

Team ID 2284

PlaNeT SimTech

Wie kann unter diesen Bedingungen realisiert werden, dass für den 2-stündigen Auftritt von „Metallic Tuna“ genug elektrische Energie erzeugt wird?

12.06.2021

Inhalt

1. Zusammenfassung.....	2
2. Einführung	2
3. Modellierungsannahmen	2
4. Ideen	3
a. Drehkreuze	4
b. Biomasse zur Energiegewinnung.....	5
5. Fazit	6
6. Literaturverzeichnis	8
Anhang	9
1. erste Mindmap mit Ideen.....	9

1. Zusammenfassung

Um ein „ökologisches Konzert“ zu ermöglichen, schlagen wir den Bau einer Biogasanlage vor, um biologische Abfälle effizient in Energie verwerten zu können. Wir haben uns dazu entschieden, nicht nur sprichwörtlich aus „Scheiße Geld zu machen“. Zudem erscheint uns das Einsetzen von Drehkreuzen sinnvoll, die durch die Drehbewegung beim durchschreiten Energie gewinnen.

2. Einführung

Energiegewinnung ist wohl eines der Themen die entscheidend sind für die Zukunft unseres Planeten. Zuletzt erlangte das Thema durch „Fridays for Future“ und durch das Fortschreiten des Klimawandels erneut Aufmerksamkeit. Hier gliedert sich nun die Fragestellung des SimTech Wettbewerbs ein. Wie lässt sich ein Festival möglichst klimaschonend organisieren? Womöglich sogar am Ende mit einer positiven Ökobilanz. Für uns war schnell klar: Der Maßstab für das zwei Stunden Konzert von „Metallic Tuna“ ist zu klein uns steht in keiner Kosten-Nutzen Relation. Stattdessen haben wir beschlossen das ganze Festival grün zu gestalten.

3. Modellierungsannahmen

Als erstes gilt es festzuhalten, dass unser Festival für 4 Tage geplant wird. Eine Dauer die für das erste große Festival nach Corona angebracht erscheint. Zuschauermäßig rechnen wir deshalb auch mit 300.000 Menschen täglich. Also weitaus größer als Rock am Ring, das jährlich rund 100.000 Besucher an den Nürburgring zieht¹ oder das österreichische Nova Rock mit rund 150.000 Besuchern² sowie das Frequency Festival mit ebenfalls rund 100.000 Besuchern.³ Das Festival findet bei gutem Wetter im Sommer statt und wir rechnen mit einer Betriebszeit der Bühne von 12 Stunden täglich für Auftritte sowie Proben und sonstiges.

Die Fläche von 386 Hektar, also 3,86 Quadratkilometern⁴, die das Flugfeld Berlin Tempelhof zu bieten hat, teilen wir in unterschiedliche Nutzungsbereiche auf. Jeweils 1,5

Quadratkilometer werden für Parkplätze und Zeltplätze benutzt. Bei Rock am Ring werden die beiden Flächen auf jeweils 100 Hektar, also 1 Quadratkilometer betitelt.⁵ Insgesamt 5000 Quadratmeter werden für die Bühne und zugehörigen Technik verwendet. Bei Rock am Ring sind die gesamten Bühnen auf eine Gesamtfläche von 5600 Quadratmetern im Jahre 2011 zu betiteln. Für die Toiletten rechnen wir ungefähr 5 Quadratmeter für jede der



Abbildung 1: Rammstein Konzert
(<https://www.amusio.com/5690/die-spektakulaersten-buehnenshows-im-metal/>)

¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Rock_am_Ring (12.06.21)

² https://de.wikipedia.org/wiki/Nova_Rock (12.06.21)

³ [https://de.wikipedia.org/wiki/Frequency_\(Musikfestival\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Frequency_(Musikfestival)) (12.06.21)

⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/Flughafen_Berlin-Tempelhof (12.06.21)

⁵ https://rp-online.de/kultur/musik/rock-am-ring-fakten-zum-festival_id-9191431 (12.06.21)

4000 Toiletten (bei Rock am Ring stehen 1650 Toiletten)⁶ also 20.000 Quadratmeter. Dazu kommt die gleiche Fläche für Sicherheit. Schließlich berechnen wir noch einen Zuschauerplatz von 300.000 Quadratmeter, also pro Mensch 1 Quadratmeter. Nach Corona ist der Mindestabstand natürlich nicht mehr einzuhalten und die Feiernden Festivalgäste suchen die Nähe nach den Jahren des Abstandhaltens. Abschließend bleiben uns also noch 515 Quadratkilometer, die zur freien Verfügung stehen.

Für die benötigte Energie holten wir uns Referenzen unter anderem von Rammstein Konzerten und auch wieder von Rock Am Ring. Die Rammstein Bühnenshow würde laut dem Veranstalter 350 kW verschlingen und mit 2 Megawattaggregaten betrieben werden.⁷ Rock am Ring beschreibt den Stromverbrauch der Bühnen mit 400-500 Kilowatt.⁸ In der Modellierung haben wir mit einer 500 kW Bühne gerechnet, die dann über die vier Tage mit täglich 12 Stunden Betrieb 24.000 kWh verbraucht. Dazu kommen noch andere Stromausgaben. Ein Kühlwagen ausreichender Größe für Getränke und Essen benötigt 2 Kilowatt in der Stunde⁹, das sind dann 5,7 MWh in der gesamten Betriebszeit von 4 mal 24 Stunden. Diese Zahl haben wir mit 10 multipliziert, um eine möglichst große Kulanz für weitere stromverbrauchende Geräte zu bekommen. Am Ende kommen wir auf einen Gesamtverbrauch von 24 MWh +57 MWh, sprich 81 MWh.

4. Ideen

Unsere ersten Ideen fußten auf den verschiedenen Arten der ökologischen Energiegewinnung. Erste Ideen gingen in Richtung Nutzung der „Abwärme der Zuschauer“ oder die Energiegewinnung durch die Bewegung der feiernden Gäste (siehe Anhang 1). Dazu fiel uns ein Projekt der englischen Firma Pavegen ins Auge gefallen, die Druckplatten nutzt, um Strom durch Fußgänger zu erzeugen.¹⁰ Diese Idee haben wir jedoch dann aufgrund des Prototyp-Charakters verworfen. Bei der Idee mit der Abwärme erschien uns der Aufwand zu groß, um die Wärmeenergie der Festival-Besucher „einzufangen“. Auch Schallinduktion als möglicher Energielieferant kam uns in den Sinn. Diese Idee wurde dann aber auch verworfen. Letzendlich behielten wir zwei Ideen.

⁶ https://rp-online.de/kultur/musik/rock-am-ring-fakten-zum-festival_iid-9191431 (12.06.21)

⁷ <https://sz-magazin.sueddeutsche.de/musik/rammstein-band-usa-tour-79122> (12.06.21)

⁸ <https://rockamring.eifelvista.com/technik/> (12.06.21)

⁹ <https://www.getraenke-mertens.de/content/97/89/kuehlanhaenger> (12.06.21)

¹⁰ <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/fussgaenger-koennen-schritt-strom-daten-erzeugen/> (12.06.21)

a. Drehkreuze

Auf Festivals werden schon aus Sicherheitsgründen teilweise Drehkreuze eingesetzt, um Zuschauerströme zu regulieren. Diese Idee haben wir aufgegriffen. Ein Mensch ist in der Lage sein eigenes Körpergewicht zu schieben. Bei einem Durchschnittsgewicht von 70

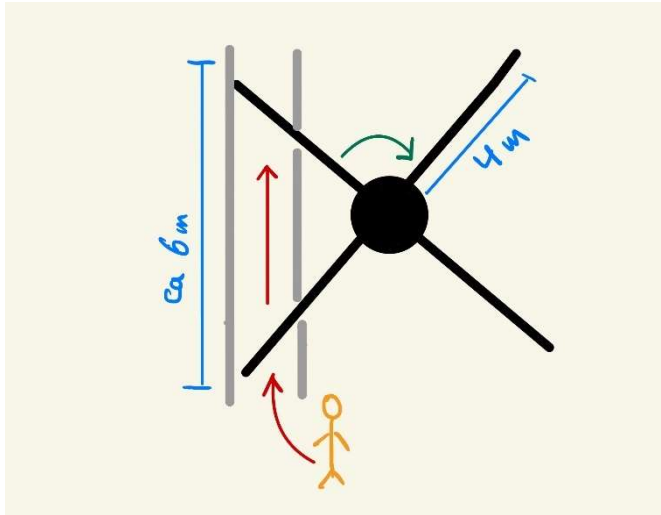


Abbildung 3: Skizze des Drehkreuzes

Kilogramm wären das multipliziert mit dem Ortsfaktor rund 700 Newton. Diese Energie ist doch nutzbar? Gehen wir davon aus, dass 300 Newton auch in Feierlaune schiebbar sind. Um möglichst viel Energie ohne großen Kraftaufwand gewinnen zu können, nehmen wir ein Drehkreuz mit einem Radius von 4m. Der Durchgang durch das Drehkreuz wird in einer Breite von 1,1 Metern außen am Kreuz möglich gemacht, um eine möglichst große Hebelwirkung zu erzielen. Das macht einen Laufweg von 6 Metern durch das

Kreuz. Dabei dreht sich das Kreuz um 90 Grad.

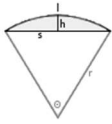
Kreissegment - Rechner

Berechnungen bei einem Kreissegment. Ein Kreissegment wird durch einen [Kreis](#) und eine seiner Sehnen gebildet. Geben Sie zwei der Werte von Radius des Kreises, Höhe des Segments und dessen Winkel ein. Runden Sie bei Bedarf und klicken Sie auf Berechnen. Die Angabe der Winkel erfolgt in Grad, hier kann man [Winkel umrechnen](#).



Radius des Kreises (r):	4	C
Höhe (h):	1,172	C
Winkel (Θ):	90	C
Kreisbogenlänge (l):	6,283	
Kreissehne (s):	5,657	
Umfang (u):	11,94	
Flächeninhalt (A):	4,566	
Runden auf	3	Nachkommastellen.

Berechnen
Löschen



Kreissegment
Basis: [Kreis](#), [Kreissektor](#)

Formeln:

$$\Theta = 2 * \arccos (1 - h / r)$$

$$h = r * (1 - \cos(\Theta/2))$$

$$l = r * \Theta$$

(Θ in rad)

$$s = 2 * \sqrt{2 * r * h - h^2}$$

$$u = l + s$$

$$A = r * l / 2 - s * (r - h) / 2$$

Abbildung 2: Rechenweg für das Drehkreuz (<https://rechneronline.de/pi/kreissegment.php>)

Ein Generator gewinnt nun dynamo-ähnlich die Energie aus der Drehbewegung. Die physikalische Formel für die Berechnung der gewonnen Leistung lautet: $P=2*\pi*f*M$ wobei f die Frequenz in Herz und M des Drehmoments in Newtonmeter

Für die Berechnung des Drehmomentes rechnet man mit $r*f=M$

Der Radius beträgt 4 Metern und die Kraft 300 Newton. Dann ist $M=1200$

Geht man davon aus, dass die Drehkreuze am Ein- und Ausgang sowie vor den Toiletten postiert werden, so erhält man bei 300.000 Besuchern und 6 Bewegungen pro Person eine

Gesamt-Dreh-Anzahl von 450.000 vollständige Umdrehungen des Kreuzes pro Tag. Somit ergibt sich die Frequenz von 5,2 Hz. So ergibt sich eine Leistung von rund 40.000 Watt.

Die Menge an erzeugter Energie lässt sich natürlich mit der Erhöhung der Drehkreuz-Anzahl auch erhöhen, muss aber auch so gering bleiben, dass Massenstaus von Menschen ausbleiben.

b. Biomasse zur Energiegewinnung

Biogasanlagen gewinnen aus Biomasse Strom. Eine hervorragende Idee, um Abfall sinnvoll wiederzuverwerten. Auf Festivals fällt Außerdem nicht wenig Biomüll an. Vor allem Nahrungsreste sind hier zu nennen. Beim Nova Rock Festival wird das Potenzial biogener Abfälle im Jahre 2009 auf 76t beziffert.¹¹ Nova Rock hatte rund 150.000 Zuschauer. Wir schätzen den Bioabfall unseres Festivals auf 180t aufgrund der 300.000 Zuschauer auf 4 Tagen. Hinzu kommen natürlich auch die biologischen Abfälle des Menschen. Die normale Kot-Menge eines Menschen bei der Defäkation beträgt 100g-200g.¹² Bei 300.000 Menschen die täglich das Festivalgelände besuchen, sind das 30t-60t Kot pro Tag. In den 4 Tagen sind das mit einem Mittelwert von 50t pro Tag 200t insgesamt. Zusammen mit den 180t Abfall ergibt das eine Gesamtbiomasse von 380t in der vollständigen Festivaldauer. Aus einer Tonne Biomasse gewinnt man ungefähr 110 Kubikmeter Biogas.¹³ 380t multipliziert mit 110 sind 418.000 Kubikmeter Biogas. Bei einem Methangehalt von 50-60% ergibt das ein Energiegewinn von 5,8kWh pro Kubikmeter. Das sind dann 242MWh Strom.¹⁴ Diese ungeheure Menge an Energie würde uns also zu Verfügung stehen. Der Anfängliche Verbrauch von 81MWh wird also nicht nur vollständig gedeckt, sondern es bleibt noch enormes Energiepotenzial übrig. Die übrigen 161 MWh lassen sich für einen Preis von 25 Cent pro kWh ergibt das einen Verkaufspreis von rund 40.000€ Gewinn.¹⁵



Abbildung 4: Biogasanlage (<https://punkt4.info/social-news/news/groesste-biogasanlage-der-schweiz-eingeweiht.html>)

¹¹ Lebensmittelabfälle bei großen Musikfestivals, Diplomarbeit von Jürgen Schweighofer, August 2011 Wien, S. 49

¹² [Stuhlgang: Was die Ausscheidungen verraten | Apotheken-Umschau](#) (12.06.21)

¹³ https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Nachhaltigkeit/Themenheft_Bioabfall.pdf (12.06.21)

¹⁴ <https://www.bio-power.ch/Fachwissen/Wieviel-Energie-steckt-im-Bioabfall/PiKne/> (12.06.21)

¹⁵ <https://berlinerstadtwerke.de/produkte/berlinstrom/> (12.06.21)

Unser Vorschlag ist es, eine gesamte Biogasanlage auf dem Gelände von Berlin Tempelhof zu errichten. Dafür würde sich eine Kooperation mit der Stadt Berlin anbieten. So lassen sich



Abbildung 5: Biogasanlage auf dem Tempelhofer Feld (Google Maps)

zum Beispiel auch die übrigen Bioabfälle des Landes Berlin für die Biogasanlage eintreiben. Ein Vorlauf der Anlage ist so gesichert. Außerdem sind Zuschüsse von Bund und Land für diesen Weg der Ökostromerzeugung versprochen.¹⁶ Den Bau der Anlage der benötigten Größe lässt sich ungefähr mit 4-5 Millionen beziffern.¹⁷ In den Ticketpreisen ist natürlich schon der normale Strompreis eingerechnet. Außerdem lässt sich mit leichten Ticketpreiserhöhungen wie zum Beispiel von 10€ bei 300.000 Besuchern ein zusätzlicher Gewinn von 3 Millionen Euro erzielen, sodass der Bau der Anlage auf jeden Fall gedeckt ist. Zudem lässt sich die Anlage selbstverständlich auch nach dem Festival weiterbetreiben oder an die Stadt Berlin verkaufen. Es besteht auch die Möglichkeit, sich Biogasanlagen in Containern zu Mieten, diese Möglichkeit ist jedoch nicht viel effizienter, da der enorme Umfang an Biomasse, der einer solchen Anlage zugefügt werden sollte, erst einmal gedeckt werden müsste.

5. Fazit

Als Fazit lässt sich ziehen, dass wir nun zwei sich deutlich unterscheidende Ideen erarbeitet haben. Die erste Idee, bei welcher wir die bei der Umdrehung des Drehkreuzes entstandene Energie nutzen stellt sich dabei als recht kostengünstig dar. Allerdings lässt sich mit dieser dafür relativ wenig Stromerzeugen. Da wir bei unserer Festivalplanung bzw. der Planung des Auftritts der Band „Metallic Tuna“ aber mehr Energie benötigen oder eher gesagt nicht überall auf dem Festivals Gelände Drehkreuze aufstellen wollten, haben wir schlussendlich also auch noch unsere Biogas-Idee zur Planung hinzugezogen. Diese stellt sich zwar als relativ kostenintensiv dar, allerdings ist die aus ihr zu gewinnende Energie recht groß. Dies hat zur Folge, dass wir sogar überflüssigen Strom verkaufen können umso zu mindestens teilweise Kosten zu decken. Außerdem wird die Anlage auch noch vom Bund und dem Land Berlin bezuschusst. Dies drückt die Kosten auch erneut weiten nach unten. Dadurch dass diese Anlage nach dem Festival dann auch noch weitergenutzt werden kann, stellt sie sich also

¹⁶ <https://biogas.fnr.de/service/ausgewaehlte-foerderprogramme-zu-nr> (12.06.21)

https://www.iwr.de/bio/biogas/biogas_foerderung.html (12.06.21)

¹⁷ <https://www.11880-heizung.com/ratgeber/biogas> (12.06.21)

trotz des Vergleichsweise hohen Preises dennoch als relativ rentabel dar, weshalb wir uns schlussendlich auch noch für diese Lösung entschieden haben. Allerdings gibt es bei unseren Ideen auch noch einige Problemepunkte. So ist es beispielsweise fraglich ob wirklich alle 300.000 Besucher einmal am Tag zur Toilette gehen. Außerdem könnte der Zustand der Personen auch Probleme hervorrufen, da der durchschnittliche Festivalbesucher nicht nüchtern ist. Dies könnte also zur Folge haben, dass dieser nicht mehr in der Lage ist die Drehkreuze aufzudrücken, oder die Toilette aufzusuchen um unsere Biogasanlage mit Rohstoffen zu versorgen. Dies ist allerdings ein Faktor, welcher Schwierig in die Berechnungen aufzunehmen ist, weshalb wir vom optimalen fall ausgegangen sind.

6. Literaturverzeichnis

- https://de.wikipedia.org/wiki/Rock_am_Ring (12.06.21)
- https://de.wikipedia.org/wiki/Nova_Rock (12.06.21)
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Frequency_\(Musikfestival\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Frequency_(Musikfestival)) (12.06.21)
- https://de.wikipedia.org/wiki/Flughafen_Berlin-Tempelhof (12.06.21)
- https://rp-online.de/kultur/musik/rock-am-ring-fakten-zum-festival_id-9191431 (12.06.21)
- <https://sz-magazin.sueddeutsche.de/musik/rammstein-band-usa-tour-79122> (12.06.21)
- <https://rockamring.eifelvista.com/technik/> (12.06.21)
- <https://www.getraenke-mertens.de/content/97/89/kuehlanhaenger> (12.06.21)
- <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/fussgaenger-koennen-schrittstrom-daten-erzeugen/> (12.06.21)
- Lebensmittelabfälle bei großen Musikfestivals, Diplomarbeit von Jürgen Schweighofer, August 2011 Wien, S. 49
- [Stuhlgang: Was die Ausscheidungen verraten | Apotheken-Umschau](#) (12.06.21)
- https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mum/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Nachhaltigkeit/Themenheft_Bioabfall.pdf (12.06.21)
- <https://www.bio-power.ch/Fachwissen/Wieviel-Energie-steckt-im-Bioabfall/PiKne/> (12.06.21)
- <https://berlinerstadtwerke.de/produkte/berlinstrom/> (12.06.21)
- <https://biogas.fnr.de/service/ausgewaehlte-foerderprogramme-zu-nr> (12.06.21)
- https://www.iwr.de/bio/biogas/biogas_foerderung.html (12.06.21)
- <https://www.11880-heizung.com/ratgeber/biogas> (12.06.21)

Anhang

1. erste Mindmap mit Ideen

