

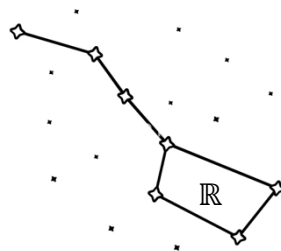
26.03.22

PlaNeT SimTech Wettbewerb

Gruppe: 9294

Die durch den Verkauf von Elektrofahrzeugen zur Zillionärin gewordene Ricky Rusk ist enttäuscht, dass sie nicht die Sterne des Sternbilds „Der Große Wagen“ kaufen kann. Deshalb möchte sie jetzt zumindest ihr Markenzeichen, ein großes \mathbb{R} , auf diesem Sternbild erscheinen lassen, sichtbar von der gesamten nördlichen Hemisphäre.

Wie kann sie dies erreichen, ohne eine bloße Millionärin zu werden



1. Zusammenfassung.....	3
2. Einleitung.....	3
3. Deep-Space-Mission.....	3
3.1 Helligkeit ermitteln.....	4
3.2 Energieversorgung.....	6
4. Mega-Konstellation.....	6
4.2 Pro & Contra.....	6
4.3 Umsetzung.....	7
4.4 Kosten.....	8
4.5 Einfluss auf die Umwelt.....	9
5. Schlussfolgerung.....	10
6. Quellen.....	11
6.1 Quellen: Deep-Space-Mission.....	11
6.1.1 Quellen: Berechnung der Helligkeit.....	11
6.1.2 Quellen: Energieversorgung.....	11
6.2 Quellen: Mega-Konstellation.....	11
6.2.1 Quellen: Umsetzung.....	11
6.2.2: Quellen: Kosten.....	11
6.2.3 Quellen Einfluss auf Die Umwelt.....	12
7. Fußnoten.....	12

1. Zusammenfassung

Zur Umsetzung des Problems, ein „ \mathbb{R} “ aus Sternen über das Sternbild des Großen Wagens zu legen, hat unsere Gruppe zwei Ansätze entwickelt. Ansatz 1 beinhaltet das Entsenden von mehreren leuchtenden Satelliten in Richtung des Großen Wagens. Der Zweite Ansatz beinhaltet, eine Große Mengen an Satelliten in Umlaufbahnen zu senden und diese so zu koordinieren, dass sie ein „ \mathbb{R} “ vor den Großen Wagen setzen, indem sie das Sonnenlicht reflektieren. Beide haben im Verlauf der Erarbeitung ihre Stärken und Schwächen ergeben.

2. Einleitung

Ricky Rusk, die Zillionärin mit großen Visionen, hat beschlossen ihrer Zeit voraus zu sein. Nachdem sie erfahren hat, dass man Sternbilder wie den Großen Wagen nicht kaufen kann, beschloss sie sich auf anderem Wege im Weltall zu verewigen. In Planung ist ihr weltbekanntes Logo, das ihrem Lieblingssternbild, dem Großen Wagen, nicht von der Seite weichen soll. Dabei ist es ihr sehr wichtig, dass sie diese Innovation auf ihrer Geschäftsreise durch die nördliche Hemisphäre betrachten kann.

Kritiker fragen sich, ob sie ihrer Zeit wirklich voraus ist oder ob sie alles, was sie mit ihren Elektrofahrzeugen für die Umwelt erreicht hat, nun wieder revidiert.

In diesem Bericht gilt es zwei Umsetzungen ihrer Idee zu entwickeln und Problematiken darzulegen.

3. Deep-Space-Mission

Bei diesem Lösungsansatz handelt es sich um neun stark leuchtende Satelliten, welche das Markenzeichen „ \mathbb{R} “ von Rusk als Sternbild abbilden. Es sind genau neun, da dies die minimale Anzahl an Punkten, bzw. „Sternen“ sind, die man für ein noch erkennbares „ \mathbb{R} “ benötigt.



Diese Satelliten bewegen sich wie in der Abbildung angeordnet in die Richtung des Großen Wagens und werden auf eine Geschwindigkeit von mindestens 42,02176 km/s beschleunigt, um aus dem Orbit der Erde und anschließend auch aus dem Orbit des Sonnensystems zu gelangen. Ist die Satelliten-Anordnung weit genug von der Erde entfernt, sodass man überall von der nördlichen Hemisphäre aus mit verschiedenen Blickwinkeln auf die Satelliten schauen kann und sich das Sternbild „Der Große Wagen“ hinter dem Markenzeichen

befindet, so können die Satelliten anfangen zu leuchten. Dabei muss man noch beachten, dass sich die Satelliten immer weiter voneinander entfernen sollen, damit sich das Markenzeichen stetig vergrößert, aus der Perspektive der Erde aber immer gleich groß erscheint.

3.1 Helligkeit ermitteln

Bei diesem Lösungsansatz kommt nun auch die Frage auf, wie hell die Satelliten leuchten müssen, damit man sie über eine so große Entfernung noch deutlich erkennen kann. Hierfür haben wir uns mit der scheinbaren Helligkeit von Himmelskörpern beschäftigt, welche die Helligkeit dieser Objekte für einen Beobachter auf der Erde in Magnitudo, bzw. mag, angibt. Je höher die Magnitudo eines Objektes, desto dunkler erscheint es einem auf der Erde. Um leuchtende Himmelskörper in einer lichtverschmutzten Großstadt mit dem bloßen Auge erkennen zu können, müssen die Satelliten eine Magnitudo von mindestens 4mag haben, auf dem Land mit weniger Lichtverschmutzung müssen es mindestens 6mag sein. Wir setzen jedoch fest, dass man das künstliche Sternenbild auch von einer Großstadt aus beobachten können sollte, weshalb 4mag der für uns relevante Wert ist.

Mithilfe dieser Formel lässt sich die Magnitudo eines Objektes errechnen,

wenn man für Φ_0 den Lichtstrom eines Objektes der Magnitudo-

Größenklasse 0 einsetzt, beispielsweise den Lichtstrom des Sternes

$$m_1 = \frac{-5 \cdot \lg\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0}\right)}{\lg(100)} \text{ mag}$$

„Wasa“. Da unsere Magnitudo wie vorher erwähnt bei mindestens 4mag liegen muss ist

$m_1=4\text{mag}$, stellt man diese Formel dann nach Φ_1 um, erhält man

die benötigte Helligkeit der Satelliten.

$$\Delta m = m_1 - m_0 = \frac{-5 \cdot \lg\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0}\right)}{\lg(100)} \text{ mag}$$

Da es im Internet jedoch keine Angaben zu diesem Wert gibt, aber

Angaben zu dem Lichtstrom der Sonne, haben wir den uns fehlenden Wert mithilfe dieser

Formel wie folgt errechnet:

geg: Sonne: $m_1 = -26,73\text{mag}$; $\Phi_1 = 3,7 \cdot 10^{28} \text{ lm}$; Wasa: $m_0 = 0,03 \text{ mag}$;

ges: $\Phi_0 = x$

Lösung:

$$\Delta m = m_1 - m_0 = \frac{-5 \cdot \lg\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0}\right)}{\lg(100)}$$

$$-26,76\text{mag} = \frac{-5 \cdot \lg\left(\frac{3,7 \cdot 10^{28}}{x}\right)}{\lg(100)} \quad | \cdot \lg(100)$$

$$-26,76\text{mag} \cdot \lg(100) = -5 \cdot \lg\left(\frac{3,7 \cdot 10^{28}}{x}\right) \quad | : (-5)$$

$$\frac{3,7 \cdot 10^{28} \text{lm}}{x} = 10^{\frac{((-26,76\text{mag} \cdot \lg(100)))}{-5}} \quad | \cdot x$$

$$3,7 \cdot 10^{28} \text{lm} = 10^{\frac{((-26,76\text{mag} \cdot \lg(100)))}{-5}} \cdot x \quad | : 10^{\frac{((-26,76\text{mag} \cdot \lg(100)))}{-5}}$$

$$\frac{3,7 \cdot 10^{28} \text{lm}}{10^{\frac{((-26,76\text{mag} \cdot \lg(100)))}{-5}}} = x$$

$$x = 7,314787668 \cdot 10^{17} \text{lm}$$

Mit diesem Wert kann man nun, wie schon vorher erwähnt, die Helligkeit, bzw. den Lichtstrom der Satelliten errechnen.

$$\Phi_0(\text{waga}) = 7,314787668 \cdot 10^{17} \text{lm} ; \Phi_1 = x ; m_1 = 4\text{mag}$$

$$m_1 = \frac{-5 \cdot \lg\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0}\right)}{\lg(100)}$$

$$4\text{mag} = \frac{-5 \cdot \lg\left(\frac{x}{7,314787668 \cdot 10^{17} \text{lm}}\right)}{\lg(100)} \quad | \cdot \lg(100) : (-5)$$

$$\frac{4\text{mag} \cdot \lg(100)}{-5} = \lg\left(\frac{x}{7,314787668 \cdot 10^{17} \text{lm}}\right)$$

$$\frac{x}{7,314787668 \cdot 10^{17} \text{lm}} = 10^{\frac{-26,76\text{mag} \cdot \lg(100)}{-5}} \quad | \cdot 7,314787668 \cdot 10^{17} \text{lm}$$

$$X = 1,837391589 \cdot 10^{16} \text{lm}$$

$$x \approx 1,84 \cdot 10^{16} \text{lm}$$

Es stellt sich also heraus, dass die Satelliten eine Helligkeit, bzw. einen Lichtstrom von einer ungefähren Menge von mindestens $1,837 \cdot 10^{16} \text{lm}$ benötigen, um eine Magnitudo von 4mag zu haben, was hell genug ist, um sie von einer Großstadt aus sehen zu können.

3.2 Energieversorgung

Bei so einer immens hohen Intensität von Licht, die gebraucht wird, um das Logo überhaupt für das menschliche Auge sichtbar zu machen, stellt sich die Frage nach der Energieversorgung.

Die sonst gängige Solarversorgung erweist sich als schwierig. Die Sonneneinstrahlung verliert mit $1/r^2$ (r =Distanz) Strahlungsenergie. Das bedeutet, wenn die Energie von 1 m^2 Solarplatten (z.B. 400W) auf der Erde gewonnen wird. Benötigt man auf dem Pluto 2000 m^2 Solarplatten für die gleiche Energie (400W). Je weiter man sich vom Orbit und somit von der Sonne entfernt, desto geringer wird die auffangbare Solarenergie. Es ist mit Solarenergie also nicht möglich ausreichend Energie zu erzeugen, um hell genug Licht zu abzugeben.

Technologien wie z.B. das Power Beaming, welches Modellen nach mithilfe von Mikrowellen bis zu 1GW Energie vom Erdorbit auf die Erdoberfläche transportieren könnte, sind im Moment in Forschung, allerdings genauso, wie das Power Beaming per Laser noch nicht bereit für Verwendung.

4. Mega-Konstellation

Während der Entwicklung der Idee zur Deep-Space-Mission kam die Idee der Umsetzung mithilfe einer Mega-Konstellation auf. Durch die Nähe zur Erde fallen so einige Hürden im Vergleich zur Deep-Space Lösung, allerdings kommen auch neue Schwierigkeiten hinzu, welche unsere erste Lösung nicht hatte.

4.2 Pro & Contra

Die Vorteile einer erdnahen Umsetzung liegen auf der Hand. Beispielsweise muss deutlich weniger Energie aufgebracht werden, um die Mission am Laufen zu halten und die Satelliten im Orbit, um die Erde kreisen zu lassen. Zusätzlich muss von den Satelliten selbst fast keine Arbeit vollrichtet werden, da sie keine Lichtquelle sind, sondern wie der Mond das Sonnenlicht reflektieren. Abgesehen davon kann das Projekt länger betreut werden, da es wegen der geringen Entfernung einfach wäre, defekte Satelliten auszutauschen.

Auch wenn eine Mega-Konstellation viele Vorteile gegenüber einer Deep-Space Mission hat, entstehen durch den neuen Ansatz auch mehrere Probleme. Zentral sind dabei die großen Aufwände, die mit defekten Satelliten aufkommen würden. Beispielsweise würden kaputte

Satelliten unbeeinflussbar im Weltraum schweben, und könnten nicht auf die Erde abstürzen. Im schlimmsten Fall würde der Kessler-Effekt eintreten, durch welchen viele Satelliten miteinander kollidieren würden und als Weltraumschrott enden würden. Nicht zuletzt hätte eine solche Mission nicht insignifikante Auswirkungen für die Umwelt, worauf wir in diesem Bericht noch eingehen werden.

4.3 Umsetzung

Die Umsetzung einer Mega-Konstellation erfordert durch die Gegebenheiten eine enorme Anzahl an Satelliten und ist somit mit horrenden Kosten verbunden. Gleichzeitig sind die Technologien für die Umsetzung bereits vorhanden, teilweise im Einsatz und recht simpel umzusetzen. Zur Minimierung der Satellitenzahl wurde von uns ein möglichst hoher Orbit bei 330.000 km gewählt. Dieser Orbit ist so gut wie frei von anderen Satelliten (der einzig andere Aktive Satellit, der diese Höhe erreicht, ist das russische Radio-Teleskop Spektr-R in einem elliptischen Orbit), wodurch das Hervorrufen eines Kessler Syndroms unwahrscheinlich ist. Für das Darstellen des „ \mathbb{R} “, haben wir eine Auflösung von 6x6 Pixeln/Satelliten angeordnet. Der Große Wagen hat eine Himmelsabdeckung von 26°. Überträgt man diese Gradzahl auf den Winkel Alpha eines gleichschenkligen Dreieckes mit den Ankatheten als 330.000 km (unserem Orbit) so kann man mithilfe des Sinussatzes den Abstand der beiden äußeren Satelliten errechnen. So kommt man durch $\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)}$ auf $a = \frac{330000 \text{ km} \cdot \sin(26)}{\sin(77)}$ auf den Abstand der äußeren Satelliten, welcher circa 148467 km beträgt. Teilt man dies auf die sechs Satelliten auf, so bekommt man zwischen diesen einen Abstand von 24774,5 km. Da wir in unserer Mega-Konstellation die Nordhalbkugel abdecken müssen und uns nur in Orbits bewegen können, müssen wir gezwungenermaßen die gesamte Fläche bei 330.000 km mit Orbits abdecken. Vom Erdmittelpunkt beträgt der Radius 336.387 km. Mithilfe von $4 \cdot \pi \cdot r^2$ konnten wir die Fläche ausrechnen, welche wir abdecken müssen. $4 \cdot \pi \cdot 336.387 \text{ km}^2$ ist $1,42196292 \cdot 10^{12} \text{ km}^2$. Rechnet man nun die Fläche unseres Orbits geteilt durch die „Fläche“ eines Satelliten, so bekommen wir 2317 als Zahl an nötigen Satelliten für die Gesamte Abdeckung. Um die Satelliten wie Sterne aussehen zu lassen nutzen wir einen Spiegel, um die Reflektion der Sonne zu nutzen, wie es viele andere Satelliten unfreiwillig auch tun. Da die extreme Helligkeit der Sonne die Größe des Spiegels recht irrelevant macht, nutzen wir einen 1 m^2 Spiegel, da dieser Genug Platz hinter sich bietet, um den Rest des Satelliten zu schützen. Da wir die Spiegel aber nicht immer reflektieren lassen wollen,

sondern nur wenn sie Teil des „R“ sind, beschichten wir die Rückseite mit einer sehr schwarzen Farbe aus Kohlenstoff-Nanoröhren. Mithilfe von zwei Motoren kann der Spiegel nach Belieben auf „reflektieren“ und „nicht reflektieren“ gestellt werden. Teil des Satelliten sind außerdem zwei Reaktionsräder, um die Orientierung steuern zu können, zwei redundante Computer, eine Antenne, ein 5L gas tank, welcher mit Xenon gefüllt ist, ein Solar-Panel, Lithium-Ionen-Batterien und ein Hall-Effekt Ionen Triebwerk, um den Finalen Orbit zu erreichen und eventuelle Bahn-Korrekturen vornehmen zu können. Da die Satelliten ihre Aufgabe auf der Nacht-Seite der Erde erfüllen, können sie mit dem Solar-Panel auf der Tag-Seite der Erde ihre Akkus aufladen. Zum Darstellen des „R“ vor dem Großen Wagen verwenden wir unsere Mega-Konstellation nun auf folgende Weise: Während sie vor dem Großen Wagen sind, drehen neun Satelliten ihre Spiegel auf „Reflektieren“, um das „R“ zu bilden. Kurz bevor die neun reflektierenden Satelliten den großen Wagen nicht mehr überlappen, drehen sie sich wieder auf „nicht-reflektierend“, während sich die nächsten neun, welche gerade beginnen zu überlappen, auf reflektierend stellen.

4.4 Kosten

Ricky's ambitioniertes Vorhaben ist mit einigen Kosten verbunden, die für sie als Zillionärin aber ein Schnäppchen sind. Die Kosten setzen sich aus drei Hauptbestandteilen zusammen. Dem Raketenstart, den Einzelteilen für die Satelliten und den Kosten für Arbeitskräfte und Infrastruktur. Alle Kosten, bis auf den Raketenstart sind anhand verfügbarer Daten geschätzt.

Eine kommerziell nutzbare Rakete wäre zum Beispiel die Falcon 9 mit Startkosten von 67 Mio. USD. Wir gehen von einer Nutzlast von ca. 6000 kg aus, da dies einen ungefähren Mittelwert zwischen der Nutzlast zur geosynchronen Transferbahn und zum Mars darstellt. In eine Falcon 9 Rakete würden 240 Satelliten passen, wenn jeder Satellit eine Höhe von 50cm hat. Folgend müsste man von mindestens 100 Raketenstarts ausgehen, um alle Satelliten in den Orbit zu bringen. Da die Falcon 9 eine Missionserfolgsrate von 98,5% hat, gehen wir im schlimmsten Fall von 2 zusätzlich benötigten Startmissionen aus. Folgend würden alle Startmissionen zusammen ca. 6,834 Milliarden USD kosten.

Um die Satelliten zu fertigen, werden Fachpersonal und hoch qualitative Fertigungsroboter benötigt. Die Gesamtkosten für Personal und Roboter schätzen wir auf 6 Mio. USD.

Zuletzt muss an noch die Materialkosten für die Satelliten einberechnen. Die Spiegel, Beschichtungsfarbe, Solarpanel, Batterien, Motoren, das Xenon, Ionentriebwerke, Gastanks, Antennen und Computer würden zusammen nochmal zusätzliche 66,045 Mio. USD.

Das ganze Vorhaben von Ricky Rusk würde zusammen ungefähr 69,06 Milliarden USD kosten.

4.5 Einfluss auf die Umwelt

Wie man sich sicherlich vorstellen kann, stoßen Raketen beim Start große Mengen an Emissionen aus. Doch wie viel ist der Ausstoß in Nummern? Schätzungen gehen davon aus, dass die Verbrennung von RP-1 beim Start einer Falcon 9 Rakete circa 425 Tonnen Co₂, 152 Tonnen Wasserdampf und 30 Ruß aus. Zusammen über alle 102 Starts, sind dies circa 43350 Tonnen Co₂, 15504 Tonnen Wasserdampf und 3060 Tonnen Ruß.

ROCKET EMISSION TOTALS^[METRIC TONNES]

	FUEL	CO ₂	WATER VAPOR	SOOT	NO _x	INORGANIC CHLORINE	ALUMINA	SULFUR CONTAINING COMPOUNDS
TITAN II	HYPERGOLIC	36	16	0.2	0.3	0	0	0.3
SOYUZ FG	RP-1 + HYPERGOLIC	243	64	13	0.4	0	0	~0
ATLAS V N22	SRB + RP-1 + HYDROGEN	259	111	2.1	0.8	21.4	30	~0
FALCON 9	RP-1	425	152	30	1	0	0	~0
DELTA IV HEAVY	HYDROGEN	~0	632	0	0.5	0	0	0
SPACE SHUTTLE	SRB + HYDROGEN	443	976	4.2	7	250	350	~0
SLS	SRB + HYDROGEN	538	1346	5.1	8.5	302.5	423.5	~0
STARSHIP + SUPER HEAVY	METHANE	2683	2199	0	1.7	0	0	0

EVERYDAY
ASTRONAUT

[Bildquelle: Tim Dodd (Everyday Astronaut) <https://everydayastronaut.com/rocket-pollution/>]

Zu diesen Zahlen ist es allerdings wichtig hinzuzufügen, dass Raketen-Abgase sich von z.B. Flugzeug-Abgasen unterscheiden, da sie in allen Schichten der Atmosphäre Emissionen verursachen. In den höheren Schichten der Atmosphäre können die Emissionen potenziell länger bestehen bleiben als in tieferen Teilen der Atmosphären und somit mehr Schaden verursachen kann. Diese Theorie wird durch eine Studie des Imperial College London unterstützt, welche herausfand, dass bereits leichte Änderungen in der Flughöhe eines

Flugzeuges starke Auswirkungen auf die Auswirkungen der Emissionen hat. Allerdings gibt es noch keine Studien zu der Auswirkung der Emissionen von Raketen.

5. Schlussfolgerung

Es lässt sich schlussfolgern, dass unser Konzept „Mega-Konstellation“ mit einem strukturierten Satellitennetz und bis ins kleinste Detail geplanten Satelliten die beste Lösung für Ricky Rusk ist, da diese mit der heutigen Technik zu realisieren wäre. Die Idee der „Deep-Space-Mission“ wäre jedoch die bessere Lösung, würde man in die Zukunft schauen und mehr Zeit haben. Dann würde man die Technik und die Materialien haben, um die Satelliten mit genug Energie zu versorgen, sodass sie hell erleuchten können.

Betrachtet man nun noch die Nachhaltigkeit, so ist die erste Lösung der „Mega-Konstellation“ überhaupt nicht umweltfreundlich, da über 100 Raketen ins Weltall gelangen müssen und eine immense Menge an Emissionen ausstoßen.

6. Quellen

6.1 Quellen: Deep-Space-Mission

6.1.1 Quellen: Berechnung der Helligkeit

https://de.wikipedia.org/wiki/Scheinbare_Helligkeit

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtstrom>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Wega>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Lumen_\(Einheit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Lumen_(Einheit))

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X05000320?via%3Dihub>

6.1.2 Quellen: Energieversorgung

https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/08jan_sunshine

<https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2021/03/29/space-lasers-the-truth/>

6.2 Quellen: Mega-Konstellation

6.2.1 Quellen: Umsetzung

https://en.wikipedia.org/wiki/Ion_thruster#Hall_effect_thrusters

<https://www.starlink.com/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube

<https://www.intel.com/content/www/us/en/products/details/nuc/boards.html>

<https://www.spacex.com/media/falcon-users-guide-2021-09.pdf>

<https://www.spacex.com/media/Capabilities&Services.pdf>

<https://qz.com/296941/interactive-graphic-every-active-satellite-orbiting-earth/>

<https://public.nrao.edu/ask/how-big-is-the-big-dipper/>

6.2.2: Quellen: Kosten

<https://www.sciencedaily.com/releases/2018/05/180523160148.htm>

<https://www.spacex.com/media/Capabilities&Services.pdf>

<https://www.intel.com/content/www/us/en/products/details/nuc/boards.html>

<https://space.stackexchange.com/questions/8698/how-much-does-it-cost-to-fill-an-ion-thruster-with-xenon-for-a-spacecraft-propuls>

https://www.alibaba.com/product-detail/1-8mm-2-7mm-3mm-4mm_60464217159.html?s=p

6.2.3 Quellen Einfluss auf Die Umwelt

<https://everydayastronaut.com/rocket-pollution/>

7. Fußnoten

Alle Werte in trigonometrischen Funktionen sind in ° (Grad) angegeben.