

# Phonetik und Phonologie

## Akustisch-phonetische Analyse

15./16. Juni 2023

Beeke Muhlack

Phonetik (Raum 5.08)

Sprachwissenschaft und Sprachtechnologie

Fakultät P – Universität des Saarlandes

[muhlack@lst.uni-saarland.de](mailto:muhlack@lst.uni-saarland.de)



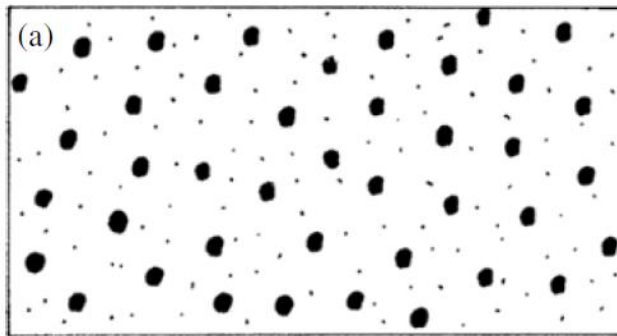
## Was ist eine Schallwelle?

- Schallwellen sind kleine Luftdruckunterschiede, die sich im Raum ausbreiten.
- Sie sind der akustische Vermittler zwischen einer Schallquelle (SprecherIn) und einem Empfänger (HörerIn)

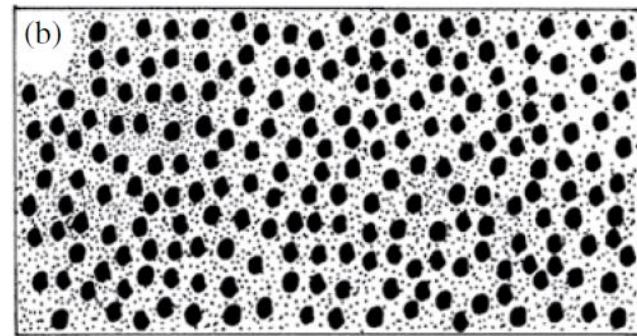
# Wiederholung Schall

Wie breitet sich Schall aus?

Luftmoleküle im Raum



niedriger Luftdruck

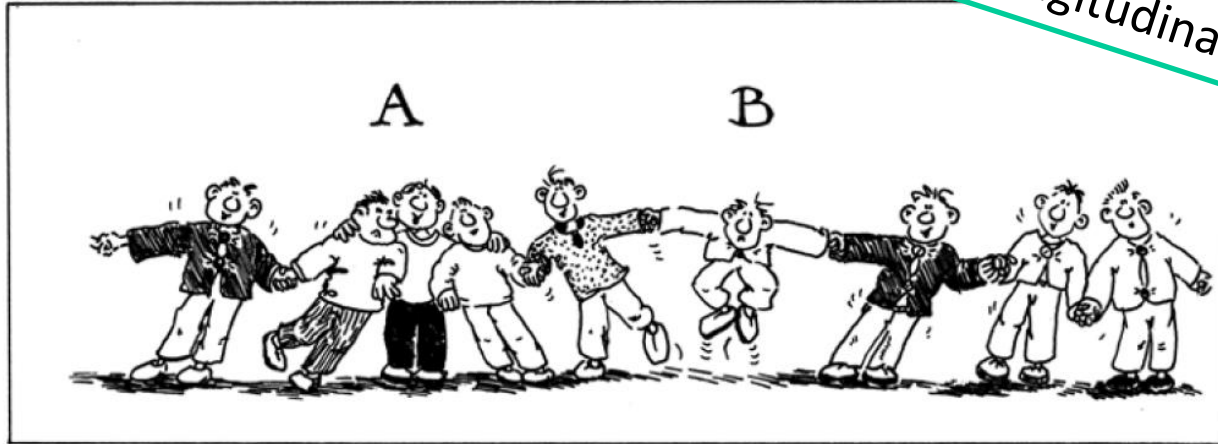


hoher Luftdruck

# Wiederholung Schall

Wie breitet sich Schall aus?

Longitudinalwellen



Luftmoleküle wie schunkelnde Personen in einer Reihe: Einer gibt den Impuls und die anderen machen die gleiche Bewegung zeitversetzt.

Die Bewegung läuft durch die Reihe, aber die Personen bewegen sich nicht von der Stelle. Sie schunkeln lediglich nach links und rechts.

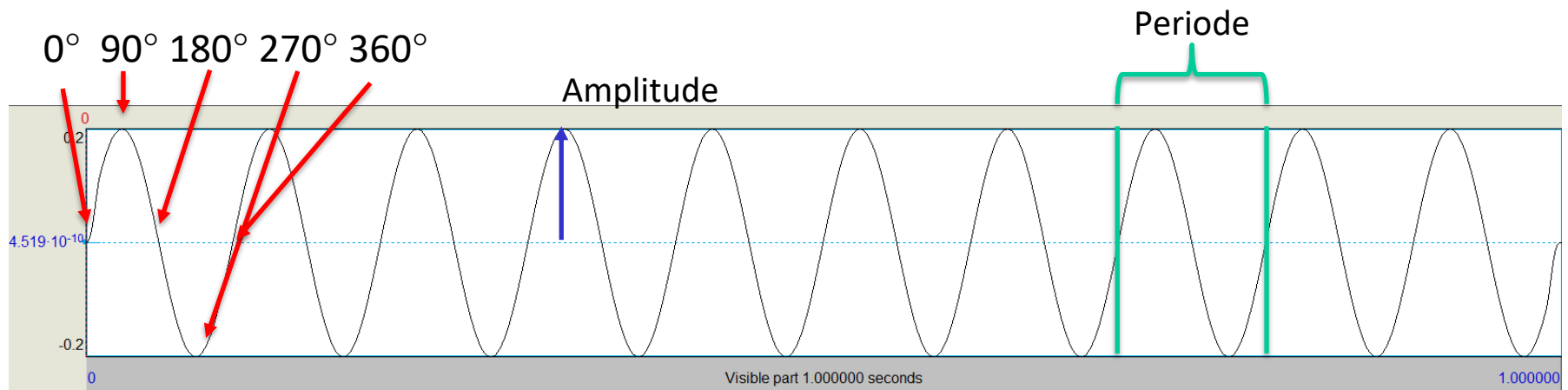
# Wiederholung Schallwellen

**Frequenz:** allgemein Häufigkeit pro Zeiteinheit. Hier Anzahl der Perioden pro Sekunde. Cycles per second (cps) = Hertz (Hz)

**Periode:** Anfang bis Ende eines sich wiederholenden Musters. Von einem Punkt auf der Welle, bis zum nächsten Punkt gleicher Phase.

**Phase:** Ein Zeitpunkt in einer Periode. Gemessen in Winkelgrad.

**Amplitude:** Abstand zwischen Nulllinie und Maximum. Größere Amplitude = Luftmoleküle bewegen sich mehr. (Personen schunkeln weiter nach links/rechts).



Welche Frequenz hat diese Schallwelle? 10 Hz (10 Perioden in der Sekunde)

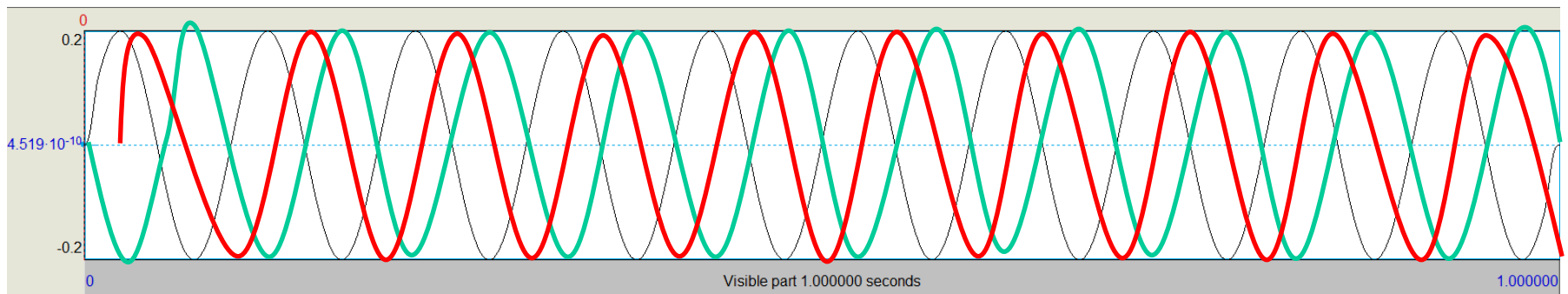
# Wiederholung Schallwellen

**Frequenz:** allgemein Häufigkeit pro Zeiteinheit. Hier Anzahl der Perioden pro Sekunde. Cycles per second (cps) = Hertz (Hz)

**Periode:** Anfang bis Ende eines sich wiederholenden Musters. Von einem Punkt auf der Welle, bis zum nächsten Punkt gleicher Phase.

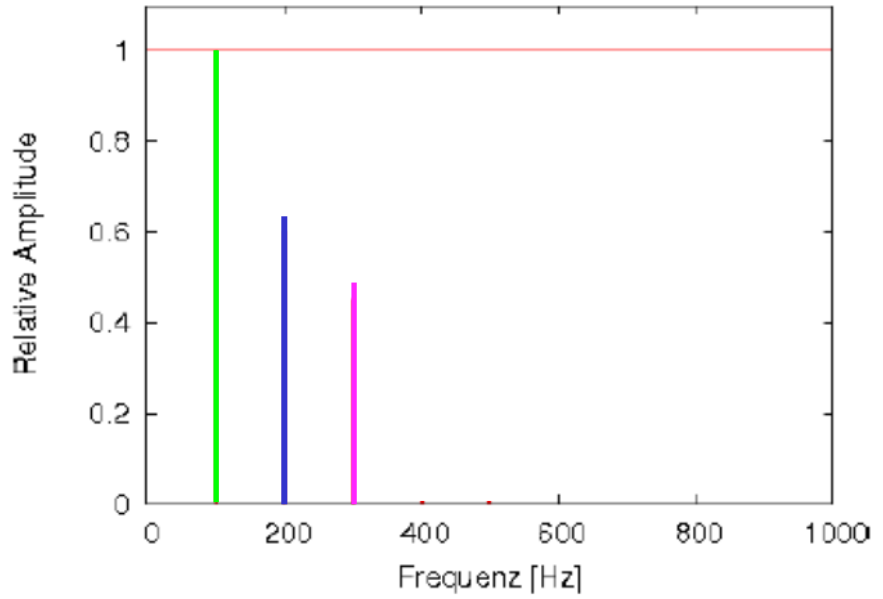
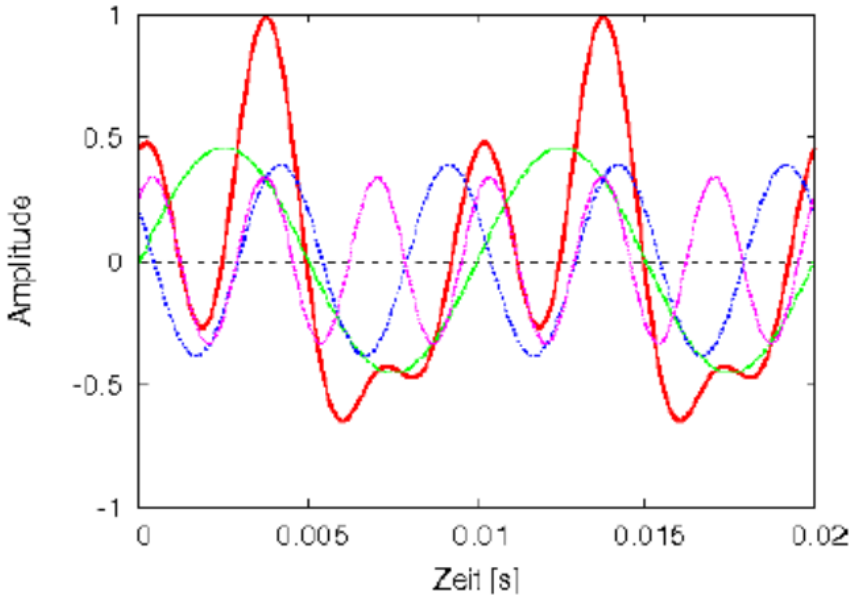
**Phase:** Ein Zeitpunkt in einer Periode. Gemessen in Winkelgrad.

**Amplitude:** Abstand zwischen Nulllinie und Maximum. Größere Amplitude = Luftmoleküle bewegen sich mehr. (Personen schunkeln weiter nach links/rechts).



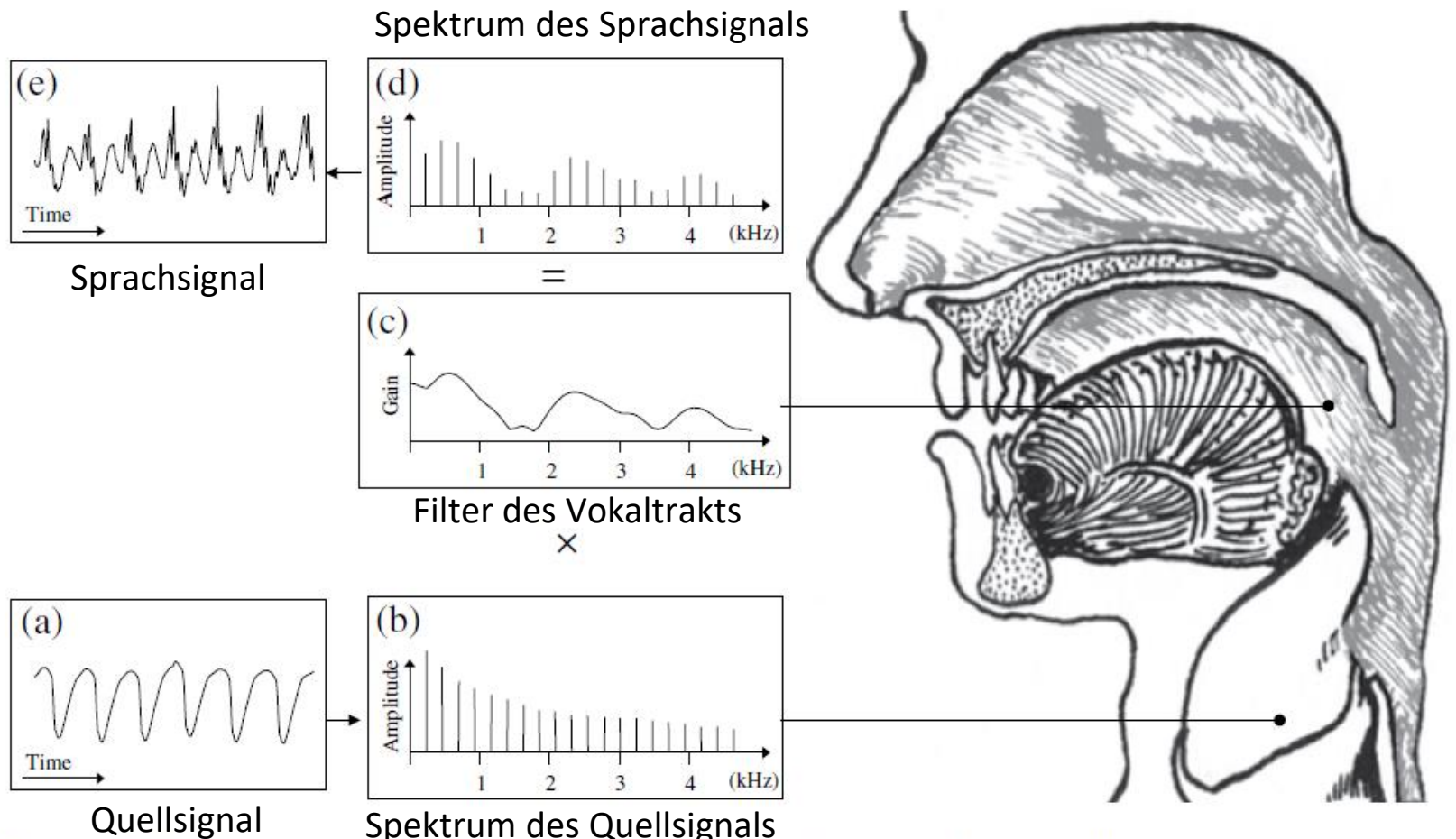
$90^\circ$     $180^\circ$

## Einfache Schallwellen vs. komplexe Schallwellen:



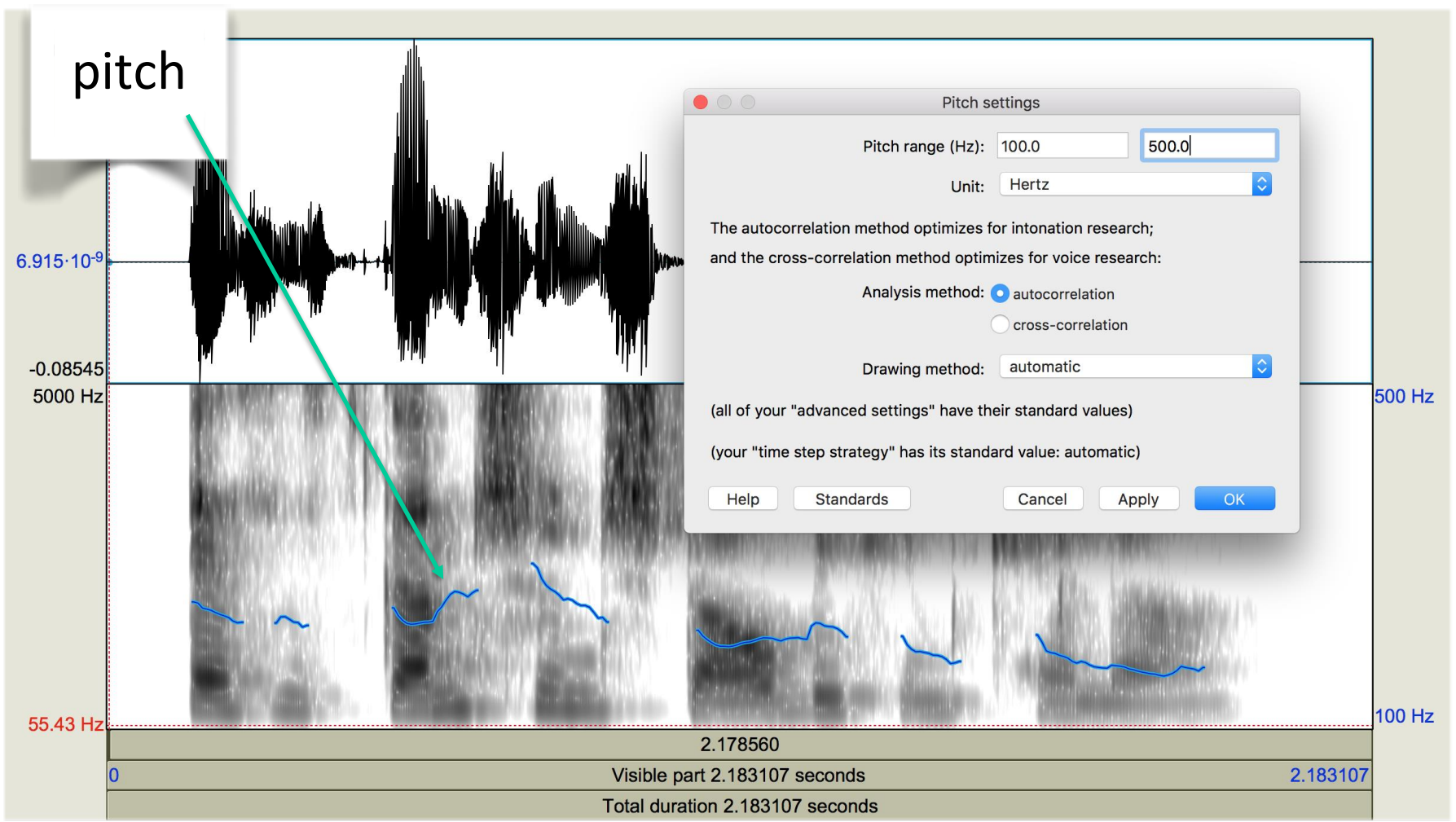
Spektrum

# Wiederholung Stimmproduktion



**Figure 9.9** Larynx signal (a), its spectrum (b), vocal tract filter spectrum (c), speech spectrum (d), and speech signal (e).

# Analyse: Grundfrequenz ( $f_0$ )

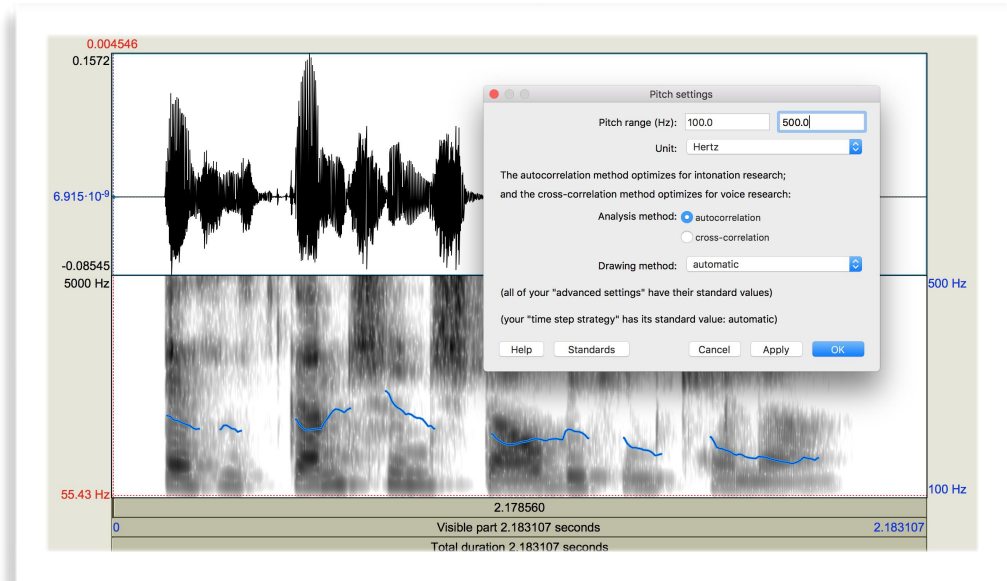


# Analyse: Grundfrequenz ( $f_0$ )

pitch

- nur für stimmhafte Laute berechnet
- *pitch range* ist sprecherabhängig
  - ▶ ♂ 75 - 300 Hz
  - ▶ ♀ 100 - 500 Hz
- `pitch listing`:  $f_0$  für Zeitpunkte in Auswahl
- `get pitch`: durchschnittliche  $f_0$  in Auswahl

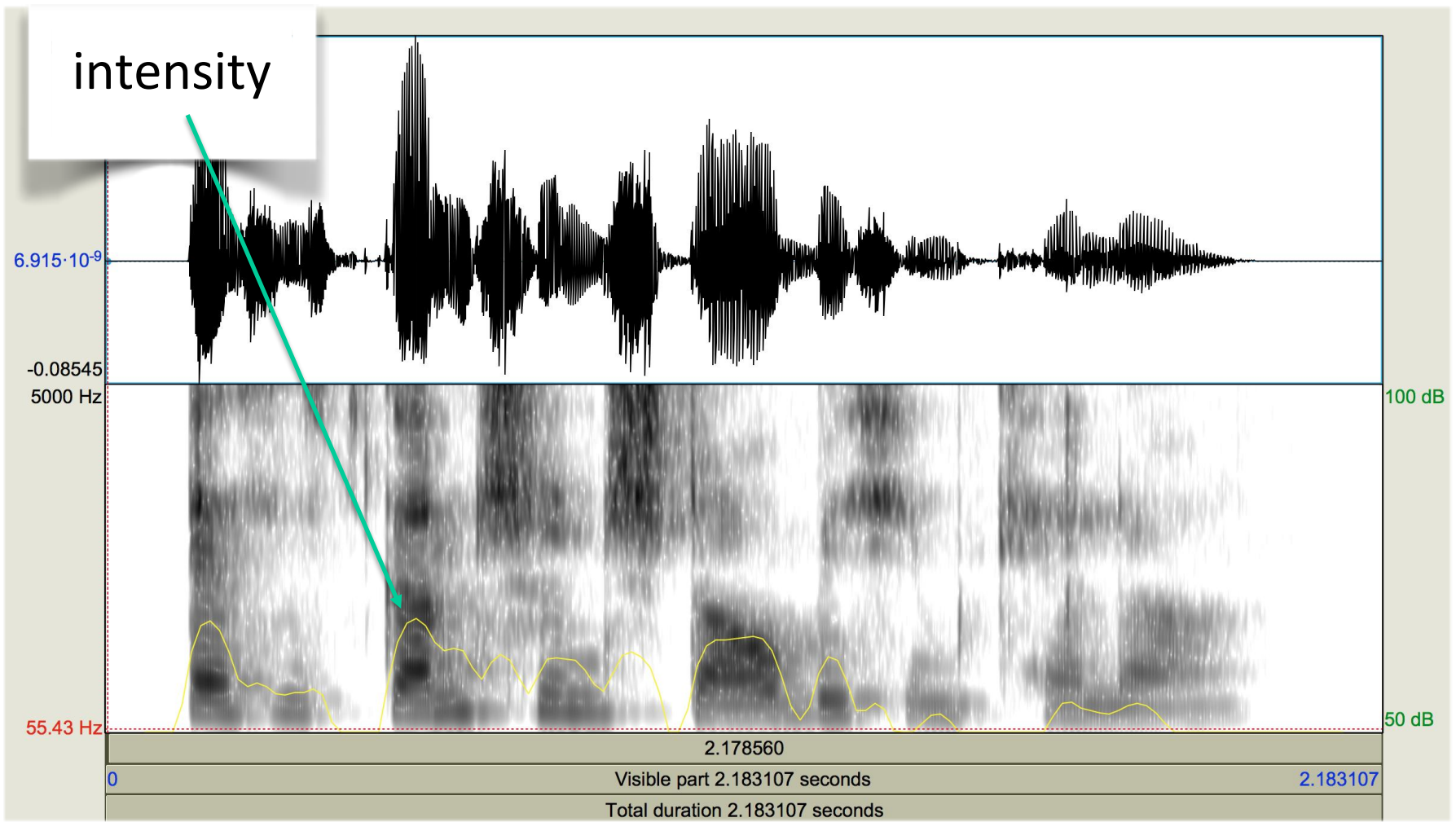
→ mittlere  $f_0$  und  $f_0$  Umfang in Äußerung



- `get minimum / maximum pitch`
- `draw visible pitch contour`: erstellt Abbildung im *Praat Picture* window
- `extract visible pitch contour`: erstellt *pitch object* im *Praat Object* window

→ declarative.wav →  
declarative.TextGrid

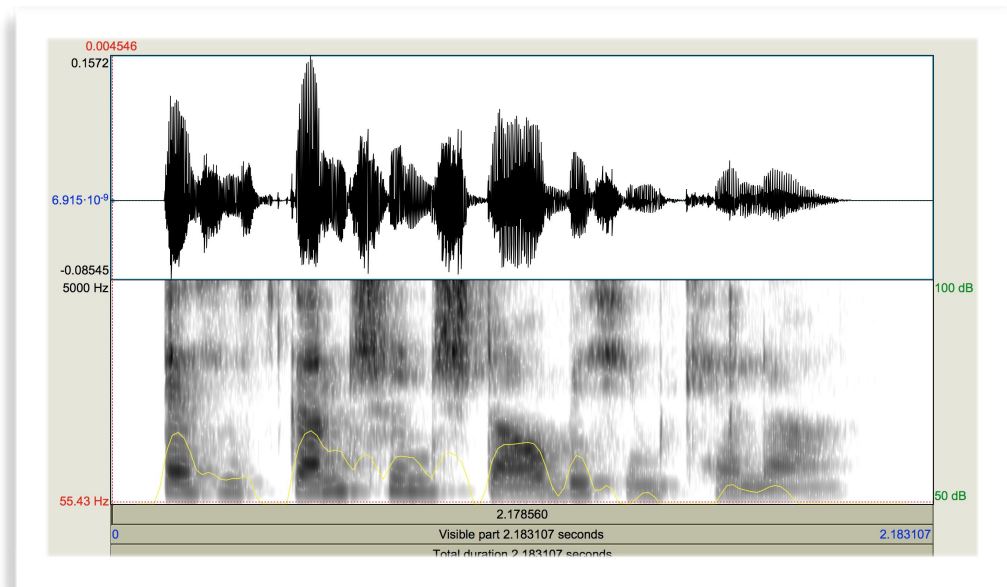
# Analyse: Lautstärke



# Analyse: Lautstärke

## intensity

- `intensity listing`: Lautstärke für Zeitpunkte in Auswahl
- `get intensity`: durchschnittliche Lautstärke in Auswahl

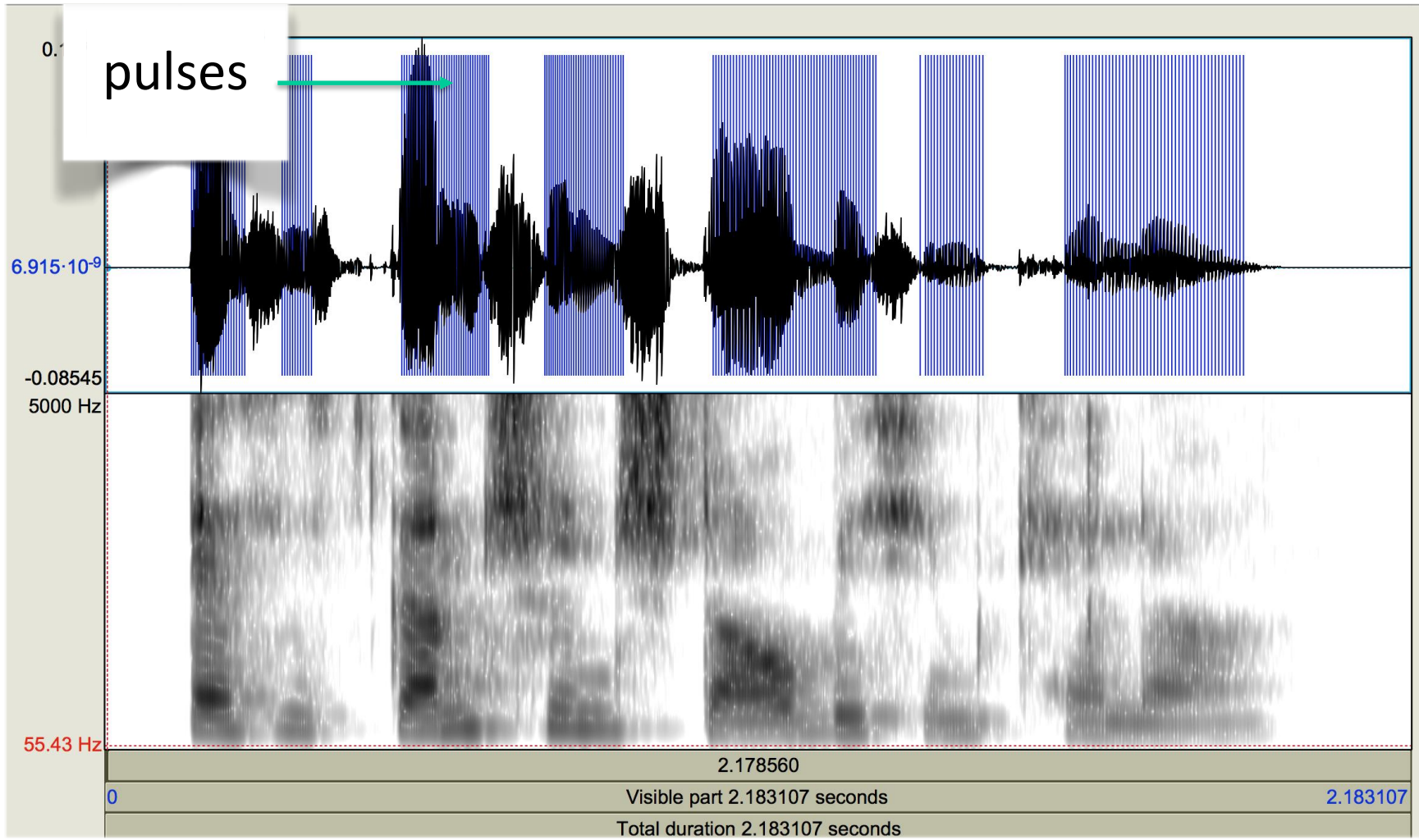


Lärm - Schallquellen Beispiele mit Abstand	Schalldruckpegel $L_p$ in dB
Düsenflugzeug in 30 m Entfernung	140
Schmerzschwelle	130
Unwohlseinschwelle	120
Kettensäge in 1 m Entfernung	110
Disco, 1 m vom Lautsprecher	100
Dieselmotor, 10 m entfernt	90
Rand einer Verkehrsstraße 5 m	80
Staubsauger in 1 m Entfernung	70
Normale Sprache in 1 m Abstand	60
Normale Wohnung, ruhige Ecke	50
Ruhige Bücherei, allgemein	40
Ruhiges Schlafzimmer bei Nacht	30
Ruhegeräusch im TV-Studio	20
Blättersaschneln in der Ferne	10
Hörschwelle	0

- `get minimum / maximum intensity`
- `draw visible intensity contour`: erstellt Abbildung im *Praat Picture* window
- `extract visible intensity contour`: erstellt *intensity object* im *Praat Object* window

→ mittlere Lautstärke in Äußerung

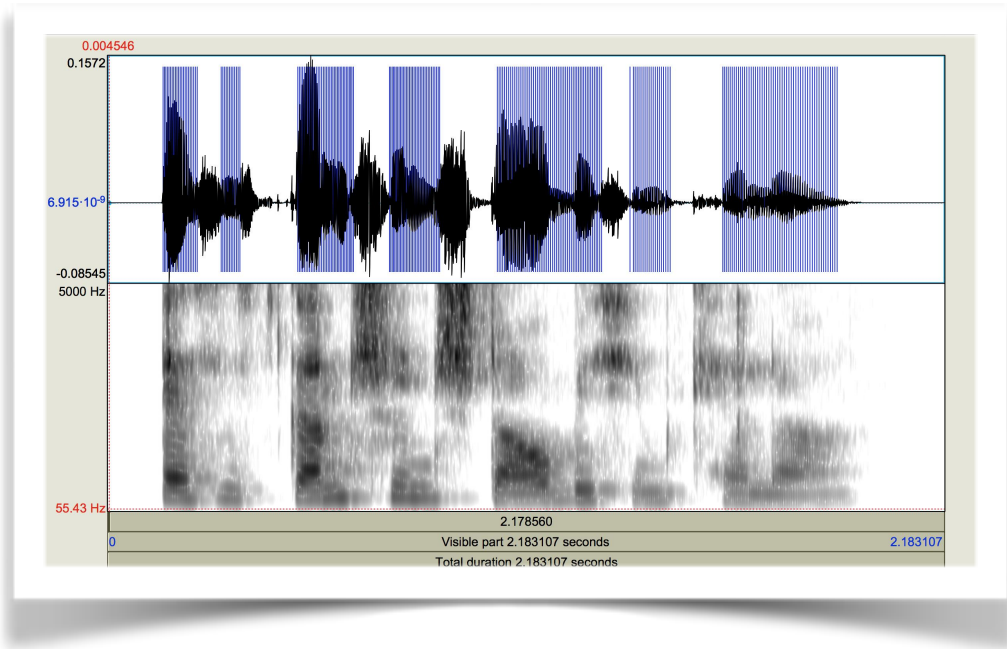
# Analyse: Glottisschläge



# Analyse: Glottisschläge

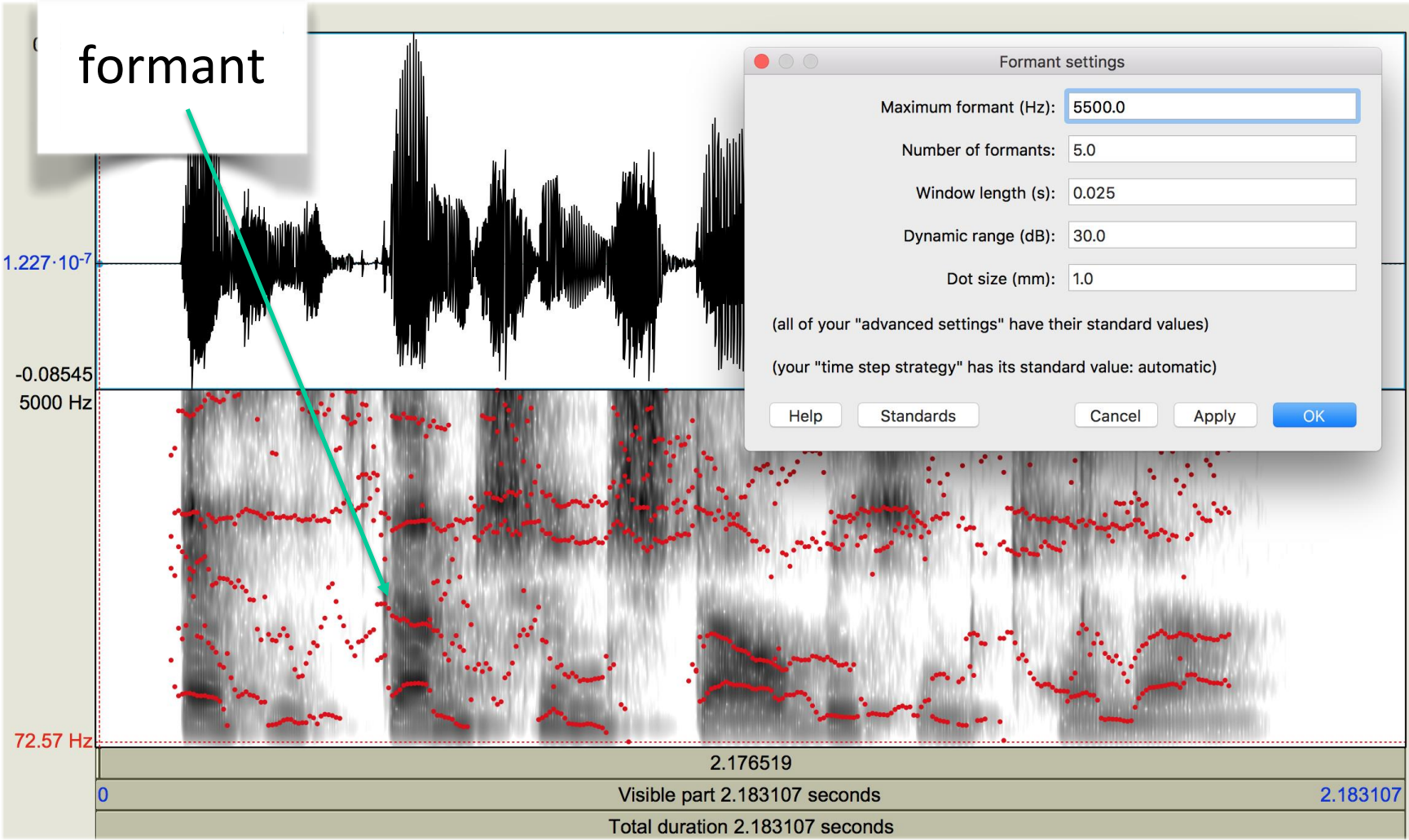
## pulses

- `pulse listing`: Zeitpunkte der Glottisschläge in Auswahl
- `voice report`: Informationen über Stimmqualität (*pitch settings* → *analysis method* → *cross-correlation*)



- `draw visible pulses`: erstellt Abbildung im *Praat Picture* window
- `extract visible pulses`: erstellt *point process object* im *Praat Object* window

# Analyse: Formanten



# Analyse: Formanten

## formant

- *maximum formant* ist sprecherabhängig

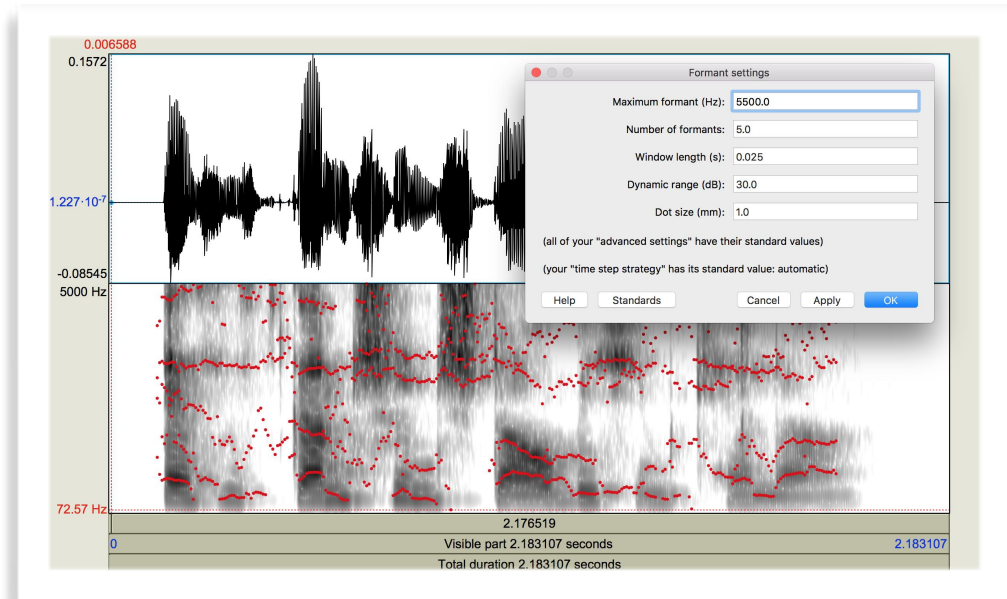
- ▶ ♂ 5.000 Hz
- ▶ ♀ 5.500 Hz

- *number of formants* bei 5 belassen

- formant listing: F1-F4 für Zeitpunkte in Auswahl

- get  
first/second/third/fourth

→ F1 und F2 für den Vokal in *declarative.wav*,  
gemessen in der Mitte des Lautes.



- draw visible formant contour: erstellt Abbildung im *Praat Picture window*
- extract visible formant contour: erstellt *formant object* im *Praat Object window*

# Analyse: Formanten

→ F1 und F2 für den Vokal in *declarative.wav*, gemessen in der Mitte des Lautes.

Time_s	F1_Hz	F2_Hz	F3_Hz	F4_Hz
1.37	703	1262	2172	3378

**Formanten der männlichen Sprecher (n=69)**

Laut	F1 in Hz	F2 in Hz
a	694	1372
a:	737	1275
e:	348	2126
ɛ	489	1817
ɛ:	482	1902
ɪ	369	1902
i:	263	2171
ə	517	1447

**Formanten der weiblichen Sprecher(n=58)**

Laut	F1 in Hz	F2 in Hz
a	836	1586
a:	896	1517
e:	434	2461
ɛ	608	2040
ɛ:	584	2166
ɪ	433	2095
i:	302	2533
ə	572	1763

Mittlere Formantwerte für männliche und weibliche Sprecher.

(aus: Sendlmeier and Seebode „Formantkarten des deutschen Vokalsystems“)

[...]

# Analyse: Formanten

→ F1 und F2 für den Diphthong in *declarative.wav*, gemessen in der jeweiligen Mitte des Teillautes.

Time_s	F1_Hz	F2_Hz	F3_Hz	F4_Hz
0.62	580	1557	2164	3033

Time_s	F1_Hz	F2_Hz	F3_Hz	F4_Hz
0.69	483	1758	2324	2762

**Formanten der männlichen Sprecher (n=69)**

Laut	F1 in Hz	F2 in Hz
a	694	1372
a:	737	1275
e:	348	2126
ɛ	489	1817
ɛ:	482	1902
ɪ	369	1902
i:	263	2171
ə	517	1447

**Formanten der weiblichen Sprecher(n=58)**

Laut	F1 in Hz	F2 in Hz
a	836	1586
a:	896	1517
e:	434	2461
ɛ	608	2040
ɛ:	584	2166
ɪ	433	2095
i:	302	2533
ə	572	1763

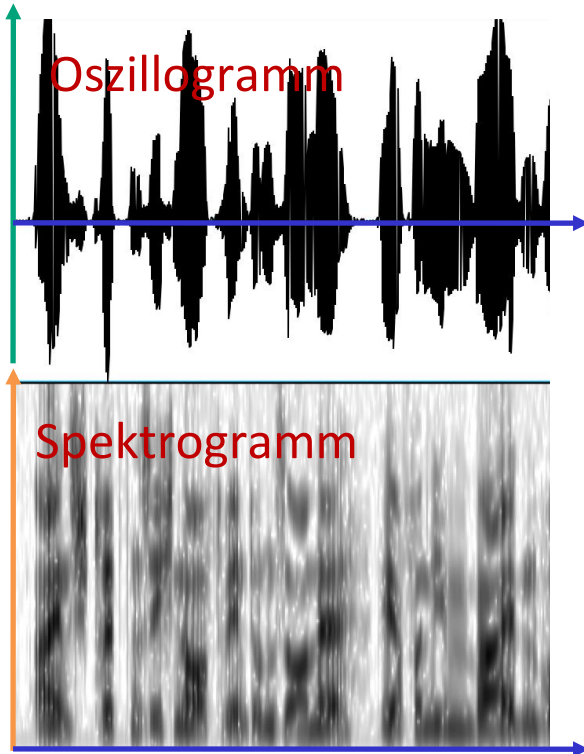
Mittlere Formantwerte für männliche und weibliche Sprecher.

(aus: Sendlmeier and Seebode „Formantkarten des deutschen Vokalsystems“)

[...]

# Ozillogramm und Spektrogramm

Um das Sprachsignal sichtbar zu machen, ...



...wird die Änderung des **Schalldrucks  $p$**  über der **Zeit  $t$**  aufgetragen.

...wird die **Frequenz  $f$**  über der **Zeit  $t$**  aufgetragen.

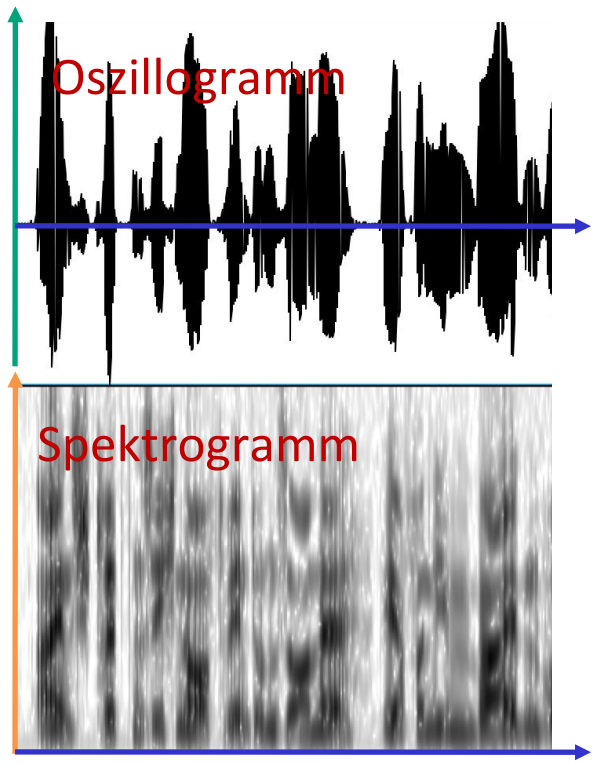
Der **Schalldruck  $p$**  wird hier über den Schwärzungsgrad erfasst.

Schalldruck → **Lautstärke**

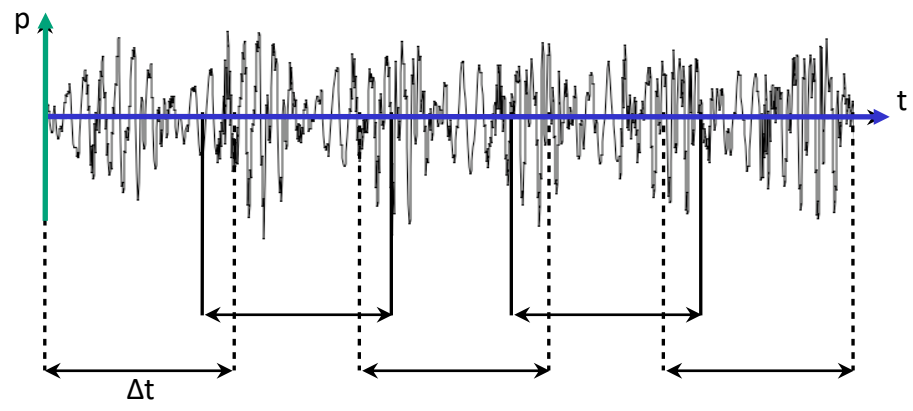
Zeit → **Dauer**

Frequenz → **Tonhöhe**

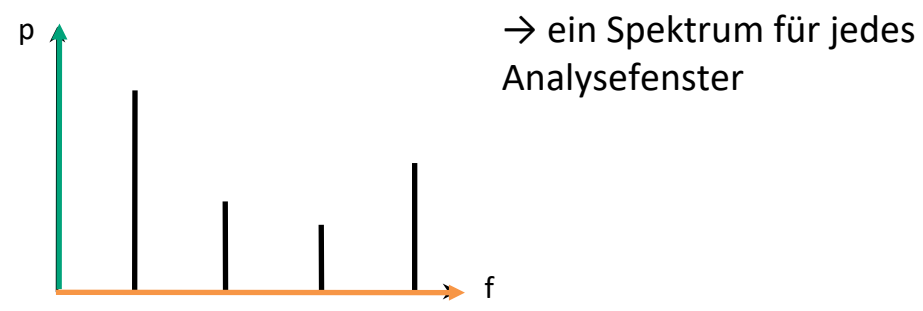
# Vom Oszillogramm zum Spektrogramm



(a) Fensterung



(b) Fourieranalyse



(c) Aneinanderreihung der Spektren zeitlich aufeinander folgender Analysefenster

# Übung 19a

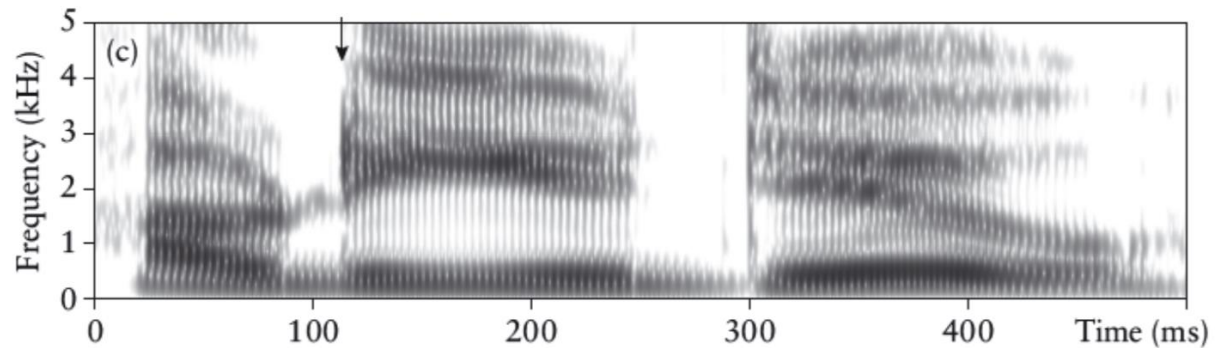
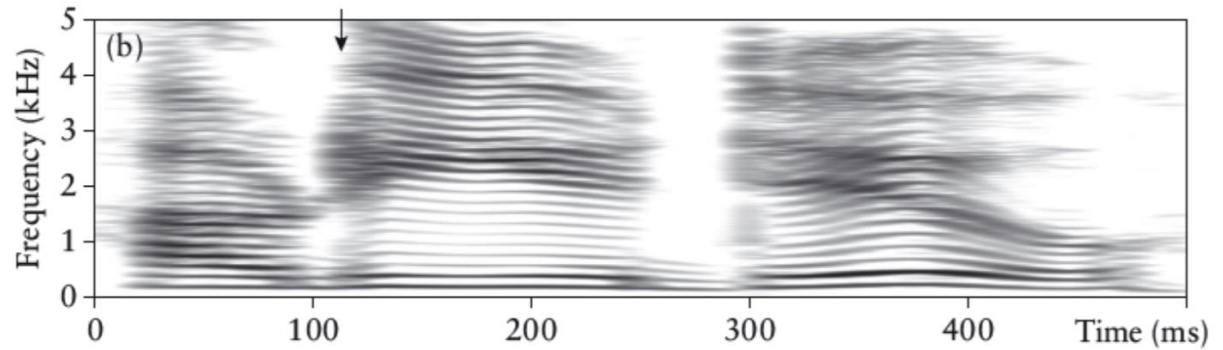
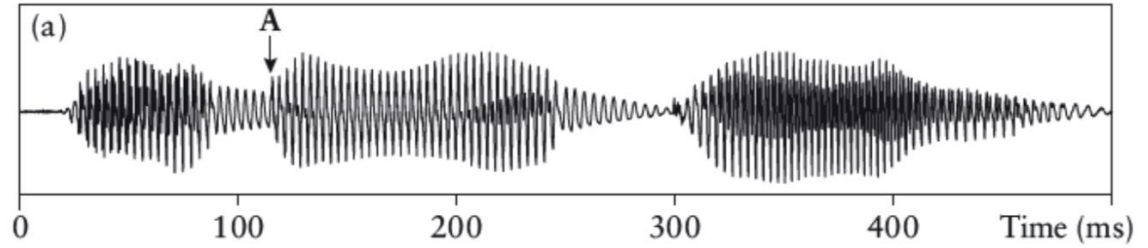
Was erkennst du in den beiden Spektrogrammen (b) und (c)?

✓ Harmonische\* (Obertöne)

✓ Glottisschläge

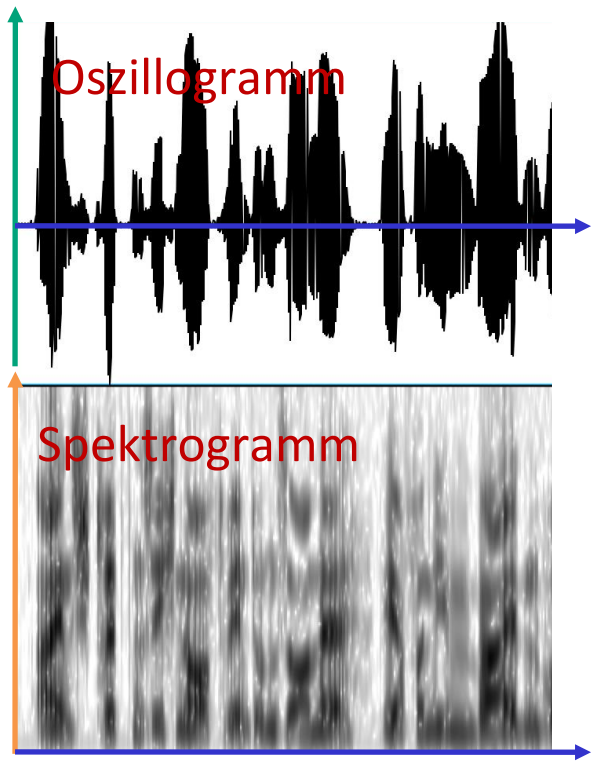
✓ Formanten

[ h   a   u   d   ɪ   j   u:   d   u   ə   ]

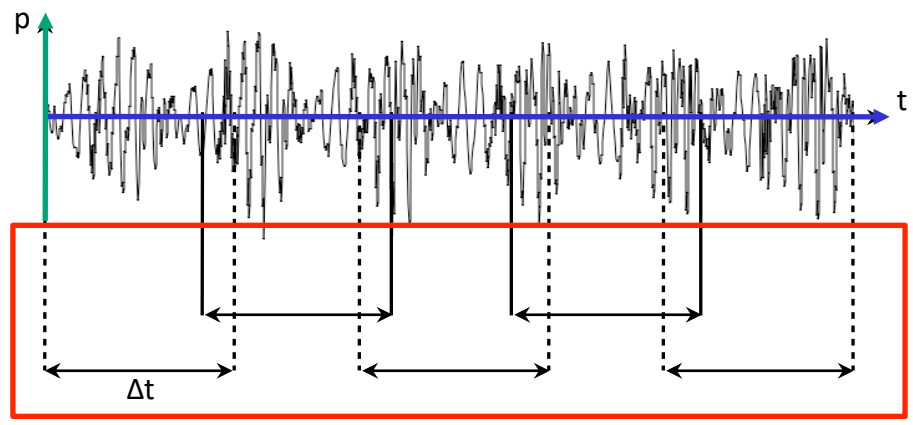


\*ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz (≠ Formanten)

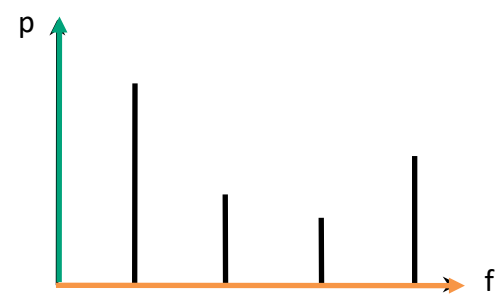
# Vom Oszillogramm zum Spektrogramm



(a) Fensterung



(b) Fourieranalyse

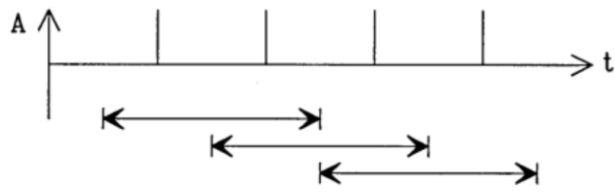


→ ein Spektrum für jedes Analysefenster

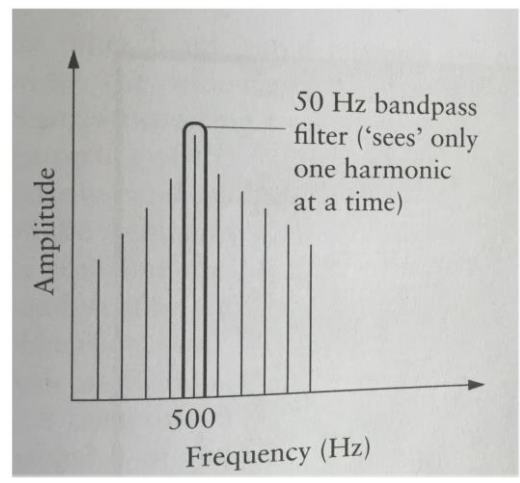
(c) Aneinanderreihung der Spektren zeitlich aufeinander folgender Analysefenster

# ...zum Spektrogramm

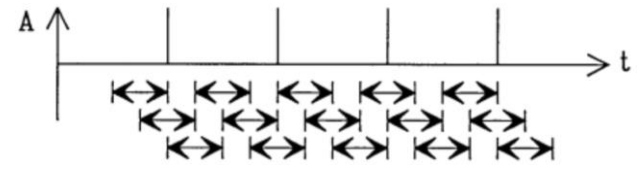
## Long Analysis Sections



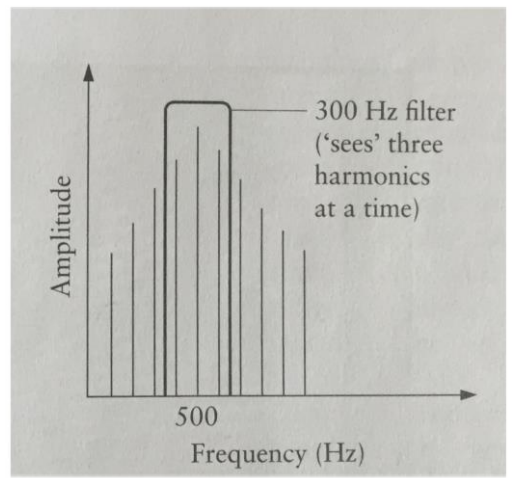
Analysefenster	z.B. 30 ms
Bandbreite	↳ 43 Hz
Spektrogramm	<b>Schmalband</b>



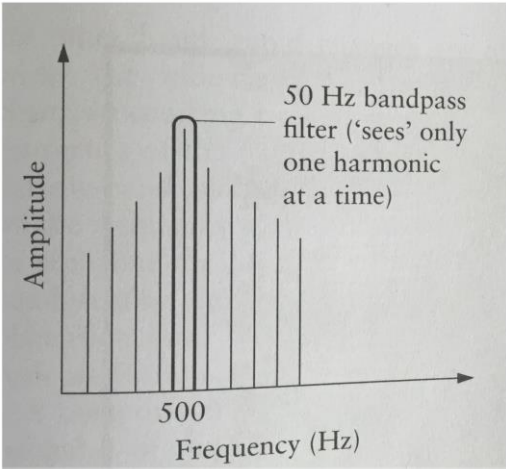
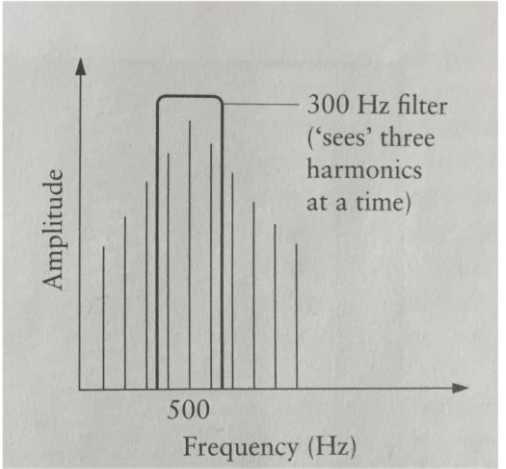
## Short Analysis Sections



Analysefenster	z.B. 5 ms
Bandbreite	↳ 260 Hz
Spektrogramm	<b>Breitband</b>



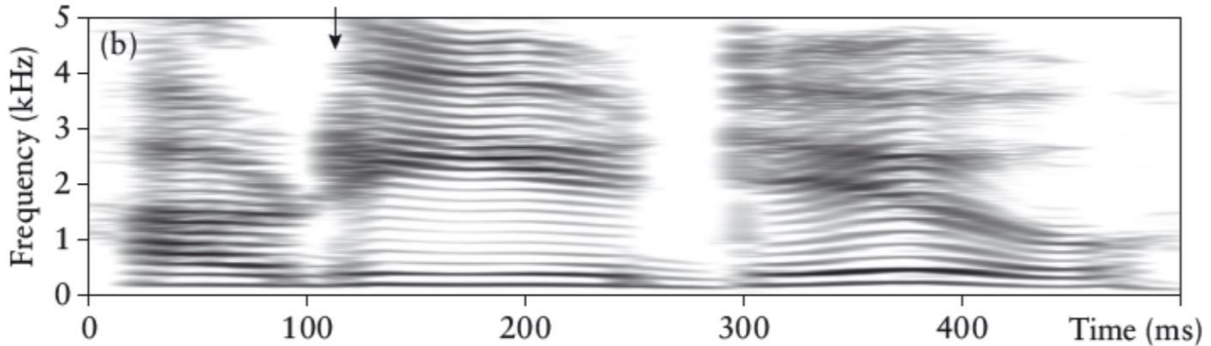
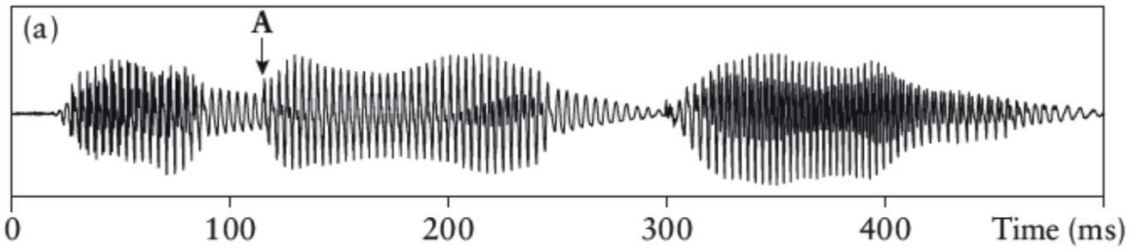
# ...zum Spektrogramm

Analysefenster	z.B. 30 ms	z.B. 5 ms
Bandbreite	↳ 43 Hz	↳ 260 Hz
Spektrogramm	<b>Schmalband</b>	<b>Breitband</b>
		
Zeit	niedrige Auflösung	hohe Auflösung
Frequenz	hohe Auflösung	niedrige Auflösung
Analyse	✓ Harmonische (Obertöne) ✓ Grundfrequenz / Intonation	✓ einzelne Glottisschläge ✓ Formantstruktur

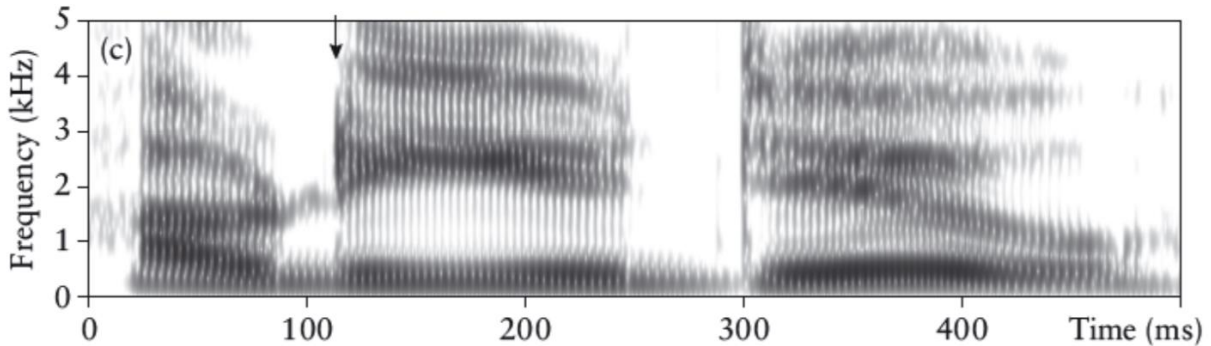
Ein kleines Fenster (d.h. *hohe zeitliche* Auflösung) hat eine *geringe spektrale* Auflösung und ein großes Fenster (d.h. *schlechte zeitliche* Auflösung) hat eine *hohe spektrale* Auflösung

# Übung 19b

[ h a u d r j u: d u ə ]

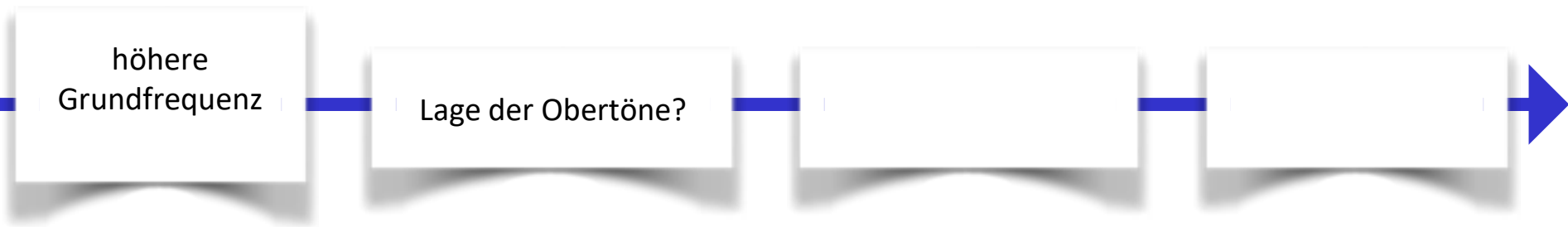
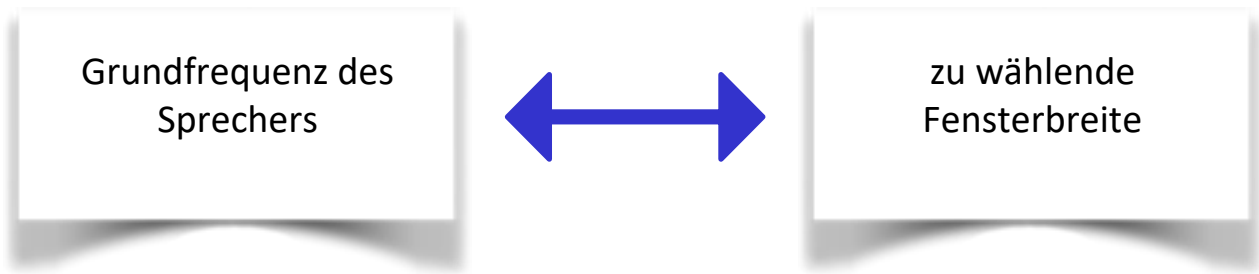


Schmalband-  
spektrogramm



Breitband-  
spektrogramm

# ...zum Spektrogramm



# ...zum Spektrogramm

Grundfrequenz des  
Sprechers



zu wählende  
Fensterbreite

höhere  
Grundfrequenz

Obertöne liegen  
weiter auseinander

Spektrogrammtyp  
für klare  
Formanten?

# ...zum Spektrogramm

Grundfrequenz des  
Sprechers



zu wählende  
Fensterbreite

höhere  
Grundfrequenz

Obertöne liegen  
weiter auseinander

breitbandigeres  
Spektrogramm für  
klare Formanten

Größe des  
Analysefensters?

# ...zum Spektrogramm

Grundfrequenz des Sprechers



zu wählende Fensterbreite

höhere Grundfrequenz

Obertöne liegen weiter auseinander

breitbandigeres Spektrogramm für klare Formanten

kleineres Analysefenster

## In Praat:

→ *Spectrogram settings...*

→ *Window length (s)*

Mann	5-6 ms
Frau	3-4 ms
Kind	2-3 ms

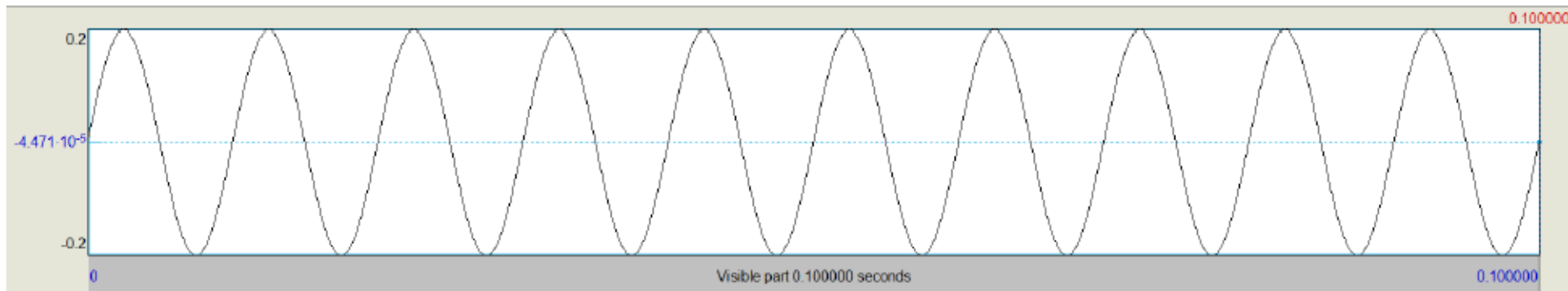
## Übungsblatt 2: Aufgaben zu Frequenz, Phase, Amplitude

### Übung 7 – Die Eigenschaften einer Schallwelle: Frequenz, Phase & Amplitude

Aufgabe 1) Bestimme die Frequenz für folgende Töne. 1 Hz = 1 Periode in der Sekunde.

Tipp:  $0,1 \text{ s} \cdot 10 = 1 \text{ Sekunde}$

a)



Reetz, Henning. (2003). Artikulatorische und akustische  
Phonetik. Wissenschaftlicher Verlag Trier.

