

Die menschliche Stimme

Prinzip: Blasinstrument → Luftraum setzt einen anderen in Schwingung (Stimmbänder lassen Luftstöße durch)

- Luftstoß = Rechteckimpuls → ungradzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind im Signal
- „einseitig geöffnetes Rohr“ → f mit $l = \frac{\lambda}{4}$ → stehende Wellen
- Veränderung der Resonanzfrequenz (→ Vokale)
- Zunge verändert die Lage → Andere Frequenz wird erzeugt (Rohrlänge wird geändert)
 - Bandpass mit einer Formantenfunktion
 - Alles, was mit offenem Mund möglich ist (Vokale: a, e, i, o, u)
 - Bei e und i → Erzeugung von 2 stehenden Wellen
- Erzeugung von Knoten an verschiedenen Stellen → Erzeugung von verschiedenen Frequenzen

Was kann man verändern??

- Druck → ändert die Lautstärke
- Spannung der Stimmbänder → ändert die Grundfrequenz
- Form der Stimmritze

Frequenzbereiche von Stimmen:

- Frauen/Kinder: 230...330Hz
- Männer: 90...140Hz

Gesangsstimmen: 2 Oktaven = 2x Frequenzverdopplung

- Sopran kann man bei z.B. u nicht verstehen, weil Formanten außerhalb des Gesangsbereichs → Laute klingen wie i und e
- da keine Abhilfe möglich ist (→ Formanten sind festgelegt), wird der Text auf die Stimme angepasst
- Bassstimme wird eher auf a, o, u angelegt, weniger auf e und i
- Kopfstimme: Nasenraum wird mit genutzt

Vergleich der Stimmlagen im Frequenzbereich:

- Sängersformant → Verwendung eines extra Formanten, um die Instrumente zu übertönen
- Buchstaben (Vokale) könnten über Tonhöhen ein eigenes Alphabet ergeben, mit welchem kommuniziert werden könnte
- Laute: Vokale, Zischlaute (keine Frequenz des Kehlkopfs, geräuschhaft, kontinuierliche Spektren bis über die Hörgrenze hinaus), stimmhafte Konsonanten (harmonische Klänge, Grundfrequenz Sprechtonhöhe, zusätzliche harmonische Spektralanteile)
- Mikrofon verstärkt hohe Frequenzen heftiger als niedrige
 - Sprecher am Mikrofon vorbeisprechen lassen, um Zischlaute zu vermeiden (hohe Frequenzen werden gerichtet abgestrahlt)
- Explosivlaute: B, D, G, K, P, T → am Mikrofon einen Popschutz anbringen
- Näselsformant: Nase zuhalten, Schnupfen → nasal Klang (1,5-2kHz) → am EQ rausziehen
 - bei Instrumenten diese Frequenzen nicht rein drehen (Ausnahme: Saxophon)
- Flüstern: keine Kehlkopfschwingung → „Einschaltimpuls“

Aufgabe:

Eine Sopranistin erzeugt in 1m Entfernung einen maximalen Schalldruck von $\tilde{p}_{\max} = 2,54Pa$. Ein Cello erzeugt in 3m Entfernung einen maximalen Schalldruck von $\tilde{p}_{\max} = 0,48Pa$. Welche der Schallquellen erzeugt in 1m Entfernung den höheren Schalldruckpegel?

Rechnung:

1. Sopranistin

$$\tilde{p}_{\max} = 2,54Pa \rightarrow L_{\tilde{p}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{2,54Pa}{2 \cdot 10^{-5} Pa}\right) = 102,1dB$$

2. Cello

$$\tilde{p}_{\max} = 0,48Pa \rightarrow L_{\tilde{p}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{0,48Pa}{2 \cdot 10^{-5} Pa}\right) = 88dB$$

$$r = 3m \rightarrow L_{\tilde{p}} = L_J = 88dB \rightarrow J = 576 \frac{W}{m^2}$$

$$576 \frac{W}{m^2} (r = 3m) \xrightarrow{\text{Abnahme mit } \frac{1}{r^2}} 5,184 \frac{W}{m^2} (r = 1m)$$

$$L_J = L_{\tilde{p}} = 97dB$$

Alternative Rechnung Cello:

$$J \sim \frac{1}{r^2} \rightarrow J = \tilde{p} \cdot \tilde{v} = \frac{\tilde{p}^2}{Z_0}; Z_0 = \frac{\tilde{p}}{\tilde{v}} \rightarrow \tilde{p} \sim \frac{1}{r}$$

$$\frac{\tilde{p}_2}{\tilde{p}_1} = \frac{\frac{1}{r_1}}{\frac{1}{r_2}} = \frac{r_2}{r_1} \rightarrow \frac{\tilde{p}_C(1m)}{\tilde{p}_C(3m)} = \frac{3}{1} \rightarrow \tilde{p}_C(1m) = 3 \cdot \tilde{p}_C(3m) = 3 \cdot 0,48Pa = 1,44Pa$$

$$L_{\tilde{p}} = 97dB$$

Lösung:

Die Sopranistin ist in 1m Entfernung um 5dB lauter als das Cello. Von der Wahrnehmung her ist dies nicht doppelt so laut (siehe Kurven gleicher Lautheit).

Sprache:

- Sprache ändert sich dauernd in Lautstärke (Pegel) \rightarrow Impulskraft
- $1,5 \cdot 10^{-2} Pa$ Unterhaltung \rightarrow gemittelter Wert
- starke Impulshaftigkeit \rightarrow Mittelwert liegt sehr niedrig \rightarrow Peaks wesentlich lauter
- Höreindruck bei Sprache durch Mittelwert gegeben \rightarrow Ohr integriert
- Spitzenpegelunterschied etwa 12dB \rightarrow Reserve bei Aufnahmen (clippingfreie Aufnahmen)
- Hinweise für Radio:
 - o Magazinsendungen mit Popmusik \rightarrow Musik um 3dB höher als Sprache
 - o Sendung mit E-Musik (Klassik, Jazz, Akustik) \rightarrow Sprache um 6dB lauter als Musik

Ton und Notation

Frequenzbereiche:

- Sub-Bass: bis 25Hz
- Bass: 25 - 120Hz
- untere Mitten: 120 - 350Hz
- Mitten: 350 - 2000Hz
- obere Mitten: 2 - 8kHz
- Höhen: 8 - 22kHz
- obere Höhen: 12 - 22kHz (Airband)

Notensystem:

Aufbau von Takten:

- Notenreihe beginnt mit Schlüssel (Kennzeichnung eines Tons zur Orientierung)
- Angabe der Geschwindigkeit in BPM (Beats per Minute = Schläge pro Minute) → z.B. BPM=142 → 1/142 Minuten pro Viertel (Auf Angabe in den Noten achten, zum Teil wird auch die Geschwindigkeit an halben Noten festgelegt)
- Taktart: z.B. 3/4 -Takt, 4/4 -Takt (Rhythmus des Stücks, regelmäßige Wiederholung)
- Vorzeichen: Kreuz, B
- Dynamikstufen:
 - o ppp piano pianissimo
 - o pp pianissimo
 - o p piano (leise)
 - o mp mezzo piano (mittelleise)
 - o mf mezzo forte (mittellaut)
 - o f forte (laut)
 - o ff fortissimo
 - o fff forte fortissimo
- Stufen hängen von subjektivem Eindruck ab (→ Raumsituation)
- Wichtig: Gitarre klingt eine Oktave tiefer, als sie notiert ist

Geschichte:

- Seikolos Epitaph → Spielanweisung für eine Laute → erste Form der Notation
- hat sich im kirchlichen Stil weiterentwickelt
- 9. Jh. in Klöstern → Art Musikschrift → Neumen im Liniensystem → Hilfestellung beim Singen der Musikspur (geht hoch oder runter) → 4 Linien (Dauer per Abstand erkennbar)
- Solmisationssilben → do, re, mi, fa, so, la, si
- Computer für Notendruck: erste Versuche in den 60ern, 90er Jahre → erste ernsthafte Ergebnisse
- oft ist ein professionell gesetzter Notensatz angenehmer zu lesen

Gitarrentabulatur: Notation der Positionen der Finger auf den Seiten

Bassschlüssel:

- f wird gekennzeichnet, tiefe Instrumente haben einen anderen Frequenzbereich
- Akkordbildung unter den Noten → z.B. Quartsextakkord $\frac{6}{4}$ → Kurzform für Bass

Braille-Notenschrift (Blindennotenschrift):

- Töne werden in Zeichenfolge codiert

Graphische Notation:

- Striche für die Tondauer
- schnelleres/langsameres Spielen durch zusätzliche Striche und deren Abstand
- Welle: unregelmäßiges Spielen
- kurze/lange Fernante (Note/Pause halten, Länge hängt vom musikalische Zusammenhang ab)

Hilfslinien:

- zu viele Verursachen Chaos beim Ablesen (sollten noch zählbar sein)

Töne der DUR-Tonleiter

- b zu h war vermutlich ein Abschreibfehler
- Tonleiter c-a
- 2 Ganztonschritte, 1 Halbtonschritt, 3 Ganztonschritte, 1 Halbtonschritt → Klavier, weiße Tasten → DUR Tonleiter
- Oktave → Frequenzverhältnis 2:1 → Ohr empfindet das sehr passend → 1. Harmonische
- Quinte → Frequenzverhältnis 3:2 → abnehmende Kontonanz → Dissonanz
- DIN Norm → $a' = 440\text{Hz}$ (Kammerton)

Aufgabe:

Gesucht ist die Frequenz von e' .

Lösung:

- Notenschritte zählen (beteiligte Note mitzählen) → auf der Tonleiter bewegen

$e' - f' - g' - a' \rightarrow$ Quarte, 4 Schritte \rightarrow Frequenzverhältnis 4:3

$$\rightarrow \frac{a'}{e'} = \frac{4}{3} \rightarrow e' = \frac{3}{4} \cdot a' = \frac{3 \cdot 440\text{Hz}}{4} = 330\text{Hz}$$

Aufgabe:

Ein Rohr hat eine bestimmte Länge (beidseitig offen, $l=2\text{m}$). Welche musikalische Note kann man damit erzeugen?

Rechnung:

$$f_n = n \cdot \frac{c}{2l} \xrightarrow{n=1} f_1 = \frac{343 \frac{m}{s}}{2 \cdot 2m} = 85,75\text{Hz}$$

$$a' = 440\text{Hz} \rightarrow a = 220\text{Hz} \rightarrow A = 110\text{Hz}$$

$$\frac{A}{?} = \frac{110\text{Hz}}{85,75\text{Hz}} = 1,28 \approx \frac{5}{4} \rightarrow \text{große Terz} \rightarrow E$$

Lösung:

Man könnte mit diesem Rohr das große E erzeugen.

Temperierte Stimmung (Klavier):

- für benachbarte Halbtöne $\rightarrow \frac{f_2}{f_1} = \sqrt[12]{2} \approx 1,06$
 - im Gegensatz zur reinen Stimmung (z.B. Geige) \rightarrow ganzzahlige Verhältnisse
- Klavier nähert die zwei Frequenzen der Halbtöne ungefähr an