

5. PK - Ball Sound

Wie entwickelt sich der Ton, der beim Zusammenstoß zweier Metallkugeln entsteht?

Leonard Hackel und Niklas Schelten

Herder Oberschule Berlin

21. März 2015

1 Das Experiment

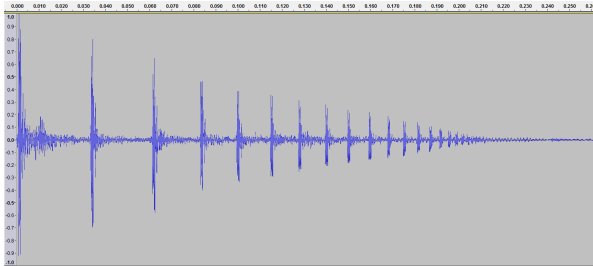
- Vorführung
- Zusammensetzung des Tons
- Simulation

2 Physikalische Analyse

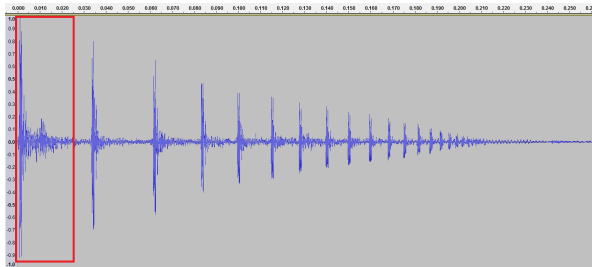
- Chirp
 - Physikalische Beschreibung des Tons
 - Verallgemeinerung
- Peak
 - Frequenz

Experiment

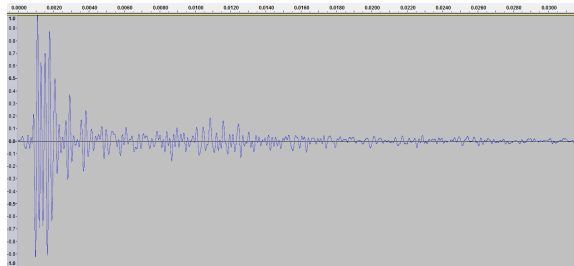
Chirp



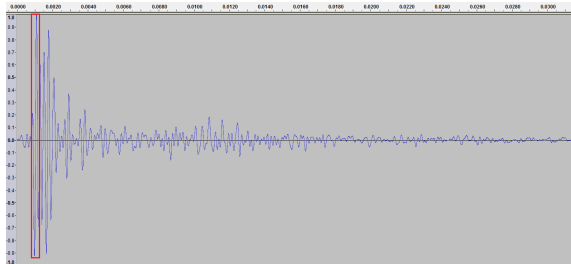
Chirp



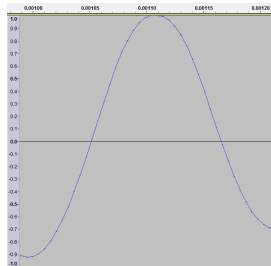
Peak



Peak



PeakPeak



Frequenzen

- Chirp Frequenz

Frequenzen

- Chirp Frequenz
 - Anzahl der Peaks pro Sekunde

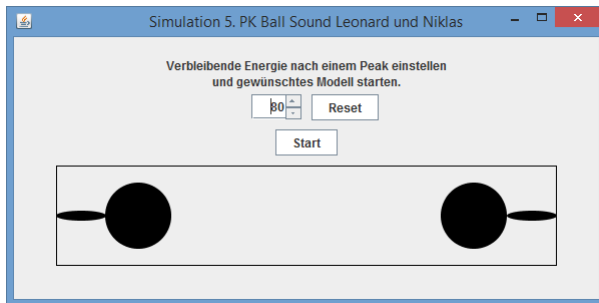
Frequenzen

- Chirp Frequenz
 - Anzahl der Peaks pro Sekunde
- Peak Frequenz

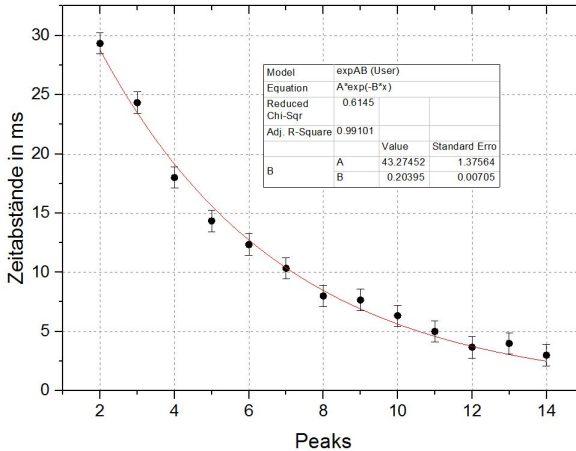
Frequenzen

- Chirp Frequenz
 - Anzahl der Peaks pro Sekunde
- Peak Frequenz
 - Anzahl der PeakPeaks pro Sekunde

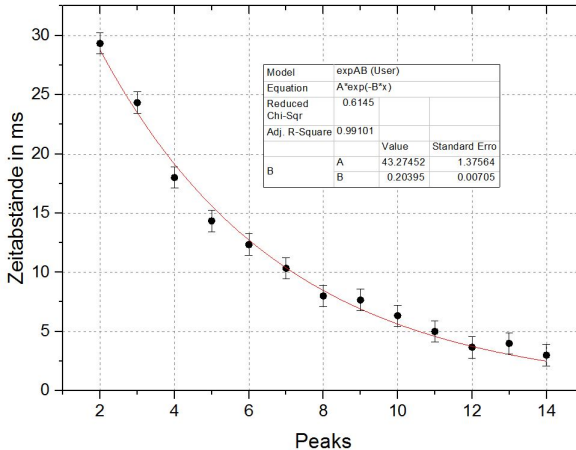
Simulation



Periodendauer

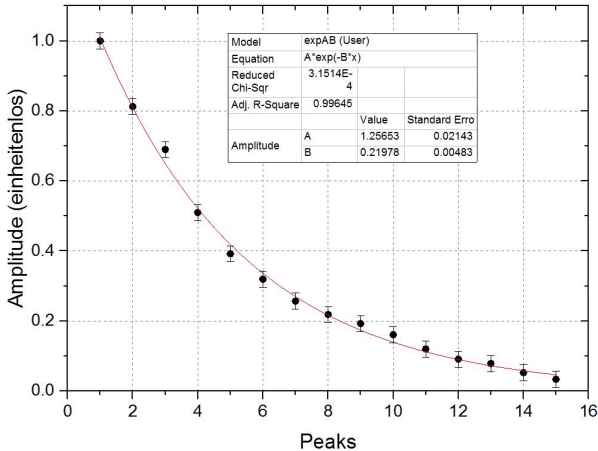


Periodendauer

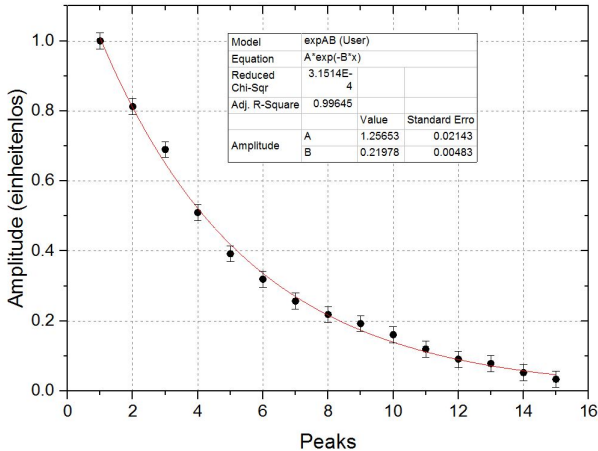


- $\delta_n = \delta_1 \cdot b^{n-1}$
mit $0 \leq b < 1$

Amplitude



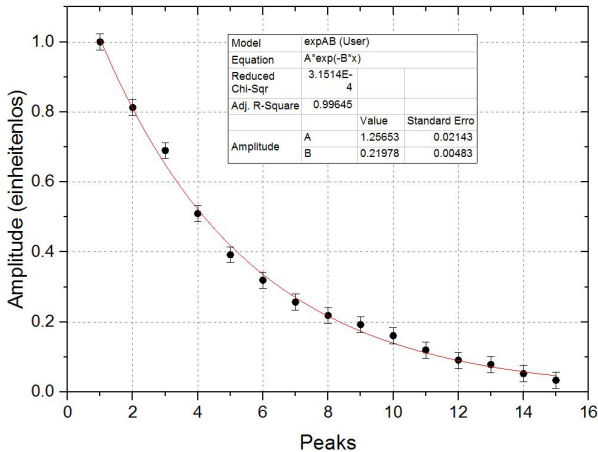
Amplitude



$$\bullet y_n = a \cdot y_{n-1}$$

mit $0 \leq a < 1$

Amplitude



- $y_n = a \cdot y_{n-1}$
mit $0 \leq a < 1$
- $\Leftrightarrow y_n = a^n \cdot y_0$

Gleichsetzung

- beides nach n umformen:

Gleichsetzung

- beides nach n umformen:

→ Periode: $n = \frac{\log\left(1 - \frac{t_n}{t_{ges}}\right)}{\log b}$

Gleichsetzung

- beides nach n umformen:

$$\rightarrow \text{Periode: } n = \frac{\log\left(1 - \frac{t_n}{t_{\text{ges}}}\right)}{\log b}$$

$$\rightarrow \text{Amplitude: } n = \frac{\log \frac{y_n}{y_0}}{\log a}$$

Gleichsetzung

- beides nach n umformen:
 - Periode: $n = \frac{\log\left(1 - \frac{t_n}{t_{ges}}\right)}{\log b}$
 - Amplitude: $n = \frac{\log \frac{y_n}{y_0}}{\log a}$
- Gleichsetzen und nach y_n umformen:

Gleichsetzung

- beides nach n umformen:
 - Periode: $n = \frac{\log\left(1 - \frac{t_n}{t_{ges}}\right)}{\log b}$
 - Amplitude: $n = \frac{\log \frac{y_n}{y_0}}{\log a}$
- Gleichsetzen und nach y_n umformen:
 - $y_n = y_0 \cdot \left(1 - \frac{t_n}{t_{ges}}\right)^{\frac{\log a}{\log b}}$

Verallgemeinerung - warum

- unterschiedliche rücktreibende Kräfte

Verallgemeinerung - warum

- unterschiedliche rücktreibende Kräfte
 - Gravitation

Verallgemeinerung - warum

- unterschiedliche rücktreibende Kräfte
 - Gravitation
 - Magnetkraft

Verallgemeinerung - warum

- unterschiedliche rücktreibende Kräfte
 - Gravitation
 - Magnetkraft
 - Federkraft

Verallgemeinerung - warum

- unterschiedliche rücktreibende Kräfte → Potenz des Weges
 - Gravitation
 - Magnetkraft
 - Federkraft

Verallgemeinerung - warum

- unterschiedliche rücktreibende Kräfte → Potenz des Weges
 - Gravitation → nahezu s^0
 - Magnetkraft
 - Federkraft

Verallgemeinerung - warum

- unterschiedliche rücktreibende Kräfte \rightarrow Potenz des Weges
 - Gravitation \rightarrow nahezu s^0
 - Magnetkraft $\rightarrow s^{-2}$ (homogen)
 - Federkraft

Verallgemeinerung - warum

- unterschiedliche rücktreibende Kräfte \rightarrow Potenz des Weges
 - Gravitation \rightarrow nahezu s^0
 - Magnetkraft $\rightarrow s^{-2}$ (homogen)
 - Federkraft $\rightarrow s^1$

Verallgemeinerung - Ansatz

- $F = c \cdot s^a$

Verallgemeinerung - Ansatz

- $F = c \cdot s^a$

→ $E = \frac{c}{a+1} \cdot s^{a+1}$

Verallgemeinerung - Ansatz

- $F = c \cdot s^a$
- $E = \frac{c}{a+1} \cdot s^{a+1}$
- Schwingung zwischen dieser und kinetischer Energie

Verallgemeinerung - Ansatz

- $F = c \cdot s^a$
- $E = \frac{c}{a+1} \cdot s^{a+1}$
- Schwingung zwischen dieser und kinetischer Energie
 - $\frac{m}{2} v^2 + \frac{c}{a+1} \cdot s^{a+1} = \text{konst}$

Verallgemeinerung - Ansatz

- **Durch Ableiten:**

Verallgemeinerung - Ansatz

- **Durch Ableiten:**

$$\frac{m \cdot 2v \cdot \dot{v}}{2} + c \cdot s^a \cdot \dot{s} = 0$$

Verallgemeinerung - Ansatz

- **Durch Ableiten:**

$$\frac{m \cdot 2v \cdot \dot{v}}{2} + c \cdot s^a \cdot \dot{s} = 0$$

$$\Leftrightarrow m \cdot \ddot{s} + c \cdot s^a = 0$$

Verallgemeinerung - Numerische Simulation

- nicht-lineare Differentialgleichung

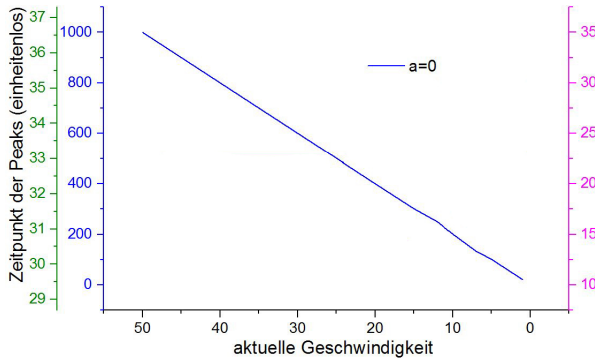
Verallgemeinerung - Numerische Simulation

- nicht-lineare Differentialgleichung
- In „Simulation“ Energieverlust durch Abnahme von v implementiert

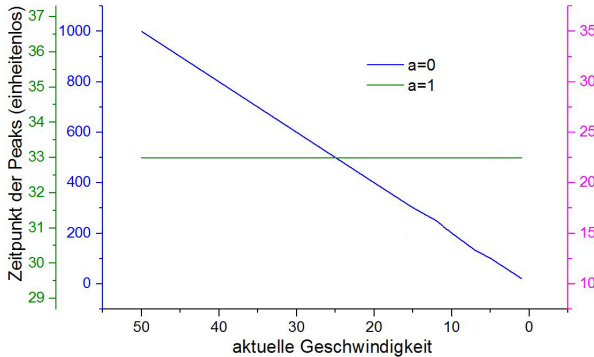
Verallgemeinerung - Numerische Simulation

- nicht-lineare Differentialgleichung
- In „Simulation“ Energieverlust durch Abnahme von v implementiert
- erste Nullstelle entspricht der Zeitspanne bis zum nächsten Peak

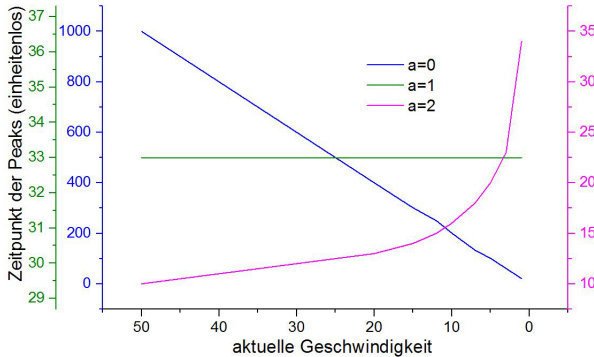
Verallgemeinerung - Numerische Simulation



Verallgemeinerung - Numerische Simulation



Verallgemeinerung - Numerische Simulation



Frequenz

- Peak Frequenz für jeden Peak gleich

Frequenz

- Peak Frequenz für jeden Peak gleich
- zwei Ursprünge:

Frequenz

- Peak Frequenz für jeden Peak gleich
- zwei Ursprünge:
 - Eigenfrequenz der Kugeln

Frequenz

- Peak Frequenz für jeden Peak gleich
- zwei Ursprünge:
 - Eigenfrequenz der Kugeln
 - Frequenz zwischen den Kugeln

Eigenfrequenz

- stehende Welle in den Kugeln

Eigenfrequenz

- stehende Welle in den Kugeln

$$\rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{5170 \text{ m/s}}{8 \cdot 0,017 \text{ m}} \approx 38 \text{ kHz}$$

Eigenfrequenz

- stehende Welle in den Kugeln
 - $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{5170 \text{ m/s}}{8 \cdot 0,017 \text{ m}} \approx 38 \text{ kHz}$
 - nicht hörbar

Eigenfrequenz

- stehende Welle in den Kugeln
 - $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{5170m/s}{8 \cdot 0,017m} \approx 38kHz$
 - nicht hörbar
- andere Wellenlängen messbar aber nicht hörbar

„Auftreff Frequenz“

- Arbeit von K. Mehraby, H Khadem-hosseini Beheshti und M. Poursina¹

¹Impact noise radiated by collision of two spheres: Comparison between numerical simulations, experiments and analytical results

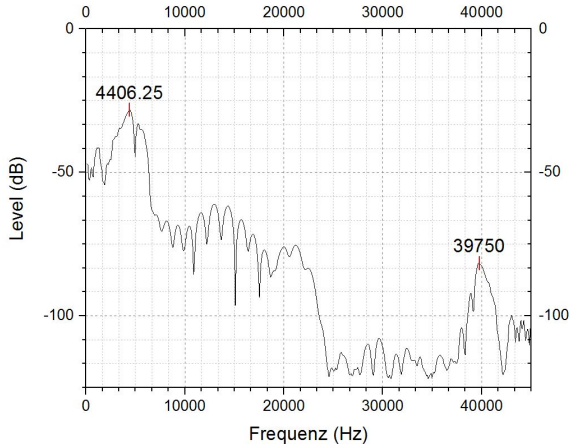
„Auftreff Frequenz“

- Arbeit von K. Mehraby, H Khadem-hosseini Beheshti und M. Poursina¹

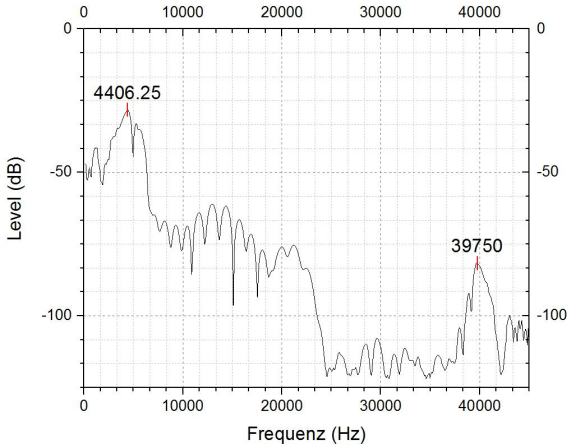
$$\rightarrow f = \frac{76,1}{r} \text{ Hz} = \frac{76,1}{0,017} \text{ Hz} \approx 4476 \text{ Hz}$$

¹Impact noise radiated by collision of two spheres: Comparison between numerical simulations, experiments and analytical results

Frequenzanalyse

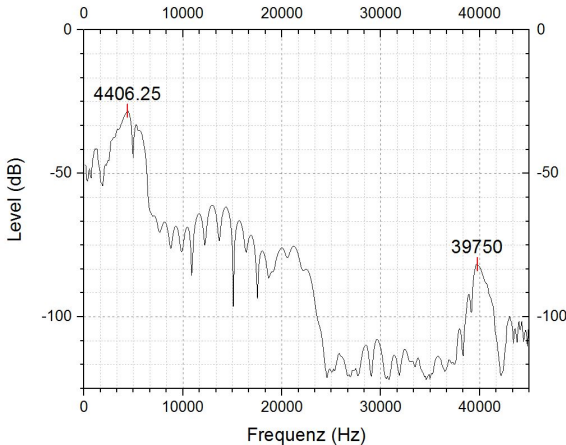


Frequenzanalyse



- hörbare Frequenz
4406 Hz „Auftreff
Frequenz“

Frequenzanalyse



- hörbare Frequenz 4406 Hz „Auftreff Frequenz“
- nicht hörbare Frequenz 39 kHz Eigenfrequenz

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit