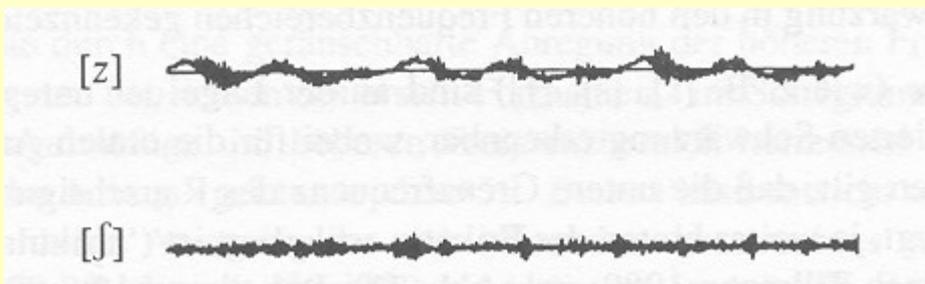


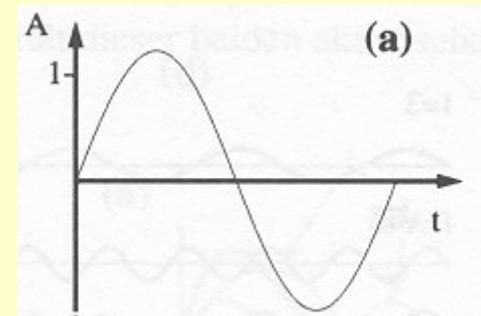
Abb. 70: Oszillogramme der Vokale [a], [u] und [i] sowie der Frikative [z] und [ʃ].

- Eine Schwingung, die sich vor allem im Zeitverlauf mit Regelmäßigkeit wiederholt, wird **periodisch** genannt (z.B.: Schwingung einer angeschlagenen Stimmgabel) [Bild oben].
- Wenn sich dagegen nichts in einem Schwingungsablauf wiederholt, ist der Schall **nicht-periodisch = aperiodisch** [Bild unten].
- Schalltypen:
 - **Klang:** periodisch oder quasi-periodisch
 - **Rauschen:** aperiodisch



Schalltypen

- Schall mit hinreichend periodischem Schwingungsverlauf wird als **Klang** wahrgenommen, dessen auditives Merkmal darin besteht, dass man an ihm eine Tonhöhe hören kann.
- Nicht-periodischer Schall wird als **Rauschen** bezeichnet, und Tonhöhenwahrnehmung ist an diesem Schalltyp nicht möglich.
- Die einfachste mögliche Schwingung ist die **Sinusschwingung**, die dem Verlauf der Sinusfunktion gehorcht. Sie besteht nur aus einer Schallkomponente, nämlich aus sich selbst; sie lässt sich also durch Spektralanalyse nicht weiter zerlegen. Die Sinusschwingung ist periodisch, sie gehört also zum Schalltyp des Klanges. Die einfache Sinusschwingung nennt man auf auditiver Ebene **Sinuston** oder **Ton**.



Schalltypen

- Alle anderen Klänge sind aus vielen harmonischen Teilschwingungen zusammengesetzt. Diese Teilschwingungen kann man mit **Spektralanalyse** = **Fourieranalyse** zeigen.
- Unter **Teilschwingungen** versteht man Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Periodenfrequenzen und mit unterschiedlichen Amplituden bzw. davon abgeleiteten Schallpegeln. Als harmonisch bezeichnet man die Teilschwingungen, wenn ihre Periodenfrequenzen sich wie 1:2:3:4:5:....: n verhalten.
 - z.B.: wenn die 1. Teilschwingung die Periodenfrequenz 80Hz hat, so sind die Periodenfrequenzen der 2., 3., 4. ...n. Teilschwingungen 160 Hz, 240 Hz, 320 Hz, 400 Hz ..., $n \cdot 80$ Hz.
 - Überlagert man derartige Teilschwingungen, so entsteht ein periodischer mehr oder weniger komplizierter Schwingungsverlauf.
 - Die Periodenfrequenz der 1. harmonischen Teilschwingung ist identisch mit der Periodenfrequenz des komplexen gesamten Schwingungsverlaufes.
- Klänge haben immer harmonische Teilschwingungen.

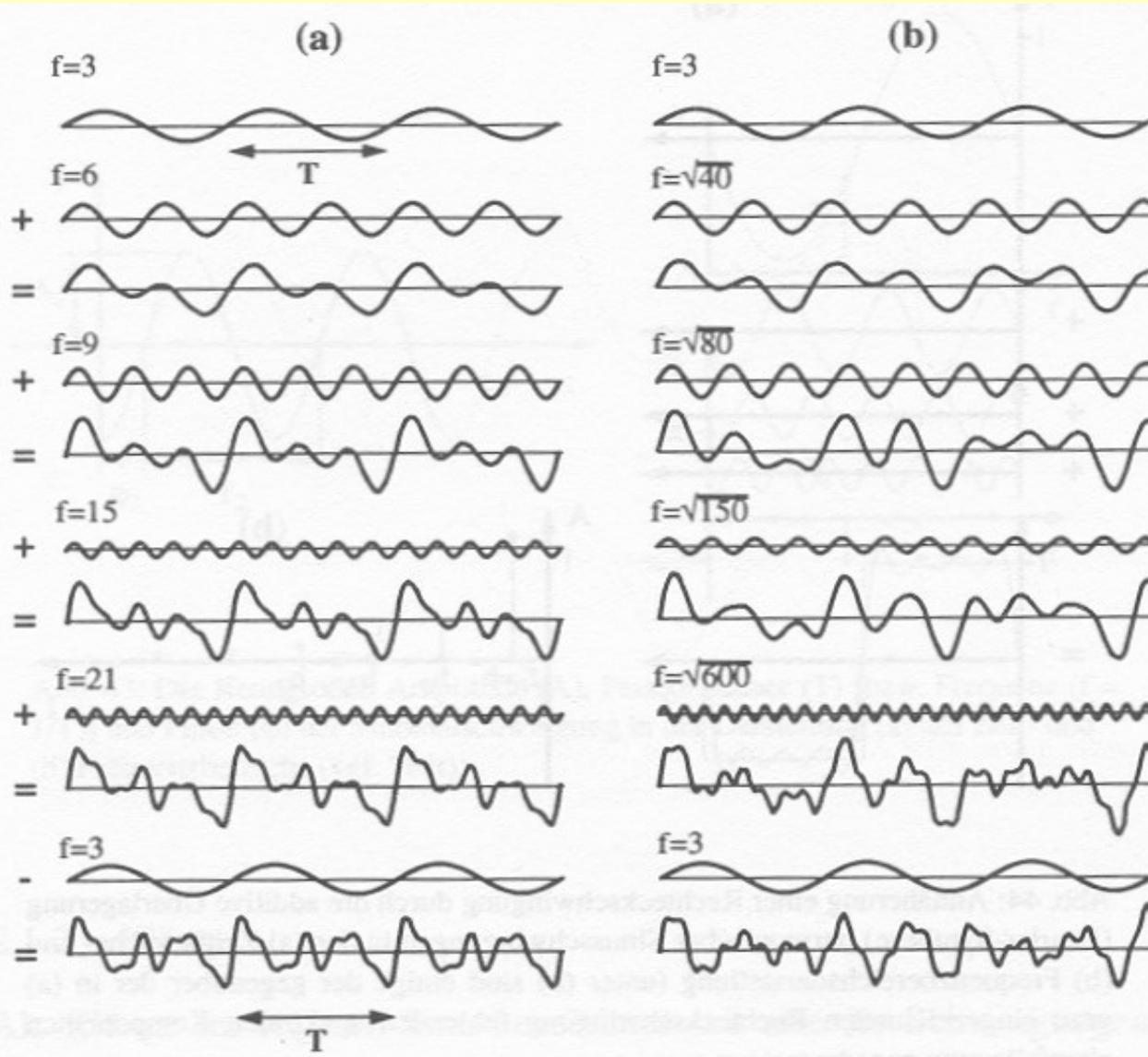


Abb. 45: Addition einzelner Sinuskomponenten (a) in harmonischem Verhältnis (1:2:3:5:7) und (b) in unharmonischem Verhältnis.

Teil- schwin- gun- gen

Grundschiwingung

- Da die 1. harmonische Teilschiwingung früher auch **Grundschiwingung** genannt wurde, ist für ihre Periodenfrequenz noch heute der Begriff **Grundfrequenz** (F_0) im Gebrauch.
 - Die Tonhöhe, die an einem Klang wahrnehmbar ist, wird in diesem Zusammenhang heute oft als **Grundton** bezeichnet, obgleich mit dieser Tonhöhe in keiner Weise der Charakter eines Sinustones verbunden ist.
- Die **Tonhöhenwahrnehmung** wird durch die Periodenfrequenz des komplexen gesamten Schwingungsverlaufs bestimmt. Die Wahrnehmung des Klanges ist weitgehend eine ganzheitliche, in denen lediglich differenzierbar sind die auditiven Dimensionen
 - einer über alle Teilschiwingungen integrierten Lautheit,
 - einer weitgehend durch die Pegelverteilung über diese Teilschiwingungen bestimmten Qualität und
 - einer Tonhöhe.

Analyse

- **Klänge** haben immer harmonische Teilschwingungen. Analysiert man eine komplizierter verlaufende periodische Schwingung, so müssen alle ihre Teilschwingungen in einem harmonischen Frequenzverhältnis stehen.
- Die Analyse eines **Rauschens** ergibt zwar auch sinusartige Teilschwingungen, jedoch solche mit völlig unregelmäßigen Periodenfrequenzverhältnissen. Darüber hinaus lassen sich diskrete Teilschwingungen nicht bestimmen, weil diese Teilschwingungen auf der Frequenzskala gegen den Abstand Null gehend nahe nebeneinander liegen.



Spektralanalyse → Schallspektrum

- **Spektralanalyse = Fourieranalyse:** Analyseverfahren zur Ermittlung der Teilschwingungen. Danach werden die Periodenfrequenz- und Pegelwerte jeder Teilschwingung eines beliebigen Schalles in ein Pegel-Frequenz-Diagramm eingezeichnet. Diese Darstellung heißt **Schallspektrum**.
 - **Linienpektrum** bei Klängen: Handelt es sich über der Frequenzskala um diskrete Punkte mit gleichen Abständen (harmonische Teilschwingungen eines Klanges), so fällt man zur Veranschaulichung dieser Tatsache von jedem Punkt das Lot auf die Frequenzachse. Eine Querverbindung aller Punkte (**spektrale Umhüllende, Hüllkurve** des Spektrums) veranschaulicht dann die Pegelverteilung über der Frequenzskala. [Abb. 43]
 - **Leistungsspektrum** bei Rauschen: Gibt es wie beim Rauschen keine diskret bestimmbaren Teilschwingungen, so wird das Spektrum nur durch die spektrale Umhüllende dargestellt. Ein solches Leistungsspektrum stellt die Pegelverteilung über der Frequenzskala für alle gegen unendlich gehend vielen und im einzelnen nicht angebbaren Teilschwingungen dar. [Abb. 44]

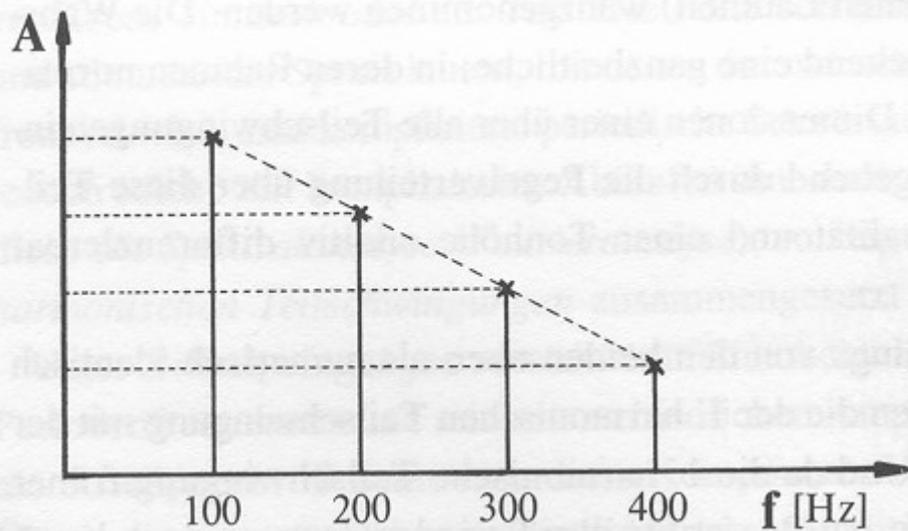


Abb. 43: Spektrum eines Klages (Linienspektrum)
Die gestrichelte Querverbindung der Punkte im Spektrum ist die spektrale Umhüllende.

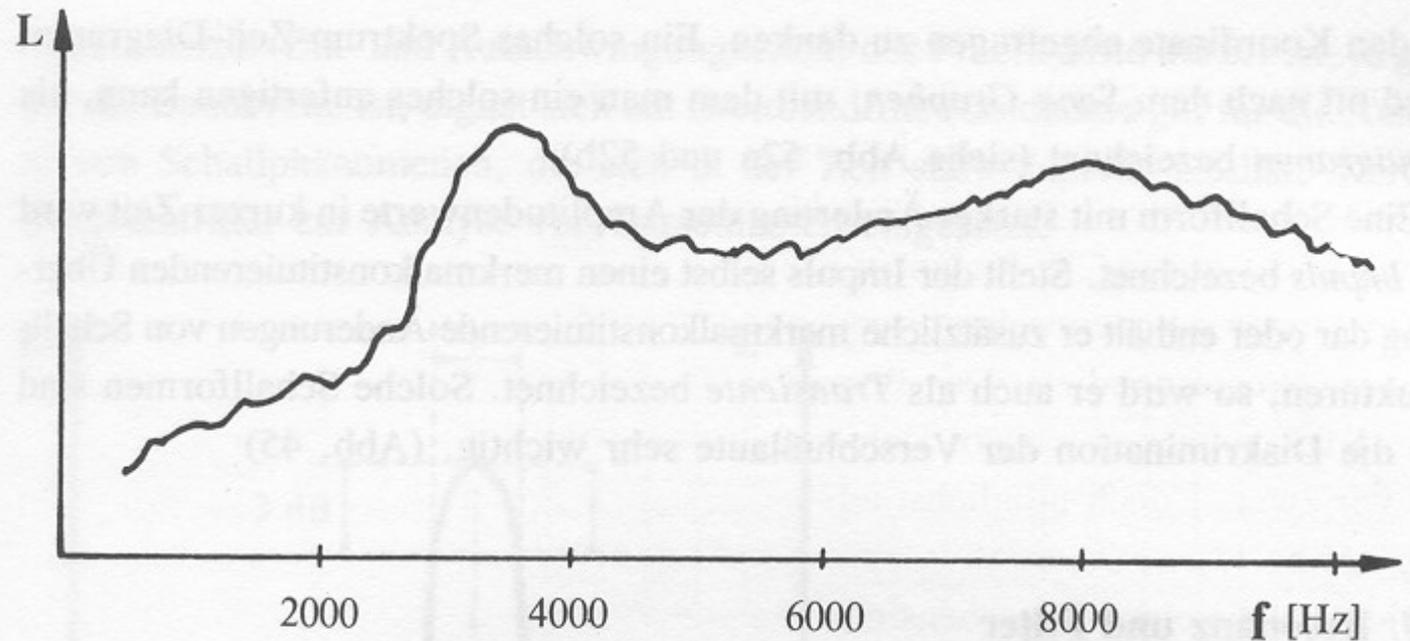


Abb. 44: Spektrum eines Rauschens (Leistungsspektrum), nur durch die spektrale Umhüllende darstellbar

Sonagramm

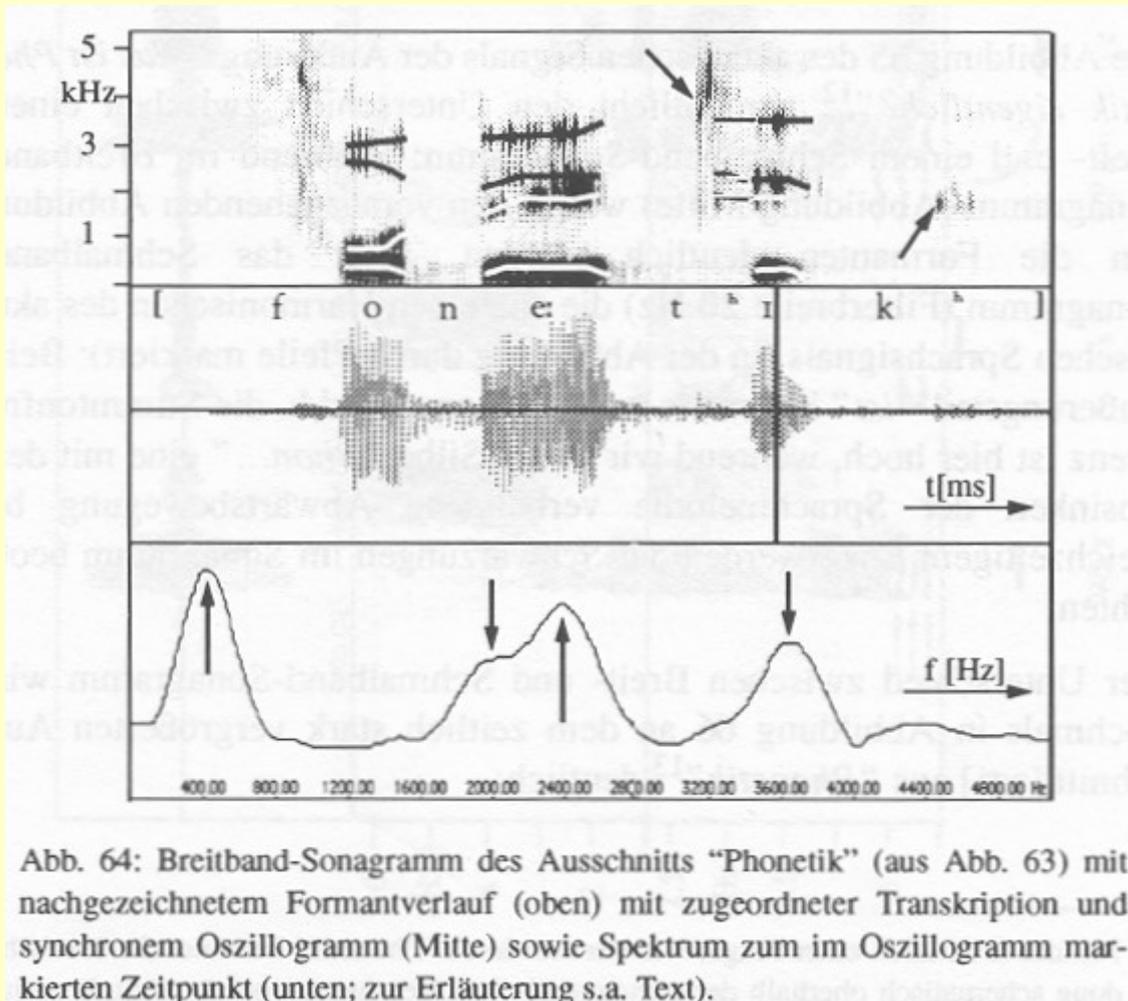


Abb. 64: Breitband-Sonagramm des Ausschnitts "Phonetik" (aus Abb. 63) mit nachgezeichnetem Formantverlauf (oben) mit zugeordneter Transkription und synchronem Oszillogramm (Mitte) sowie Spektrum zum im Oszillogramm markierten Zeitpunkt (unten; zur Erläuterung s.a. Text).

- **Spektrum-Zeit-Diagramm = Spektrogramm, Sonagramm:**
- Schall ist als Schwingungsvorgang ein Vorgang in der Zeit. Die Schwingung kann sich schnell und stark verändern. Bei der Darstellung des Schprachschalls mit Spektrogramm wird die Zeit auf der Abszisse, die Frequenz auf der Ordinate abgetragen. Der der Frequenz zugeordnete Schallpegel erscheint als Schwärzungsgrad oder Grauton (und ist auf einer dritten nach vorn auf den Betrachter zulaufenden Koordinate abgetragen zu denken).

Breitbandsonagramm

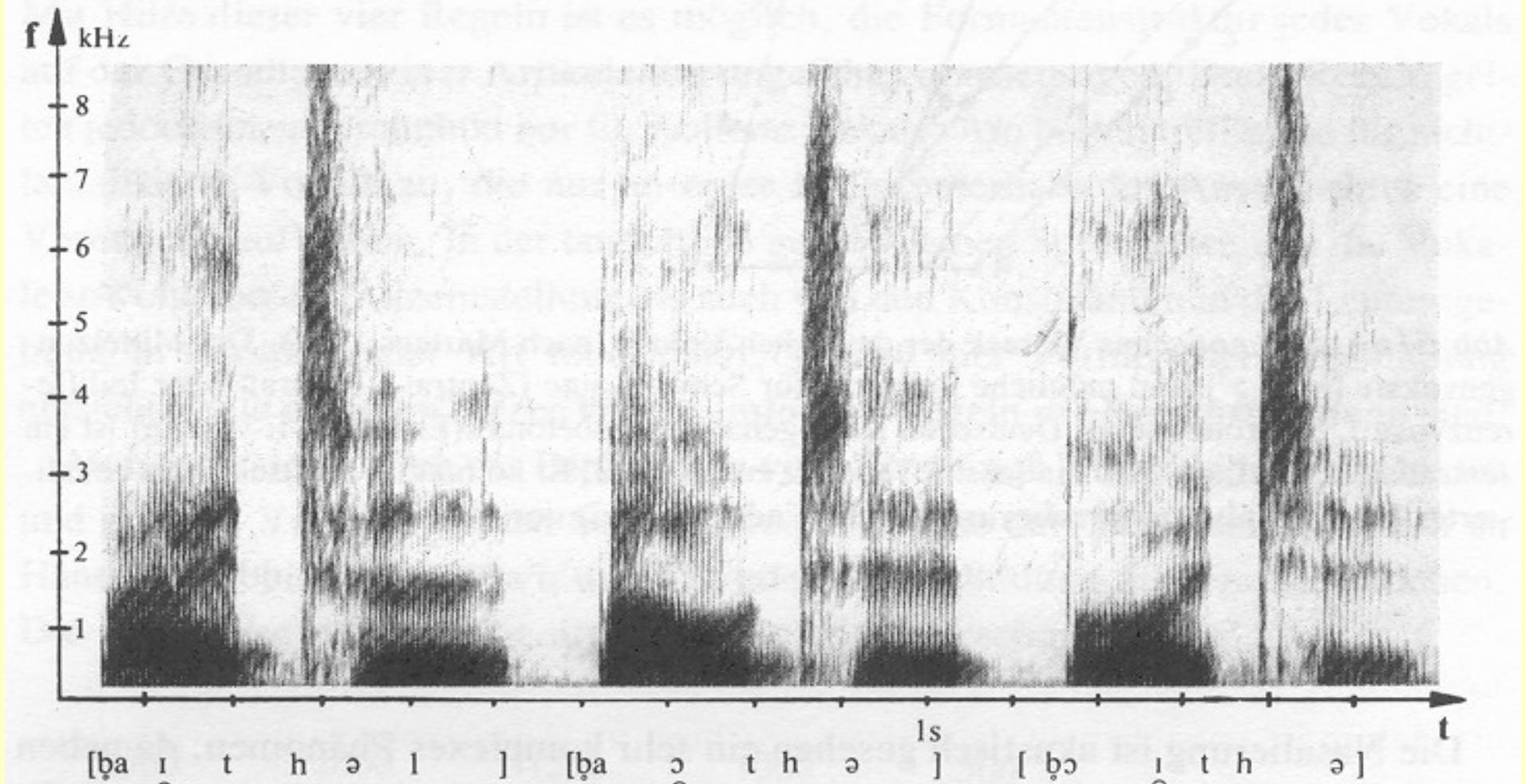


Abb. 52a: Breitbandsonagramme der Diphthonge [a^l a^U ɔ^l] in den Wörtern *Beitel*, *baute*, *Beute*

Resonanz und Filter

- Jeder schwingungsfähige Körper besitzt eine oder mehrere **Eigenfrequenzen** (**Resonanzfrequenzen**). Das ist eine Frequenz, in der der Körper auch bei beliebiger Anregung mit der größtmöglichen Amplitude um seine potentielle Ruhelage schwingt.
- Wenn auf einen solchen schwingungsfähigen Körper von außen frequenzmäßig indifferent eingewirkt wird (Anschlagen, Anzupfen, Knallerzeugung usw.), wird er in seiner Eigenfrequenz bzw. in seinen Eigenfrequenzen mit- und eine gewisse Zeit weiterschwingen und diese hervorheben, während die anderen Frequenzen bzw. Frequenzbereiche gedämpft werden. Man sagt dann, dass er als **Resonator** wirkt.
- Der angeregte und der anregende Körper sind **in Resonanz**, wenn sie Schwingungen auf gleicher Frequenz haben.

Resonanz und Filter

- Resonanzphänomene sind im Ansatzrohr des menschlichen Sprechapparates extrem wichtig, da sie die Klang- und Rauschfarben der Sprachlaute bestimmen.
 - Z.B. sind die Formanten auch Resonanzfrequenzen.
- Resonatoren können auch als **Filter** eingesetzt werden, um die Komponenten eines komplexen Schalls zu ermitteln.
 - schmalbandiges Filter
 - breitbandiges Filter
- **Filterbandbreite**: die Frequenzdifferenz, die 3 dB unter dem Gipfel der Resonanz- oder Durchlasskurve gemessen wird.

Filter

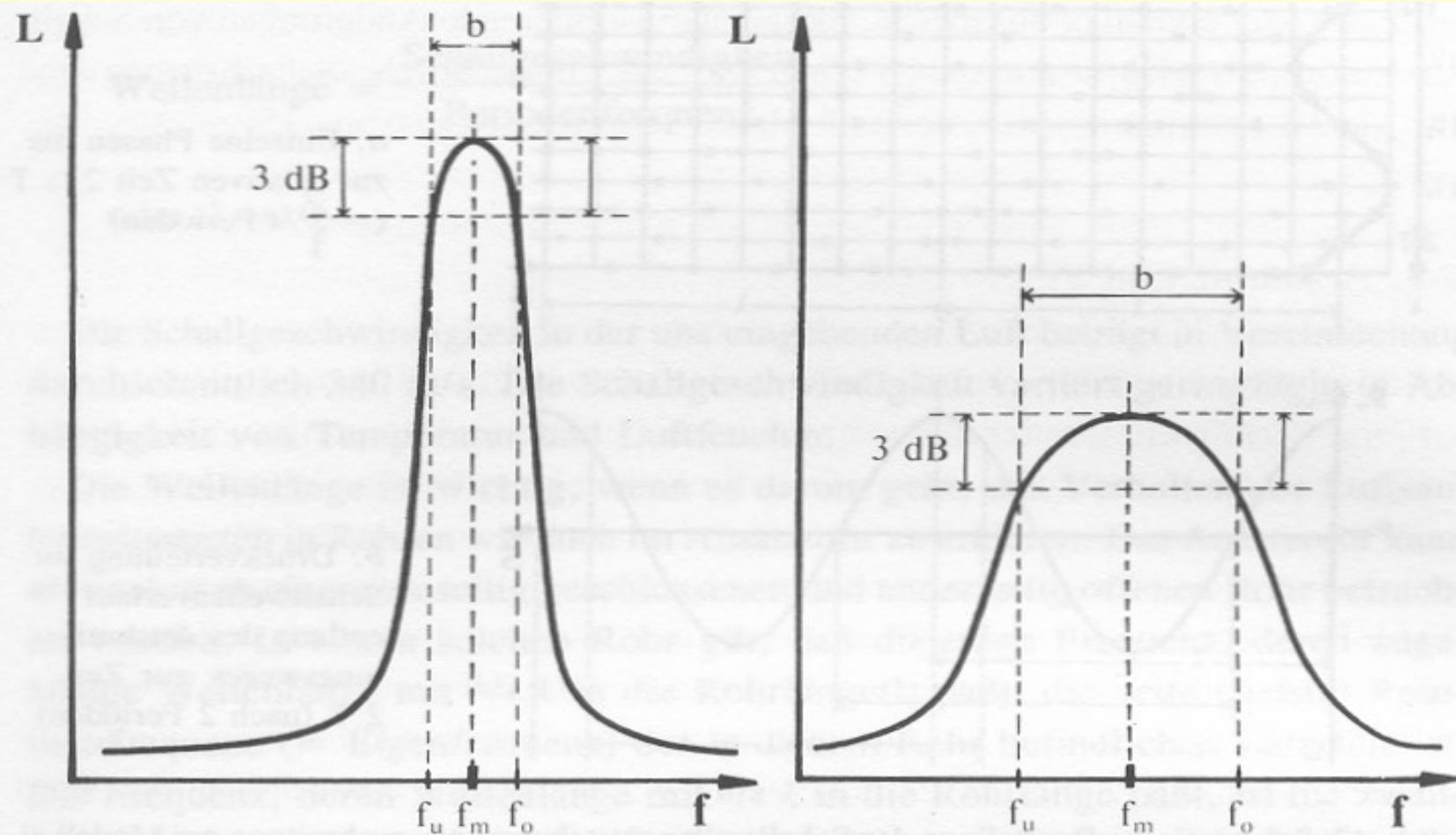


Abb. 46a: schmalbandiges Filter

Abb. 46b: breitbandiges Filter

Abb. 46: Durchlaßkurven von Resonatoren in der Funktion von Schallfiltern

b = Filterbandbreite f_u, f_o = untere, obere Grenzfrequenz

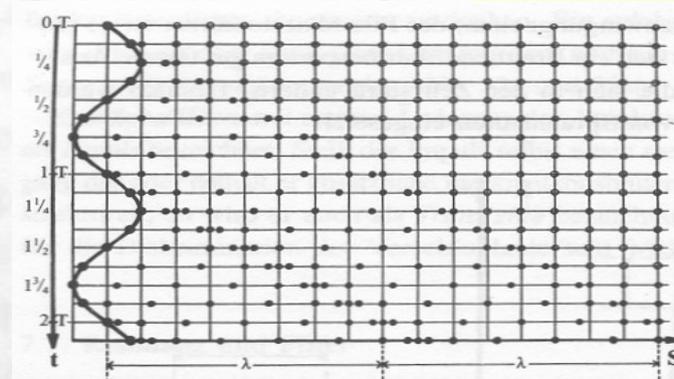
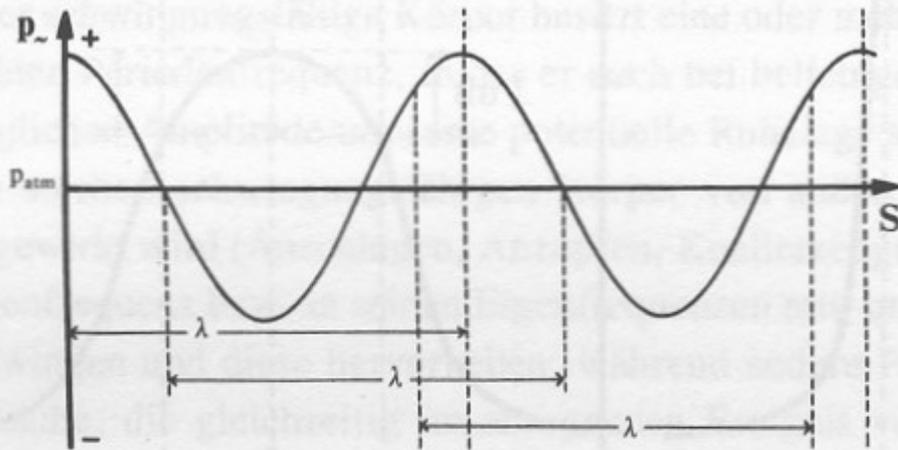
f_m = Mittenfrequenz

Filter

- **Schmalbandfilter:** Die Filterbandbreite des Filters ist relativ klein.
 - Ein Schmalbandfilter ermöglicht in seinem Durchlassbereich relativ große Amplituden, lässt jedoch nur wenige Frequenzen (bei Klängen ggf. nur eine) passieren.
- **Breitbandfilter:** Die Filterbandbreite des Filters ist relativ groß.
 - Ein Breitbandfilter weist eine relativ große Dämpfung auf, fasst dafür einen relativ großen Frequenzbereich zusammen.
 - Da die Reaktionszeit (Ein- und Ausschwingungszeiten) des Filters desto kürzer ist, je größer die Bandbreite ist, eignet sich ein Breitbandfilter besonders gut für die Analyse von Schallphänomenen, die sich in der Zeit stark ändern.
 - → Deshalb werden Breitbandfilter bevorzugt zur Analyse von Sprachlauten eingesetzt.

Wellenlänge und Schallgeschwindigkeit

- Die **Wellenlänge** (λ) ist die Strecke auf einem Ausbreitungsradius des Schalles, entlang derer sich die von einer ganzen Schwingung erzeugte Druckverteilung befindet. (Voraussetzung: periodische Schwingung!)
 - Während jeder **Periodendauer** wird eine Wellenlänge aufgebaut. Entlang der Schallausbreitungsrichtung wiederholen sich solche Druckverteilungseinheiten, die den Namen **Schallwelle** erhalten.



a: Einzelne Phasen bis zur relativen Zeit $2\frac{1}{4} T$ (= $2\frac{1}{4}$ Perioden)

Abb. 47: Schematische Darstellung der Schallwellenentstehung und -ausbreitung am Modell einer in Ausbreitungsrichtung befindlichen Luftteilchenkette.

t = zeitlicher Verlauf

p_{\sim} = Schallwechseldruck

T = Periodendauer

λ = Schallwellenlänge

s = Weg in Ausbreitungsrichtung

P_{atm} = atmosphärischer Druck als Bezugsdruck

Wellenlänge

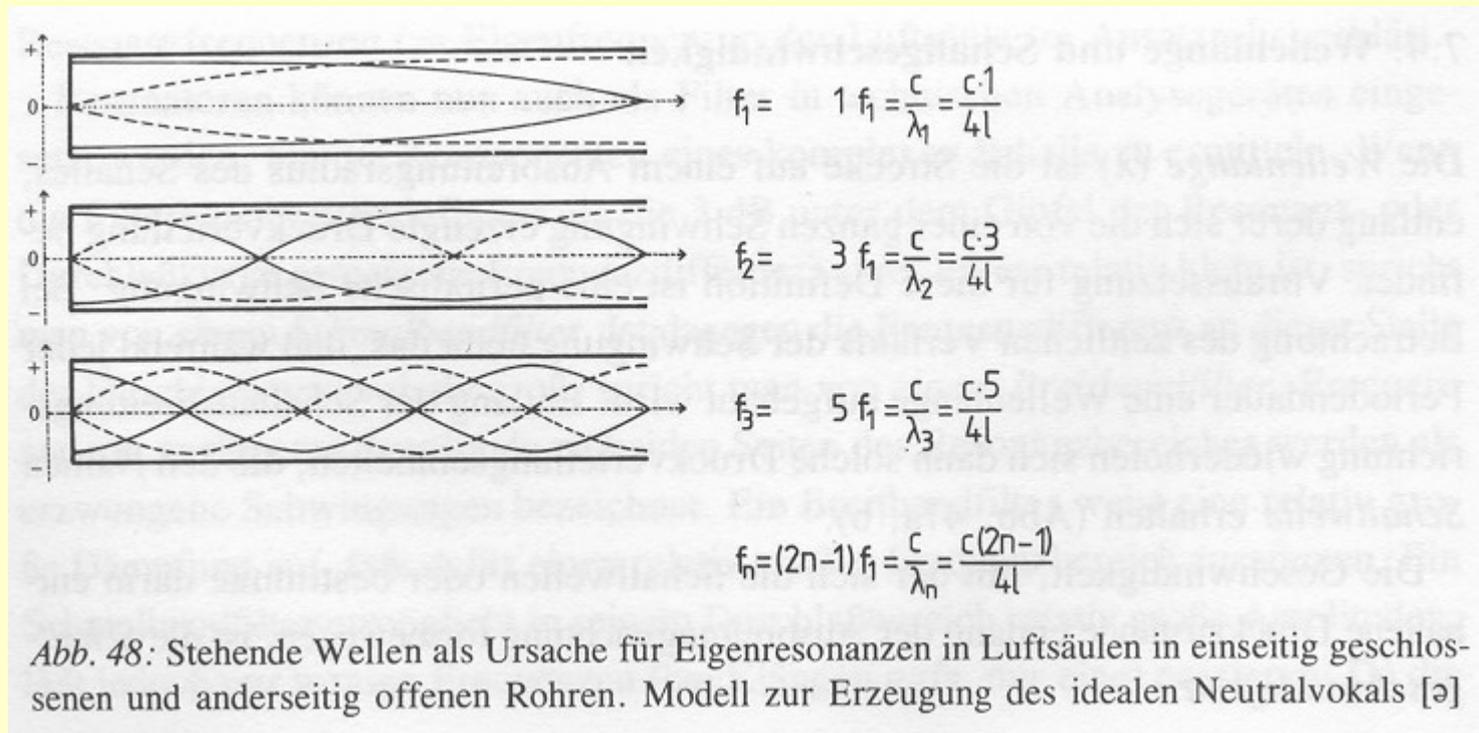
- Das **Ansatzrohr** kann als analog zu einem einseitig geschlossenen, einseitig offenen Rohr betrachtet werden.
- In einem solchen Rohr gilt, dass diejenige Frequenz, deren zugehörige Wellenlänge mit $\frac{1}{4} \lambda$ in die Rohrlänge l passt, die erste (tiefste) Resonanzfrequenz (Eigenfrequenz) der in diesem Rohr befindlichen Luftsäule ist.

– 2.: $\frac{3}{4} \lambda$

– 3.: $\frac{5}{4} \lambda$

– n.: $\frac{n}{4} \lambda$

(n ist Folge
der ungeraden
natürlichen
Zahlen)



Wellenlänge

- Ein erwachsener Mann hat durchschnittlich eine Ansatzrohrlänge von 17,5 cm. Unter dieser Bedingung haben die drei ersten Resonanzbereiche der Luftsäule (besser: in einem in seiner ganzen Länge die gleiche Querschnittfläche aufweisenden Rohr) die **Mittenfrequenzen** 500 Hz, 1500 Hz und 2500 Hz.
 - Die Resonanzen mit diesen Mittenfrequenzen sind die drei ersten **Vokalformanten** F_1 , F_2 und F_3 des idealen Neutralvokals [ə].
- Die Frequenz der Vokalformanten ist umgekehrt proportional zu der Länge des Ansatzrohres. Je länger das Ansatzrohr, desto niedriger die Formantenmittenfrequenz.

Durchschnittliche Ansatzrohrlänge:	die drei ersten Mittenfrequenzen von [ə]:		
	F_1	F_2	F_3
– Männer: 17,5 cm	500 Hz	1500 Hz	2500 Hz
– Frauen: 14,9 cm	600 Hz	1800 Hz	3000 Hz

Wellengeschwindigkeit

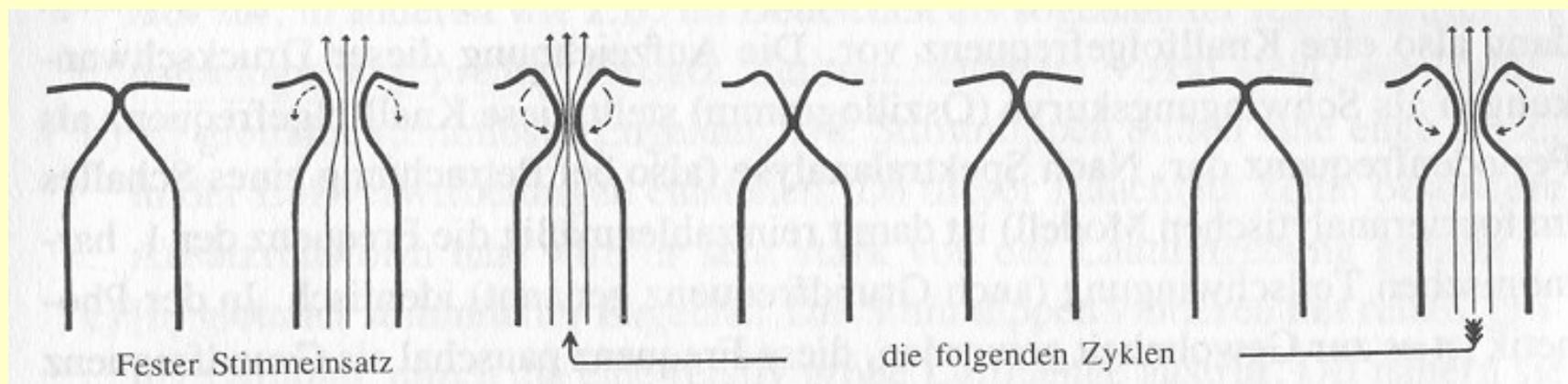
- **Schallgeschwindigkeit** (m/s): Die Geschwindigkeit, mit der sich die Schallwellen oder bestimmte darin enthaltene Druckzustände entlang der Ausbreitungsrichtung fortbewegen.
- Die Schallgeschwindigkeit ist in ein und demselben Medium konstant und von Frequenz und Amplitude unabhängig. Deshalb bedeutet eine Erhöhung der Frequenz des Schallsenders wegen der davon reziprok abhängigen Verringerung der Periodendauer eine Verkürzung der Wellenlänge:
- Wellenlänge = Schallgeschwindigkeit / Frequenz

$$\lambda = c / f$$

- Die Schallgeschwindigkeit in der Luft beträgt durchschnittlich 340 m/s.

Die Funktionsweise der Glottis

- Annahme: Die Glottis ist geschlossen.
- Unterhalb der geschlossenen Glottis erhöht sich der subglottale Luftdruck.
- Wenn er so hoch geworden ist, dass er die Spannung der in der Stimmlippen befindlichen Muskeln überwinden kann, wird der Glottisverschluss gesprengt, und die Luft strömt nach außen.
- Dadurch kommt es zu einem Sinken des Luftdrucks unterhalb und in der Glottis.
- Der Unterdruck in der Glottis und die Elastizität der Stimmlippen-Muskeln sorgen dafür, dass sich die Stimmlippen wieder schließen, und zwar von unten nach oben.



Funktionsweise der Glottis

- Die geschlossene Phase ist bei Sprechstimme in der Regel doppelt so lang wie die offene. Dieser Vorgang wiederholt sich in schneller Folge, und jedes Mal entsteht ein impulsartiger Druckwechsel mit hoher Amplitude.
- Die periodische Folge solcher Impulse ist ein harmonischer Klang und enthält spektralanalytisch diskrete harmonische Teilschwingungen. Zu den hohen Frequenzen hin nehmen die Schallpegel der Teilschwingungen zunehmend ab.
- Die **durchschnittliche Periodenfrequenz der Stimme** hängt in erster Linie von der Länge und Dicke der Stimmlippen ab.
 - Die durchschnittliche Periodenfrequenzlage der Männerstimme liegt etwa zwischen 100 und 150 Hz, die der Frauenstimme zwischen 190 und 250 Hz und die der Kinderstimme zwischen 350 und 500 Hz.

Frequenzen von Teilschwingungen

- Die aus Öffnungs- und Verschlussvorgängen bestehenden Zyklen in der Glottis erzeugen keine Sinusschwingungen, sondern **quasi-periodische Folgen von impulsartigen Druckänderungen**. Die Glottis wird daher auch als Knallgenerator gezeichnet.
- Die Periodenfrequenz im Oszillogramm der menschlichen Stimme ist identisch mit der Zyklusfrequenz der glottalen Vorgänge. Unterwirft man den Stimmklang einer Spektralanalyse, so zeigt es sich, dass die erste harmonische Teilschwingung (Grundschiwingung) dieselbe Frequenz (Grundfrequenz) aufweist, wie die Periodenfrequenz des Oszillogramms.
 - Da diese Frequenz die Tonhöhenwahrnehmung des menschlichen Ohres wesentlich bestimmt, wird die **Grundfrequenz** auch als **Grundton** bezeichnet.

Formanten

- Die **Formanten**, welche auf der Schallqualitätsebene für die Klangfarbenwahrnehmung entscheidend sind, sind die **Luftsäulenresonanzen** und in bestimmten Fällen auch Luftkörperresonanzen im Ansatzrohr.
 - Sie sind durch die Form der Luftsäule oder des Hohlraumes bestimmt, und sie sind unabhängig von den Frequenzen der Teilschwingungen des Stimmklanges, die sich immer rechnerisch als ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz ergeben.
- Das **Ansatzrohr** wirkt im Rahmen seiner Übertragungsfunktion auch als Filter, das die die jeweilige Lautqualität bestimmenden Frequenzbereiche aus dem Schall des Stimmklanges herausfiltert.
- → Im Ansatzrohr können diejenigen Teilschwingungen mit relativ großer Amplitude schwingen, deren Frequenzen innerhalb der Resonanzbereiche liegen. Teilschwingungen, deren Frequenzen nicht in seinen Resonanzbereich fallen, werden stärker abgeschwächt.

Vokalformanten

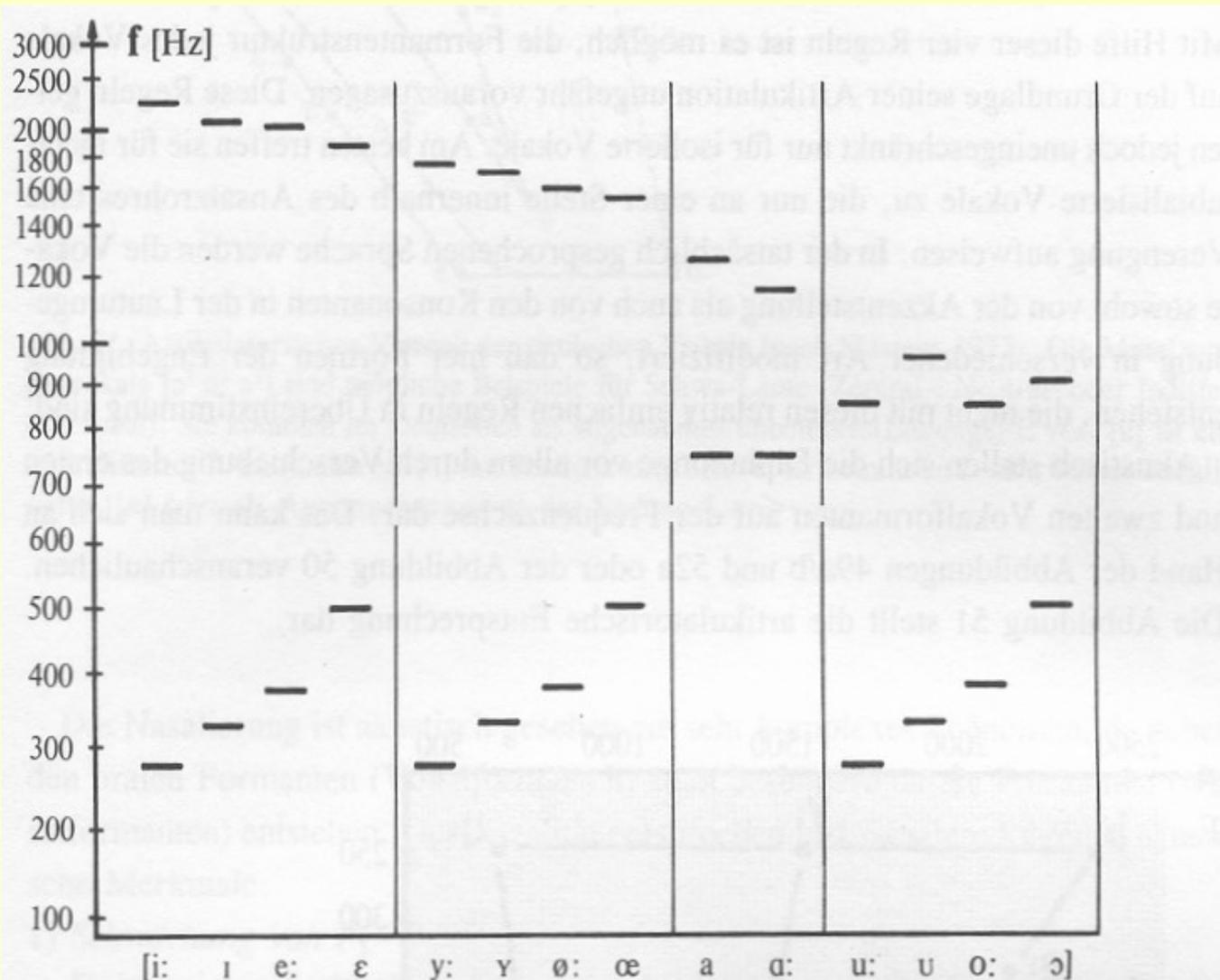


Abb. 49a: Graphische Darstellung der Formantenwerte synthetischer deutscher Vokale (unten der F₁, oben der F₂)

- Die Lage der Formanten, insbesondere die der ersten zwei Vokalformanten, kann durch Formänderung im Ansatzrohr, also durch Artikulation geändert werden.

Vokalformanten

- Darstellung der deutschen Vokale mit Hilfe der Frequenzen von F_1 und F_2 (akustisch)
- Darstellung nach artikulatorischen Merkmalen:

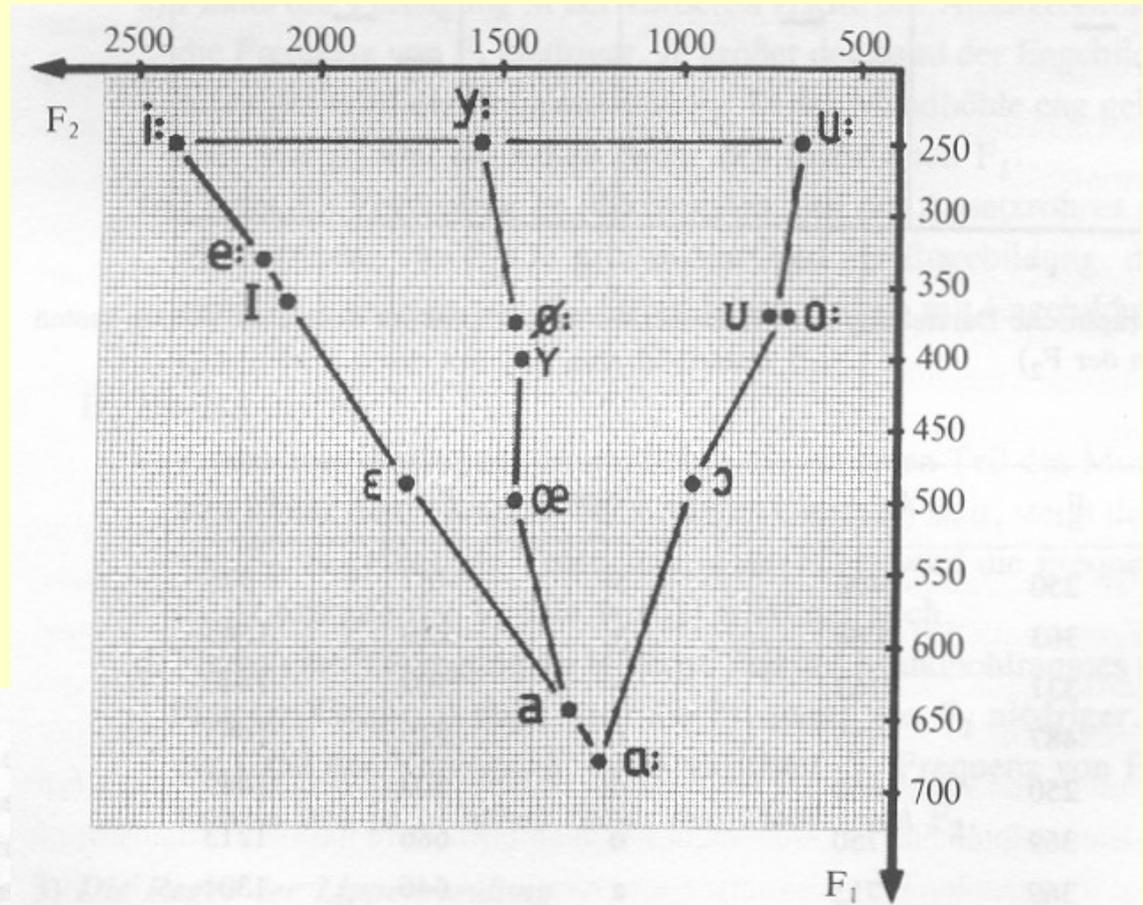


Abb. 50: Akustisches Vokalviereck der deutschen Vokale nach den Formantwerten von Rausch (1972), welche in der vorangehenden Tabelle / Abb. 49b angegeben sind

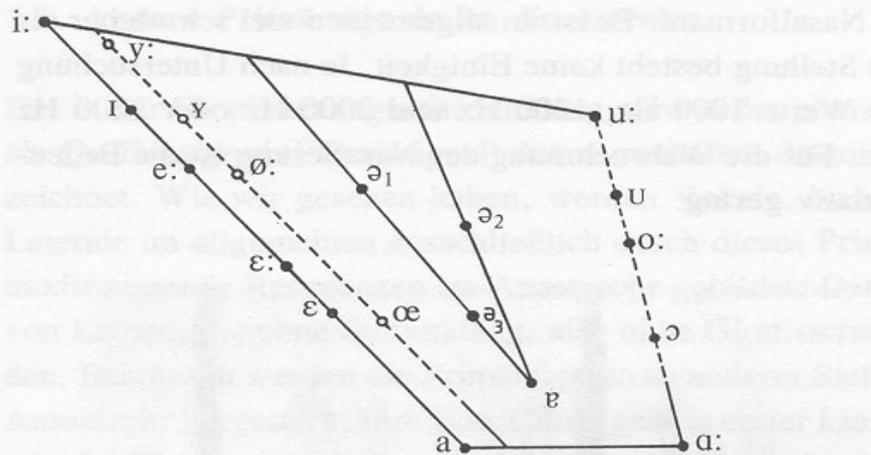


Abb. 51: Artikulatorisches Viereck der deutschen Vokale (nach Martens 1977).

Vokalformanten

- Der Zusammenhang zwischen Artikulation und Frequenzlage bzw. Frequenzänderung der Vokalformanten kann durch Regeln schematisiert werden.
- Mit Hilfe dieser Regeln ist es möglich, die Formantenstruktur jedes Vokals auf der Grundlage seiner Artikulation ungefähr vorauszusagen. Diese Regeln gelten jedoch uneingeschränkt nur für isolierte Vokale. In der tatsächlich gesprochenen Sprache werden die Vokale sowohl von der Akzentstellung als auch von den Konsonanten in der Lautumgebung in verschiedener Art modifiziert.
- Für isolierte Vokale gelten die folgenden vier Regeln:
 1. **Längeregel:** Die Frequenz der Vokalformanten ist umgekehrt proportional zu der Länge des Ansatzrohres: Je länger das Ansatzrohr, desto niedriger die Formantenmittenfrequenz.

Vokalformanten

2. Die Regel der **Verengung im Ansatzrohr**: davon abhängig, an welchem Ort innerhalb des Ansatzrohres die Engebildung stattfindet:

A. Einfluss auf F_1 :

a) Verengung in der vorderen Teil des Ansatzrohres: Je größer der Grad der Engebildung, desto niedriger wird die Frequenz von F_1 .

- z.B.: die niedrigsten F_1 haben [i],[u] und [y]

b) Verengung im pharyngalen Teil des Ansatzrohres: Je größer der Grad der Engebildung, desto höher wird die Frequenz von F_1 .

- z.B: [a] hat eine der höchsten F_1 -Frequenz.

B. Einfluss auf F_2 :

a) Verengung im mittleren bis vorderen Teil des Mundraumes: Je größer der Grad der Verengung, desto höher wird die Frequenz von F_2 .

- z.B.: hohe F_2 hat [i]

Vokalformanten

b) Verengung im hinteren Teil des Mundraumes: Je größer der Grad der Verengung, desto niedriger wird die Frequenz von F_2 .

- z.B.: hintere Vokale haben den niedrigsten F_2 : [u], [o]

3. Die Regel der **Lippenrundung**: Die verengende Lippenrundung bewirkt, dass die Frequenzen aller Formanten niedriger werden. Der Einfluss der Lippenrundung ist größer auf F_2 und F_3 als auf F_1 . Je größer der Grad der Lippenrundung, desto größer der Einfluss auf die Formanten.

- z.B.: [y Ø œ] haben einen niedrigeren F_2 als [i e ε]

4. Die Regel der **Kieferwinkelöffnung**: Je größer der Kieferwinkel (d.h. der Abstand zwischen den oberen und unteren Schneidezähnen), desto höher liegt die Frequenz von F_1 .

- z.B.: [a] hat einen hohen F_1

- Die **Diphthonge** stellen sich akustisch durch Verschiebung des ersten und zweiten Vokalformanten auf der Frequenzachse dar.

Vokalformanten

- Bei dem komplexen Phänomen der **Nasalisierung** entstehen neben den oralen Formanten (Vokalformanten) auch nasale Formanten (**Nasalformanten**). Der Nasalität entsprechen die folgenden akustischen Merkmale:

1. Schwächung von F_1 : (das wichtigste Merkmal für die Nasalisierung) Die Frequenz von F_1 bei nasalierten Vokalen ist viel schwächer als bei den entsprechenden oralen Vokalen.
2. Höhere Stellung von F_1 : F_1 steht bei nasalierten Vokalen im Allgemeinen 50-100 Hz höher als bei den entsprechenden oralen Vokalen. Grund: nasalierte Vokale werden gewöhnlich offener ausgesprochen.
3. Nasalformanten:
 - FN_1 : der erste Nasalformant, der die Frequenz 200-250 Hz und eine relativ große Intensität hat. Für die Wahrnehmung der Nasalisierung spielt sie die zweitwichtigste Rolle.
 - FN_2 : der zweite Nasalformant, im Allg. viel schwächer als FN_1 . Seine Frequenz liegt zwischen 1000 Hz bis 2200 Hz. (Dieses Merkmal hat die geringste Bedeutung bei der Wahrnehmung der Nasalität.)

Primärsignale

- Der in der Glottis erzeugte Stimmklang wird häufig als **Quellensignal (Primärsignal)** der stimmhaften Anteile des Sprachschalles bezeichnet.
 - Vokale, Nasale, Approximanten und Laterale werden im allgemeinen ausschließlich durch dieses Primärsignal und zusätzlich modifizierende Resonanzen im Ansatzrohr gebildet.
- Daneben gibt es eine Reihe von Lauten, die ohne Stimmklang, also ohne Glottisschwingungen, erzeugt werden. Bei diesen werden die Primärsignale an anderer Stelle, nämlich irgendwo im Ansatzrohr durch Engebildung oder zeitweisen Verschluss hergestellt. Diese im Ansatzrohr gebildeten Primärsignale werden häufig „**Sekundärquellen**“ genannt.

Frikative

- Wenn der Luftkanal an einer bestimmten Stelle im Ansatzrohr eingeengt wird, strömt dort die Luft mit größerer Geschwindigkeit als an anderen Stellen, wo die Engebildung geringer ist.
- Dort, wo die Engebildung am stärksten ist und kurz dahinter, entstehen **Luftverwirbelungen = Turbulenzen**, die akustisch ein Rauschen darstellen und somit schon als Primärsignal die Klasse der stimmlosen Frikative und anteilmäßig auch die der stimmhaften Frikative charakterisieren.
- Die Qualität dieses Rauschens ist weitgehend von der Artikulationsstelle und von dem Grad der Engebildung (Grad der Strömungsgeschwindigkeit) abhängig. Da auch die ganze Luftsäule des Ansatzrohres mitschwingt, bilden sich verschiedene Luftsäulenresonanzen, die akustisch gesehen den Vokalformanten entsprechen.
- → Deshalb kann man beim Frikativrauschen auch von **Rauschfarbe** sprechen, welche der Klangfarbe bei den Vokalen entspricht.

Rauschspektren der Frikative

- Allgemein kann für die Rauschspektren der Frikative gesagt werden, dass die Gesamtform der Hüllkurve die Frikative mehr unterscheidet als die Lage einzelner schmalbandiger Hüllkurvenmaxima.
- Bei den stimmhaften Frikativen liegen mit dem Stimmklang und mit dem Frikativrauschen zwei voneinander unabhängige Primärsignale vor, die im Ansatzrohr weitgehend gemeinsam resonatorisch modifiziert werden.
- Bemerkenswert ist der extreme spektrale Unterschied zwischen [ç] palatal und [x] velar, welche jedoch im Deutschen als Varianten eines Phonems /x/ funktionieren.
- [h] hat einen Sonderstatus: sein Primärsignal ist zwar auch ein Rauschen, welches aber in der Glottis erzeugt wird. Ein spezifisches Rauschspektrum des [h] gibt es nicht. Es zeigt stets die Formanten des vorangehenden oder des nachfolgenden Lautes.

Rauschspektren der Frikative

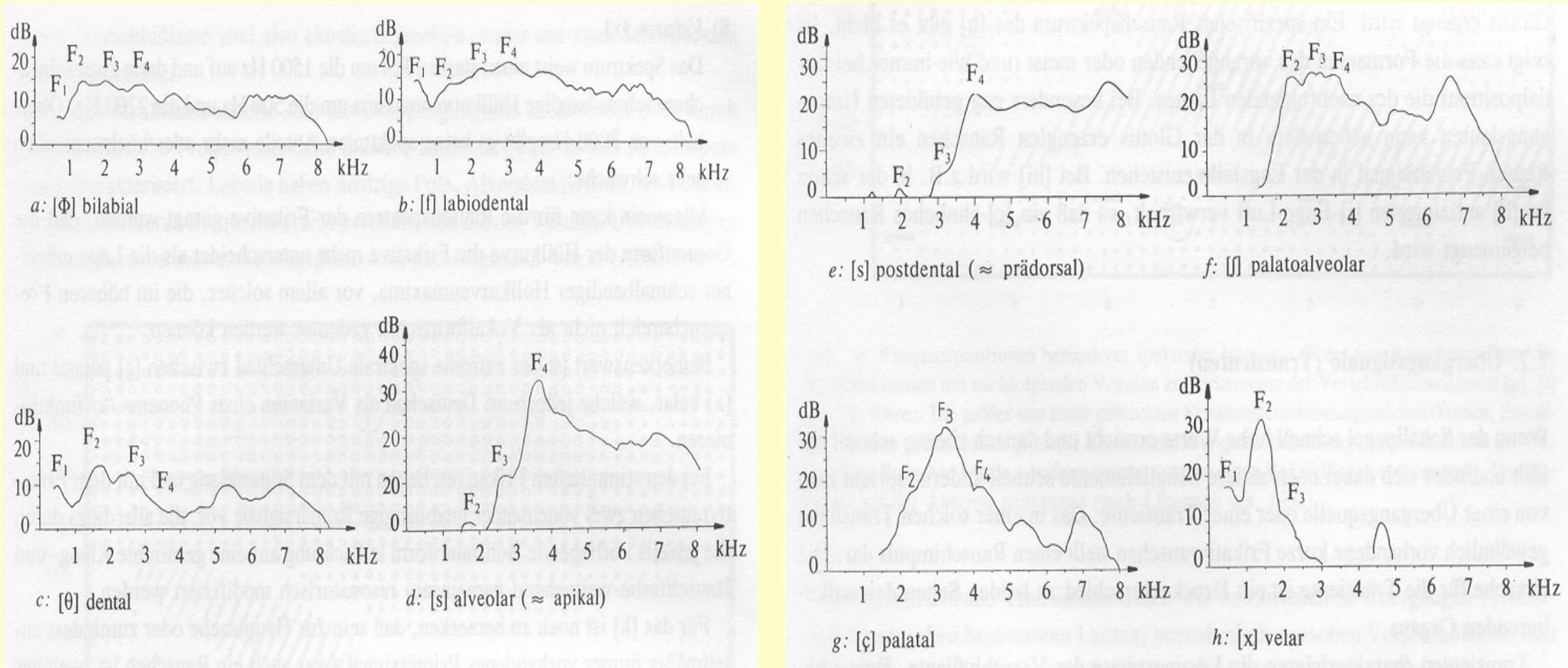


Abb. 53: Hüllkurven von Spektren einiger einzellautlich hervorgebrachter stimmloser Frikative (nach Jassem 1968, S. 197-201)

Impulse, Transienten

- **Impuls:** Eine Schallform mit starker Änderung der Amplitudenwerte in kurzer Zeit.
- Man spricht von einer **Übergangsquelle = Transiente**, wenn der Schallpegel sich schnell verändert, wenn er also schnell hohe Werte erreicht und danach plötzlich abfällt oder sich noch andere Schallelemente schnell ändern. Die Ursache für die Transiente ist ein Druckunterschied zu beiden Seiten des artikulierenden Organs.
- Transienten charakterisieren die Lösungsphase der Verschlusslaute. Davor befindet sich die Verschlussphase, welche bei den stimmlosen Verschlusslauten stumm, bei den stimmhaften mit schwachem Stimmklang gefüllt ist.
 - Verschlusslaute sind also akustisch gesehen immer aus zwei Schallformen zusammengesetzt.

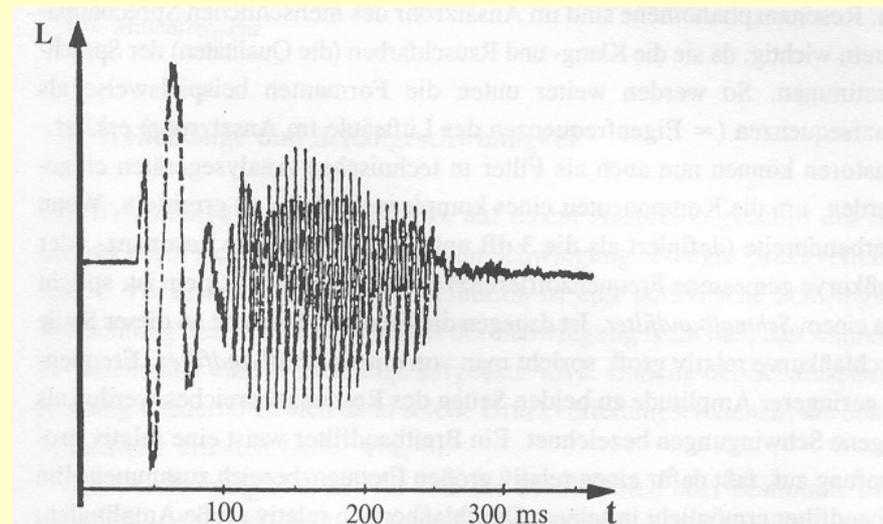


Abb. 45: Impulsartige Schallform, möglicherweise in der Funktion einer Transiente

Kombinierte Schallformen

- Sehr häufig kommt die Kombination von Schallformen verschiedener Art vor.
- 1. **Aufeinanderfolgen** mit teilweiser Simultaneität:
 - a) stumme Phase + Übergangssignal (Explosionsphase): stimmlose Verschlusslaute [p t k]
 - b) Stimmklang + Übergangssignal: stimmhafte Verschlusslaute [b d g]
 - c) stumme Phase + kurzes Übergangssignal mit Frikativrauschen: stimmlose Affrikaten [tʃ ts]
 - d) stumme Phase + kurzes Übergangssignal mit Behauchung: stimmlose aspirierte Verschlusslaute [p^h t^h k^h]
 - e) Stimmklang + Frikativrauschen + Stimmklang: stimmhafte Affrikaten: [dz dʒ] (in der Frikativphase sind die periodische Schwingung an der Glottis und das nicht-periodische Rauschen im Ansatzrohr simultan aktiv.)
 - f) gehaltener Stimmklang und gleichzeitig mehrere Übergangssignale nacheinander: Vibranten [r R]

Kombinierte Schallformen

- 2. Reine **Simultaneität**: Die Primärquelle an der Glottis und eine andere Primärquelle im Ansatzrohr können gleichzeitig aktiv sein. Der resultierende Schall besteht dann aus zwei Komponenten:
 - aus dem quasi-periodischen Stimmklang und
 - aus dem nicht-periodischen Frikativrauschen.

Beispiel: stimmhaften Frikativen. (Häufig sieht man auch im Sonagramm eine schwache Vokalformantenstruktur, der die spektralen Rauschanteile überlagert sind.)

Danke für Eure Aufmerksamkeit!