

5. PK - Ball Sound

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

Leonard Hackel und Niklas Schelten

Herder Oberschule Berlin

22. März 2015

jugend✳forschert
HERDER

1 Das Experiment

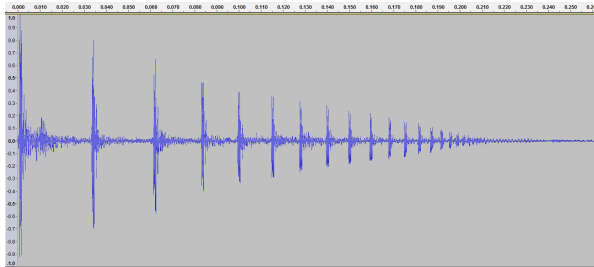
- Vorführung
- Zusammensetzung des Tons
- Simulation

2 Physikalische Analyse

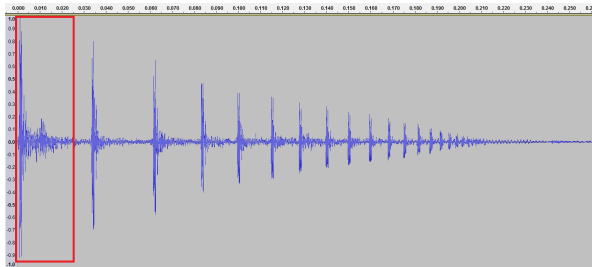
- Chirp
 - Physikalische Beschreibung des Tons
 - Verallgemeinerung
- Peak
 - Frequenz

Experiment

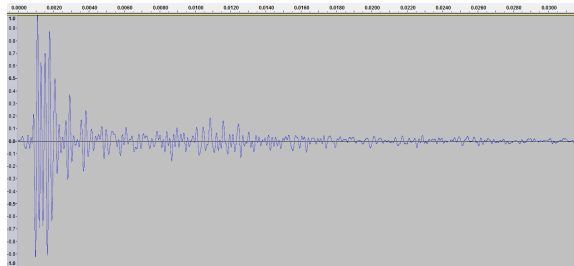
Chirp



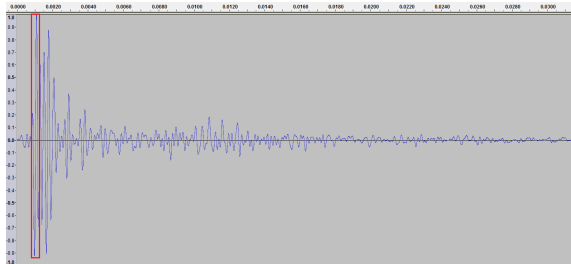
Chirp



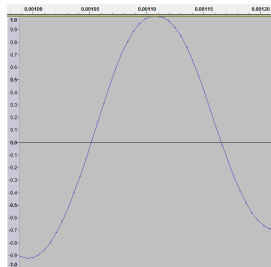
Peak



Peak



PeakPeak



Frequenzen

- Chirp Frequenz

Frequenzen

- Chirp Frequenz
 - Anzahl der Peaks pro Sekunde

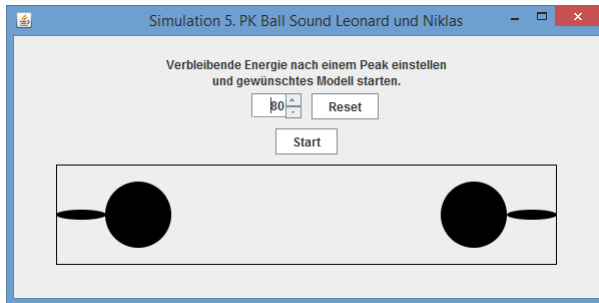
Frequenzen

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

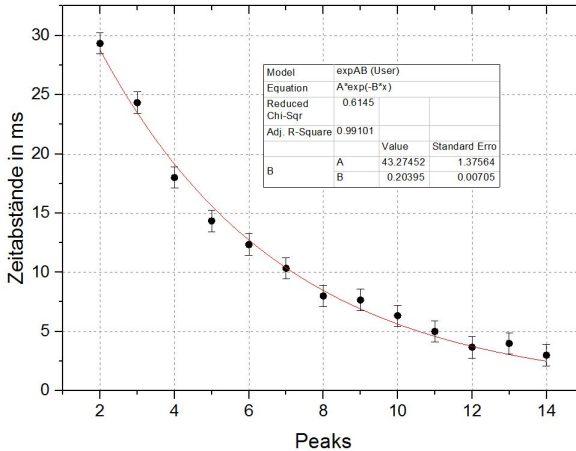
Frequenzen

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

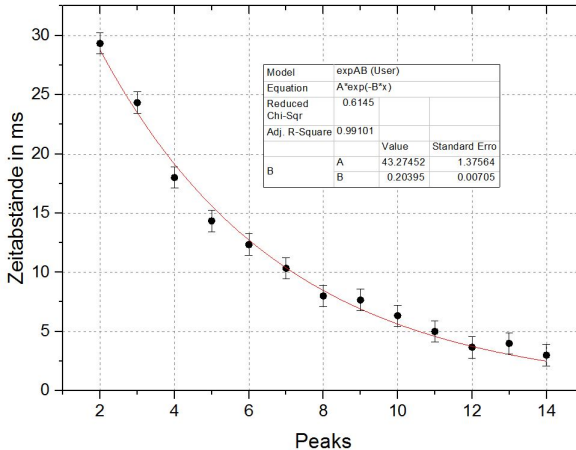
Simulation



Periodendauer über Peaks

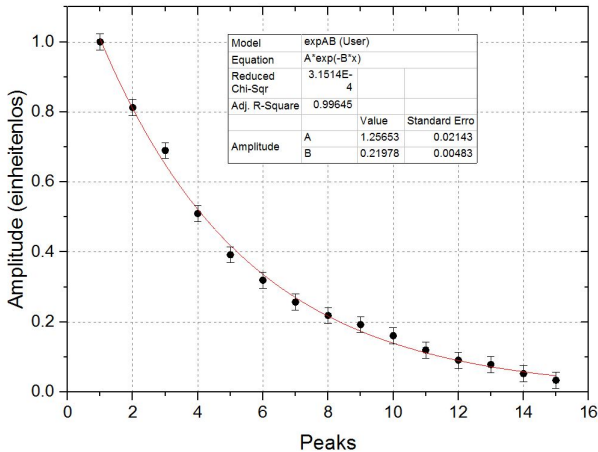


Periodendauer über Peaks

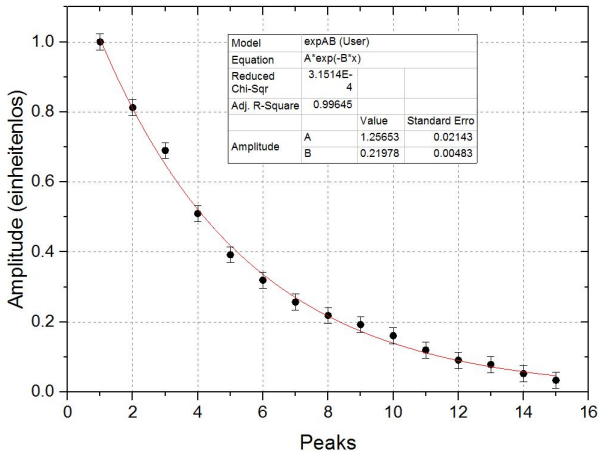


- $\delta_n = \delta_1 \cdot b^{n-1}$
- $0 \leq b < 1$
- n : Anzahl der Peaks
- δ : Periode

Amplitude über Peaks

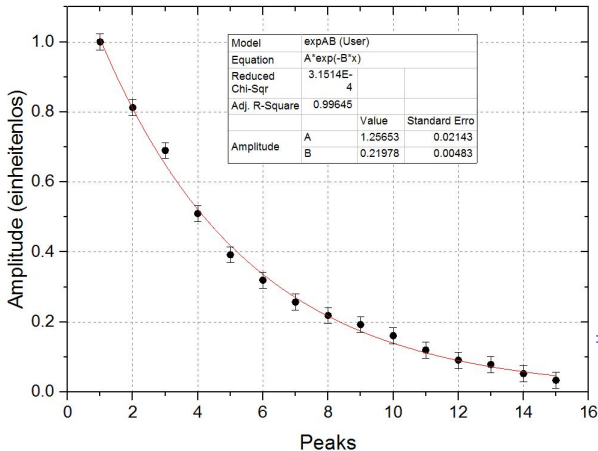


Amplitude über Peaks



- $y_n = a \cdot y_{n-1}$
 - $0 \leq a < 1$
 - n : Anzahl der Peaks
 - y : Amplitude

Amplitude über Peaks



- $y_n = a \cdot y_{n-1}$
- $0 \leq a < 1$
- n : Anzahl der Peaks
- y : Amplitude

$$\Rightarrow y_n = y_0 \cdot a^n$$

Amplitude in Abhängigkeit von der Periode

- Beide Gleichungen nach n umformen, gleichsetzen

$$\rightarrow \frac{\log \frac{y_n}{y_0}}{\log a} = \frac{\log \left(1 - \frac{tn}{t_{ges}}\right)}{\log b}$$

Amplitude in Abhängigkeit von der Periode

- Beide Gleichungen nach n umformen, gleichsetzen und nach y_n umformen:

$$\rightarrow y_n = y_0 \cdot \left(1 - \frac{t_n}{t_{ges}}\right)^{\frac{\log a}{\log b}}$$

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

- Energie bei maximaler Entfernung: $E = \frac{c}{a+1} \cdot s^{a+1}$

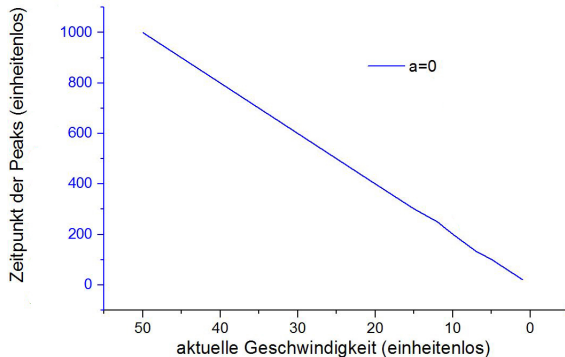
Verallgemeinerung - Ansatz

- Energie bei maximaler Entfernung: $E = \frac{c}{a+1} \cdot s^{a+1}$
- Energie beim Zusammenstoß: $E = \frac{m}{2} v^2$

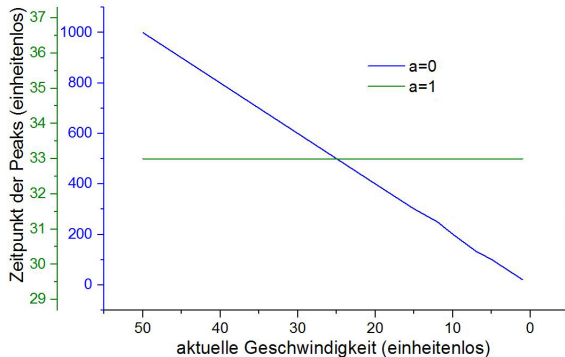
Verallgemeinerung - Ansatz

- Energie bei maximaler Entfernung: $E = \frac{c}{a+1} \cdot s^{a+1}$
- Energie beim Zusammenstoß: $E = \frac{m}{2} v^2$
- Schwingung zwischen diesen Energien
→ $m \cdot \ddot{s} + c \cdot s^a = 0$

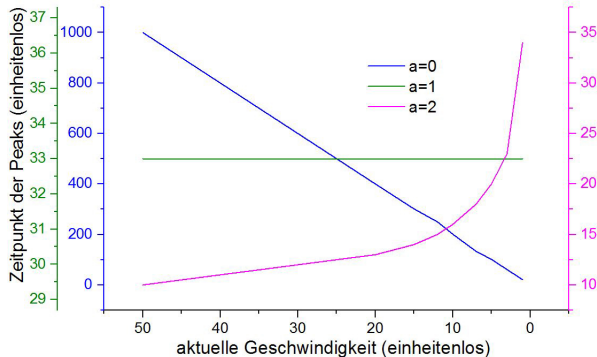
Verallgemeinerung - Numerische Simulation



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

„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

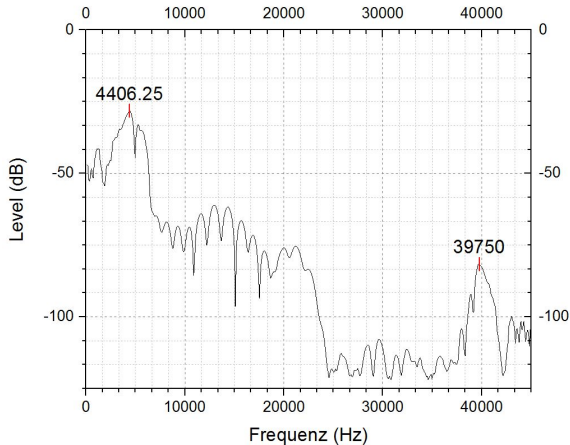
„Auftreff Frequenz“

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

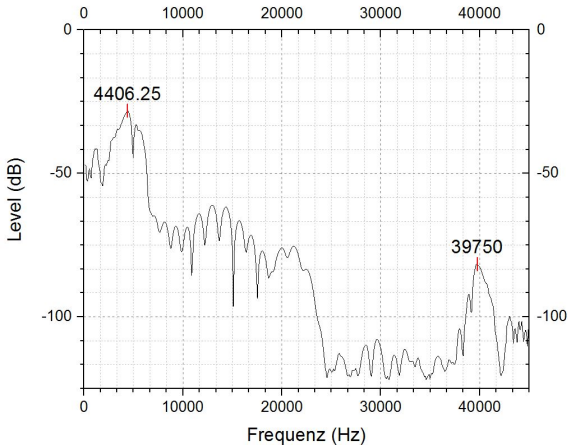
$$\rightarrow f = \frac{76,1}{r} \text{ Hz} = \frac{76,1}{0,017} \text{ Hz} \approx 4476 \text{ Hz}$$

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

Frequenzanalyse

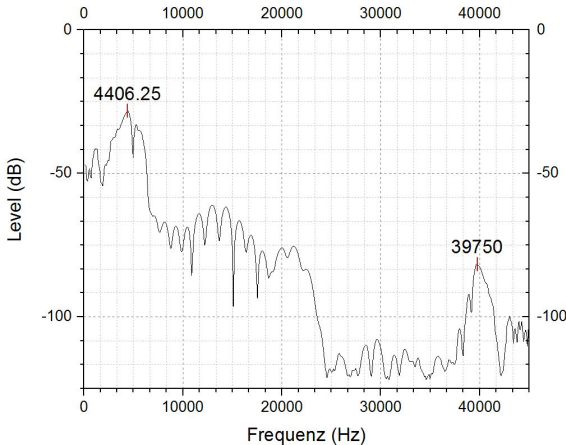


Frequenzanalyse



- hörbare Frequenz
4406 Hz „Auftreff
Frequenz“

Frequenzanalyse



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

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit