

PlaNeT Simtech 2017

„Wie viele Mariachi-Bands werden gebraucht, um die
Mauer (einen Abschnitt der Mauer durch San Escobar)
zum Einsturz zu bringen“

Team 33

25. März 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Hauptteil	2
2.1	Erste Lösungsidee	2
2.2	Elemente	2
2.2.1	Die Mariachi-Band	2
2.2.2	Die Mauer	3
2.3	Komposition	3
2.4	Möglichkeiten, die Anzahl der Musiker zu reduzieren	4
2.5	Diskussion	4
3	Schlussbemerkung	5
	Literatur	6

1 Einleitung

Es soll ein Abschnitt der Mauer durch San Escobar durch den Marktplatz von San Subito zum Einsturz gebracht werden. Dazu gäbe es viele unterschiedliche Möglichkeiten. Allerdings entscheidet sich das Volk von San Escobar dazu, eine Möglichkeit mit Bezug auf Mariachi-Bands zu nutzen. Dies lässt sich eventuell mit National- oder Kulturstolz erklären. Die Möglichkeit, die hier ausgeführt wird ist, die Energie, die im Schall der Instrumente der Mariachi-Bands enthalten ist, dazu zu nutzen, die Mauer umzuwerfen. So stellen sich eine bestimmte Anzahl an Mariachi-Bands auf dem Marktplatz von San Subito auf einer Seite der Mauer auf und spielen. Um genügend Druck durch den Schall aufzubauen, werden unserem Modell zufolge 633240 Bands benötigt.

2 Hauptteil

2.1 Erste Lösungsidee

Unsere erste Idee war es, die Mauer durch zu Mariachi-Musik tanzende Menschen zum Einsturz zu bringen. Dafür müssten die Schritte der tanzenden Menschen exakt die Eigenfrequenz der Mauer treffen und so eine Resonanzkatastrophe herbeiführen. Um die Eigenfrequenz der Mauer abschätzen zu können, haben wir uns an der Tacoma-Narrows-Bridge orientiert. Mit Hilfe des Videos[10] kann man ihre Eigenfrequenz auf ca. $\frac{1}{3}Hz$ festlegen. Wir gehen davon aus, dass die Eigenfrequenz der Mauer noch niedriger wäre. Da sich diese Frequenz nicht zum Tanzen eignet und wir es lächerlich finden, die Menschen angefeuert durch Mariachi-Musik alle drei Sekunden hüpfen zu lassen, haben wir diese Idee verworfen.

2.2 Elemente

2.2.1 Die Mariachi-Band

Eine typische Mariachi-Band[5], bezüglich der Instrumente, besteht aus zwei Geigen, zwei Trompeten und zwei Gitarren. Für diese kann der Schalldruck berechnet werden, der von ihnen ausgeht. Ist der Schalldruckpegel L_p in Dezibel bekannt, kann der Schalldruck p in Pascal angegeben werden. Die Formel hierzu lautet: $p = 10^{\frac{L_p}{20}} * 2 * 10^{-5}$ [9]. Die Herleitung hierzu lautet:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p}{2 * 10^{-5}} \right)$$

$$\frac{L_p}{20} = \log \left(\frac{p}{2 * 10^{-5}} \right)$$

$$10^{\frac{L_p}{20}} = \left(\frac{p}{2 * 10^{-5}} \right)$$

$$p = 2 * 10^{-5} * 10^{\frac{L_p}{20}}$$

Trompete: Schalldruckpegel = 130dB[9], also Schalldruck = 63Pa

Geige: Schalldruckpegel = 95dB[7], also Schalldruck = 1,125Pa

Gitarre: Schalldruckpegel = 90dB[7], also Schalldruck = 0,63Pa

Eine Band kann demzufolge $2 * 63Pa + 2 * 1,125Pa + 2 * 0,63Pa \approx 130Pa$ Druck ausüben. Wenn man davon ausgeht, dass der Schall sich kugelförmig von der Schallquelle aus ausbreitet, dann ist der Druck P auf eine Fläche A , die von der Schallquelle die Entfernung r hat, $\frac{A}{4\pi r^2} * p_0$, wobei p_0 der an der Schallquelle entstehende Druck ist. Dies vernachlässigen wird jedoch, weil mitberücksichtigt werden müsste, dass die Fokussierung und die Richtung des Schalles durch die Schallöffnungen der Instrumente für jedes Instrument und jeden Spielstil unterschiedlich ist. Eine weitere Prämisse ist, dass alle Bands auf einer Seite der Mauer aufgestellt werden, denn der Druck des Schalles, den sie erzeugen, wird addiert. Stünden nun noch Bands auf der anderen Seite der Mauer, würden sie dem Effekt derjenigen auf der jeweils anderen Seite entgegenwirken.

2.2.2 Die Mauer

Aus der Angabe „Lange Jahre“ lässt sich schließen, dass die Mauer bereits einige Jahre besteht. Darum ist es gerechtfertigt, sich bezüglich deren Beschaffenheit an der Berliner Mauer I (1961-1968) zu orientieren. Unser Modell der Mauer von San Escobar übernimmt also die wesentlichen Charakteristika der Berliner Mauer I, Höhe und Breite[6]. Als Material nehmen wir schlechten Beton an, entsprechend der generell niedrigen Qualität der Baustoffe in Entwicklungsländern:

- Höhe: 3,60m
- Dicke: 0,30m
- Länge (am Marktplatz): 100m. Dieser Angabe liegen die Daten des Marktplatzes von Campeche[3] zugrunde. Wir haben uns an der Stadtplanung von Campeche, ebenso wie Santo Subito mehr als 100000 Einwohner hat und aufgrund seiner Lage in Mexiko Santo Subito in kultureller, d.h auch stadtkonzeptorischer, Hinsicht, ähnelt.
- Dichte des Betons: $1500 \frac{kg}{m^3}$ [2].

2.3 Komposition

Im Folgenden soll die Kraft ermittelt werden, die benötigt wird, um die Mauer umzuwerfen. Wir ermitteln also zunächst die zum Einstürzen benötigte Kraft, indem wir auf Angaben zurückgreifen, die bezüglich der Berliner Mauer gemacht wurden. Diese lies sich mit einem LKW durchbrechen[6]. Wir nehmen aufgrund von Fahrzeugbestimmungen aus der damaligen Zeit für den LKW ein Gewicht von $10t$ und eine Frontfläche von $2,5m * 3,6m = 9m^2$ [8] an, was bedeutet, dass LKW und Mauer beim Aufprall oben abschließen. Zudem rechnen wir mit einer Kollisionsgeschwindigkeit von $80 \frac{km}{h}$. Das Stück Mauer, das der LKW trifft, ist ebenfalls $2,5m$ breit. Damit hat es ein Volumen von $2,5m * 0,3m * 3,6m = 2,7m^3$. Die Dichte von Beton war als $1500 \frac{kg}{m^3}$ angegeben. Also ist das Gewicht des Mauerstückes: $2,7m^3 * 1500 \frac{kg}{m^3} = 4050kg$. Aus diesen Daten geht hervor, um wie viel der LKW beim Durchbruch verlangsamt wird. Dazu nutzen wir die Impulserhaltung. Beim Aufprall hat das Mauerstück dann dieselbe Geschwindigkeit

wie der LKW:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{davor}} &= P_{\text{danach}} \\
 m_{\text{LKW}} * v_{\text{LKW}} &= 4,05t * v_2 + 10t * v_2 \\
 800 \frac{t * km}{h} &= v_2 * 14,05t \\
 v_2 &= \frac{800 \frac{t * km}{h}}{14,05 t} \\
 v_2 &= 56,9 \frac{km}{h}
 \end{aligned}$$

Wir werden im Folgenden vereinfacht mit einer Folgegeschwindigkeit von $60 \frac{km}{h}$ weiterrechnen. Die auf die Mauer einwirkende Kraft berechnet sich folgendermaßen: $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$, wobei $\Delta p = m * \Delta v$. Hier ist $m = 10t$ und $\Delta v = 20 \frac{km}{h} = 5,5 \frac{m}{s}$. Damit ist $\Delta p = 5555,5 \frac{kg * m}{s}$ und $F = \frac{5555,5 \frac{kg * m}{s}}{\Delta t}$. Diese Kraft wird auf eine Fläche von $9m^2$ übertragen und damit wirkt folgender Druck auf die Mauer:

$$P = \frac{5555,5 \frac{kg * m}{s}}{9m^2 * \Delta t} = \frac{6172,84 \frac{kg * m}{s}}{\Delta t m^2}$$

Δt ist Zeitraum in der der LKW abgebremst wird, d.h. in dem er durch die Mauer fährt. Er berechnet sich folgendermaßen, wobei d der Bremsweg ist (hier: Dicke der Mauer)[1]:

$$\Delta t = \frac{2d}{v_{\text{LKW}}} = \frac{2 * 0,3m}{\frac{80 \frac{m}{s}}{3,6}} = 0,027s$$

Daraus folgt:

$$P = \frac{5555,5 \frac{kg * m}{s}}{9m^2 * \Delta t} = \frac{6172,84 \frac{kg * m}{s}}{0,027s m^2} \approx 228623,70 \frac{N}{m^2}$$

Eine Mariachi-Band erzeugt (s.oben) $130Pa$ Druck. Daraus folgt die Anzahl der benötigten Mariachi-Bands mit: $\frac{228623,70Pa}{130Pa} = 1758,64$, also ungefähr 1759 Bands pro Quadratmeter Mauer. Damit bräuchte man auf der Gesamtlänge des Marktplatzes bei einer Länge von $100m$ und einer Höhe von $3,6m$: $1759 * 360 = 633240$ Bands. Die Anzahl der Musiker beträgt $633240 * 6 = 3799440$.

2.4 Möglichkeiten, die Anzahl der Musiker zu reduzieren

Da Geigen und Gitarren fast nicht zur erwirkten Druck einer Band beitragen, kann man sie auch weglassen. Damit blieben immer noch 1266480 Musiker (Trompeten). Es muss aber der fehlende Druck durch Trompeter, da diese am effektivsten sind, ersetzt werden. Damit bräuchte man 3618 Trompeter pro Quadratmeter und für die gesamte Mauer 1302287 Musiker.

2.5 Diskussion

Offensichtlich ist, dass die neugegründete Republik in Schwierigkeiten geraten wird bei dem Versuch, 633240 Bands auf dem Marktplatz zu positionieren. Natürlich steht auch zur Disposition, nicht die gesamte Mauer am Marktplatz umzuwerfen, sondern selbst davon nur einen kleinen Teil. Doch auch dafür werden sehr viele Bands benötigt. Für diese kleineren Stücke lässt

sich die Anzahl der Bands $A(s)$ beschreiben mit: $A(s) = \frac{633240}{100} * s$, wobei s die Länge des Stückes in Metern sei. Die benötigte hohe Anzahl an Bands ist nicht nur aus Platzgründen ein Problem, sondern es ist auch davon auszugehen, dass die laute Musik den Musikern und Zuhörern erheblichen gesundheitlichen Schaden zufügen kann, da die menschlichen Lungenbläschen ab 200 dB beginnen, zu platzen[4].

Die Anzahl von 633240 Bands wird nur benötigt, wenn die ganze Mauer auf dem Marktplatz auf einmal zum Einsturz gebracht werden soll. Mit einer kleineren (aber immer noch unrealistisch großen) Anzahl ist es möglich, die Mauer sukzessive einstürzen zu lassen.

Ein weiterer Ansatz wäre es, viele Stimmgabeln mit der gleichen Eigenfrequenz in die Mauer einzubohren. Dann würde mit hinreichenden Stimmgabelndichte ein einzelner Musiker ausreichen, die Stimmgabeln in Schwingung zu versetzen und damit die Mauer zum Einsturz zu bringen.

3 Schlussbemerkung

Aufgrund unseres Modells der Mauer und Informationen zu den in den Mariachi-Bands verwendeten Instrumenten erhielten wir die Zahl von 633240 Bands, die benötigt werden, um 100 Meter dieser Mauer gleichzeitig durch den erzeugten Schall umzuwerfen. Zentraler Gedanke hierin ist, dass der im Schall enthaltene Druck die Mauer umstößt. Es zeigt sich auch, dass die unrealistisch hohe Zahl an Bands diese Methode in Zweifel zieht. Es ist des Weiteren keine Möglichkeit ersichtlich, diese Zahl so weit zu reduzieren, dass eine realistische Anzahl erhalten wird, wenn an der Methode, nämlich dem Schall, nichts geändert wird.

Literatur

- [1] URL: <http://exp1.fkp.physik.tu-darmstadt.de/vorlesungen/et/ss08/VD-Herbst08-Loesung.pdf>.
- [2] *Betondichte*. URL: <http://www.dornbach.com/de/baulexikon/Dichte-von-Beton.html>.
- [3] *Campeche*. URL: https://de.wikivoyage.org/wiki/Datei:Campeche_Karte.png.
- [4] Harald Brenner und Julia Ucsnay. *Hoeren — Kann Laerm toeten?* 2017. URL: www.planet-wissen.de/natur/sinne/hoeren/pwiewissensfrage412.html.
- [5] *Los Mariachis*. URL: www.rosserevents.ch/Knistlerangebot/Tropical/Los-Mariachis.172.html.
- [6] Nathalie Muntermann. *Die Berliner Mauer — Der Ausbau der Mauer*. 2017. URL: www.planet-wissen.de/geschichte/ddr/die_berliner_mauer/pwiederausbaudermauer100.html.
- [7] *Musik und Hoerschaeden*. URL: www.laermorama.ch/m4_ohrenschuetzen/pdf/Musik_und_Hoerschaeden.pdf.
- [8] *Nutzfahrzeug — Masse und Gewichte*. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Nutzfahrzeug/Masse_und_Gewichte.
- [9] *Sound pressure*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_pressure.
- [10] *Tacoma Narrows Bridge Collapse 'Gallop in Gertie'*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=j-zczJXSxnw>.

Alle Quellen wurden zuletzt am 25.03.2017 abgerufen.

Wir schlagen der Einfachheit halber vor, dass die Mariachi-Bands folgende Hymne spielen und die Mauer währenddessen kontrolliert gesprengt wird:

Republica
Popular
Democratica
San Escobar
Wunderbar!
Wunderbar!
!

Vereint nach langem Kämpfen
Wir nun als ein Volk sind
Nun nicht die Stimme dämpfen
Mein liebes, liebes Kind!
!

Republica
Popular
Democratica
San Escobar
Wunderbar!
Wunderbar!
!

Nun reißt nieder die Mauern
Oh Freund', wir sind am Ziel.
Kommt alle her, ihr Bauern,
Und lasst uns feiern viel.
!

Republica
Popular
Democratica
San Escobar
Wunderbar!
Wunderbar!
!

Und endlich wir in Frieden leben
vereint in Ehre, Recht und Würd'
und unser Mühen dafür geben,
dass immer es zum Besten führt.