

Projekt Space R

„Wir bringen Ihr Zeichen auf den Himmel“



Team-ID: 4545

Datum: 26.03.2022

Aufgabenstellung: „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?“

Wettbewerbsfrage 2022 – PlaNeT SimTech

1.0 - Zusammenfassung

Der Nachthimmel galt schon immer als Ort der Hoffnung und Zukunft, und jeder von uns hatte den Wunsch, den Himmel zu gestalten. Die Zillionärin Ricky Rusk geht jedoch einen Schritt weiter. Sie möchte jetzt ihr Markenzeichen, ein großes \mathbb{R} , auf dem Sternbild "Der Große Wagen" sichtbar von der gesamten nördlichen Hemisphäre erscheinen lassen. Unser Team hat dafür eine innovative und kostengünstige Lösung gefunden.

Ein solches Bild im Raum zu erstellen, ist jedoch eine äußerst komplexe Aufgabe, die viel Präzision und Wissen erfordert. Unser Ansatz besteht darin, Satelliten in den Weltraum zu schicken, die zusammen auf dem Nachthimmel das Markenzeichen des Unternehmens „Resla“, ein großes \mathbb{R} , bilden.

Die Satelliten werden in einem vorberechneten Abstand und Winkel von der Erde stationiert, sodass sie 24 Stunden lang im Sonnenlicht stehen. Diese sollen mit Hilfe von ausklappbaren Spiegeln das Licht auf die Erde reflektieren und so das Markenzeichen von der Erde sichtbar machen. Wenn Sie sich auf der Nordhalbkugel befinden und das Sternbild Großer Wagen betrachten, sehen Sie ein großes \mathbb{R} .

Erreicht wird dies durch leistungsstarke und energieeffiziente Ionenantriebe, die in den Satelliten verbaut sind, da diese genug Energie liefern, um die Satelliten um die Sonne statt um die Erde zu rotieren. Infolgedessen kann jeder von überall auf der Nordhalbkugel das Zeichen vor dem Sternbild sehen.

Die Satelliten werden mit wiederverwendbaren Raketen von einem Weltraumbahnhof in Texas gestartet. Die Raketen starten die Satelliten ins All, die dann mit den Ionenantrieben zum Endpunkt gelenkt werden.

Unser Ziel ist es, die Satelliten nicht nur kostengünstig, sondern auch effizient zu bauen. Diese werden in unserem Entwicklungszentrum aus leichten Materialien konstruiert, die sich bei anderen Weltraummissionen bewährt haben, um das Gewicht zu minimieren. Sie werden außerdem mit komplexer Hardware und modernsten Kameras ausgestattet, um Bilder aus dem Weltraum aufzunehmen, zu verarbeiten und zu übertragen.

2.0 - Einführung

Unternehmerin Ricky Rusk möchte ihr Markenzeichen, ein riesiges \mathbb{R} , auf der Seitenwand des Sternbildes „Großer Wagen“ für die gesamte nördliche Hemisphäre sichtbar machen da ihr Wunsch die Sterne des Sternbildes zu kaufen nicht erfüllt werden kann.

Sie versucht natürlich dieses Problem mit möglichst geringem finanziellem Aufwand zu lösen. Um die Kosten von Anfang an niedrig zu halten schreibt sie einen Wettbewerb für Ingenieurtechnisch interessierte Schüler aus bei dem man auch etwas Geld gewinnen kann. Jedoch ist das für Ricky günstiger als ein professionelles Team dafür zu bezahlen.

Sehr große Probleme, welche die Lösung erschweren, stellen die Energieversorgung und die Größe des gewünschten Logos dar, denn dieses soll im Weltraum sein und kann somit natürlich nicht einfach an das Stromnetz angeschlossen werden. Daraus folgt dass die einzige für uns nutzbare Energiequelle im Weltraum die Sonne ist, diese jedoch nachts, wenn der große Wagen zu sehen ist, nicht scheint. Somit muss man den Erdschatten verlassen und entfernt sich so sehr weit von der Erde. Auch durch die schiere Größe der nördlichen Hemisphäre muss das \mathbb{R} unglaublich weit von der Erde entfernt sein um von überall aus sichtbar zu sein. Jedoch steht das im Konflikt mit der Größe welche für den Transport in den Weltraum möglichst leicht und kompakt zu halten ist.

Durch aktuelle Krisensituationen wie die COVID-19-Pandemie und den Ukraine-Russland-Krieg müssen im Moment Lieferengpässe überwunden werden. Auch die Materialkosten für verschiedene benötigte Stoffe wie Titan stiegen in den letzten Wochen stark an wodurch sich das Projekt leider nochmals etwas verteuert obwohl die benötigten Materialien schon außerhalb von Krisenzeiten teuer sind.

Ein weiteres Problem stellt die Rotation der Erde dar welche die Himmelskörper in ihrem Gravitationsbereich dazu bewegt wie der Mond auch um sie zu kreisen. Die benötigte Kraft um sich außerhalb dieses Geostationären Bereichs zirkumpolar aufhalten zu können ist sehr groß was eine kraftvolle und effiziente Energiequelle erfordert.

3.0 – Hauptteil

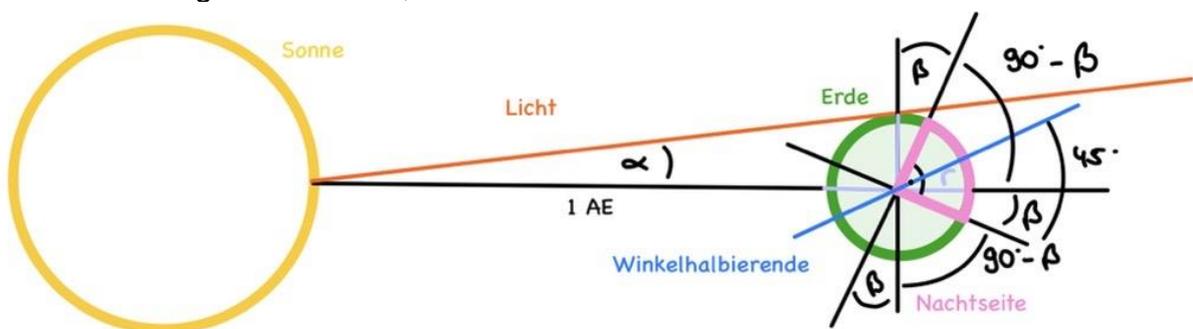
Damit das Logo der Unternehmerin möglichst groß und dominant im großen Wagen zu sehen ist und es den Schein hat, als gehöre es fest auf den großen Wagen „gedruckt“, soll es im „Ladebereich“ dessen zu sehen sein. Da dieser ein zirkumpolares Sternbild ist, ist er das ganze Jahr auf der Nordhalbkugel, bei Nacht sichtbar. Der „Ladebereich“ des großen Wagens, der zum Sternbild Ursus Major gehört, hat eine ungefähre Winkelausdehnung von 5° (die des Ursus Major beträgt 20° , und der Ladebereich ist nur ein Bruchteil davon). Dies ist eine äußerst große sichtbare Fläche, auf der das Logo erscheinen soll. Um das Logo dort permanent sichtbar zu machen, schien der einzige Weg, um dies zu gewährleisten, stationäre Satelliten zu verwenden, die dieses durch ihre Positionen abbilden. Diese dürfen allerdings nicht geostationär rotieren, sondern müssen mit der Erde, relativ zum Fixsternhimmel, um die Sonne kreisen und das auf der sonnenabgewandten Seite, damit sie immer am Nachthimmel sichtbar sind. Damit sie aus dem Kräftegleichgewicht der Fliehkraft und der Gravitationskraft ausbrechen können und somit nicht um die Erde rotieren, wird ein Antrieb, der eine zusätzliche Kraft ins Spiel bringt, unbedingt benötigt.

Auch benötigen sie eine Lichtquelle, die noch auf der Erde sichtbar ist, damit das Logo erkannt werden kann und es aussieht, wie Sterne. Eine so helle LED o.ä. bräuhete eine permanente Stromversorgung und eine gigantische Helligkeit, sodass die Nutzung von Sonnenlicht über Spiegel als geeigneter erschien. Allerdings wird hierfür eine beträchtliche Höhe über der Erdoberfläche benötigt, damit eine gewisse Höhe über dem Nordpol erreicht wird und die Satelliten überhaupt vom Sonnenlicht erreicht werden. Der abzudeckende Winkelabschnitt wird aber mit steigender Höher flächenmäßig größer, sodass mehrere kleine Satelliten, die gesamt ein \mathbb{R} formen, von Nöten sind.

All diese Faktoren müssen erst beachtet werden, bevor eine Kostenkalkulation möglich ist.

3.1 – Die Höhe der Satelliten und seine technischen Daten

Sichtbar werden sollen die Satelliten am Nachthimmel durch das Reflektieren von Sonnenlicht. Auf der Nachtseite der Erde muss ein Satellit mindestens auf dem orangenen Lichtstrahl positioniert sein, damit ihn das Licht der Sonne, das von der Erde selbst abgedunkelt wird, noch erreicht und er dieses reflektieren.



Zur Verdeutlichung wurde eine Tangente an der zur Vereinfachung kreisförmig eingezeichneten Erde gewählt.

Diese Skizze ist keine Abbildung der Realität und auch nicht im naturgetreuen Maßstab, daher sind die Sonne und die Erde in einer Ebene und nicht annähernd stimmigen Größenverhältnissen dargestellt. Damit das \mathbb{R} sowohl am Äquator als auch am Nordpol noch zu Genüge sichtbar ist, wird die Position der Satelliten vorerst auf die Winkelhalbierende zwischen der Erdachse und dem Äquator verordnet. Zwar befindet sich Ursus Major nicht genau auf dieser Achse, aber die Sternbilder sind bis zum 50ten Breitengrad zirkumpolar, und die gewählte Winkelhalbierende trifft auf diesen Bereich.

β beschreibt die Neigung der Erdachse um 23.37°

α ist der Winkel, unter dem das Licht von der Äquatorebene der Sonne auf die oberste Ausdehnung der Erde trifft.

$$\text{Es ist: } \tan(\alpha) = \frac{6371\text{km}}{149597870\text{km} + 6371\text{km}} \approx 4.2586 \cdot 10^{-5}\text{km}$$

$$\text{also ist: } \alpha = 2.44 \cdot 10^{-3}^\circ$$

Nun wird ein Koordinatensystem in obige Skizze gelegt, mit dem Ursprung im Erdmittelpunkt.

Somit kann sowohl die Winkelhalbierende, als auch der Lichtstrahl als Gerade beschrieben werden.

$$\text{Licht}(x) = \tan(2.44 \cdot 10^{-3}^\circ) + 6371\text{km}$$

Aus der Skizze ergibt sich für den Steigungswinkel der Winkelhalbierenden:

$$\gamma = 45^\circ - \beta = 21,73^\circ \text{ also ist:}$$

$$\text{Position}(x) = \tan(21,73^\circ)x$$

Der Schnittpunkt dieser beiden Funktionen lässt sich als mindestens nötige Position der Satelliten verstehen, dass ihn das Licht der Sonne noch erreicht.

$$\text{Licht}(x) = \text{Position}(x)$$

$$\tan(2.44 \cdot 10^{-3}^\circ) + 6371\text{km} = \tan(21,73^\circ)x$$

$$\text{nach Auflösen nach } x, \text{ ergibt sich: } x = 15986.956\text{km}$$

$$\text{der Funktionswert beträgt: } \text{Position}(15986.956\text{km}) = 6371,680816\text{km}$$

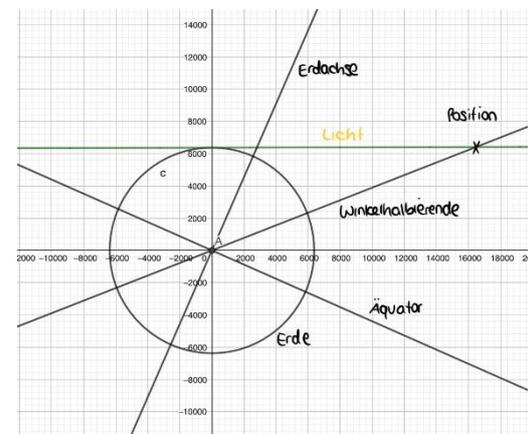
Damit wären die Satelliten mindestens 680m über dem höchsten Punkt.

Die Höhe über der Erdoberfläche ergibt sich dann mit Hilfe des Satz des Pythagoras:

$$(x_{\text{Position}})^2 + y_{\text{Position}}^2 = h^2$$

$$\text{also ist } h = 17209.93\text{km}$$

$$\text{und somit } h_{\text{Oberfläche}} = h - 6371\text{km}$$



$$\rightarrow h_{\text{Oberfläche}} = 10838.93 \text{ km}$$

Die Satelliten fliegt um die Sonne, sodass sie immer auf der Nachtseite der Erde ist. Näherungsweise wird von einer Kreisbahn statt einer elliptischen Bahn ausgegangen. Da sie hinter der Erde relativ zur Sonne stationiert sind, müssen sie schneller sein als die Erde.

Ihr Abstand zur Sonne ergibt sich wie folgt, ebenfalls durch den Satz des Pythagoras:

$$(1AE + r_{\text{Erde}} + x_{\text{Position}})^2 + (y_{\text{Position}})^2 = l^2$$

nach Auflösen ergibt sich $l = 149620228.1 \text{ km}$

Ihre Geschwindigkeit wiederum muss sich aus folgendem Ansatz ergeben:

Damit sie immer an der Nachtseite der Erde bleiben, müssen sie genauso lange um die Sonne rotieren, wie die Erde.

$$\text{Daher ist: } T = 365.25a = 31557600s$$

$$\text{Für die Länge der Bahn gilt: } U = 2\pi r = 2\pi l = 940091618.9 \text{ km}$$

$$\text{Und somit ist: } v = \frac{U}{T} = 29.7897 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

All diese Werte sind relative Daten und beziehen sich auf einen Satelliten an genau einem Ort. Für die Konstruktion des Logo, auf das im Folgenden eingegangen wird, sind aber mehr Satelliten nötig. Daher ändern sich die Daten für jeden einzelnen geringfügig. Auch ändert sich die Position des großen Wagens im Laufe eines Jahres. Daher muss eine Bahnkorrektur der Satelliten ständig berechnet werden, damit sich das aus ihnen geformte Logo nicht verschiebt oder gar verzerrt.

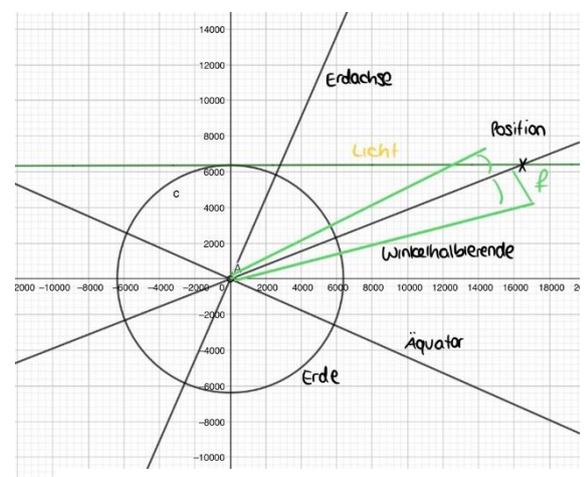
3.2 – Positionierung und Aufbau am Nachthimmel

Da der große Wagen eine ungefähre Ausdehnung am Nachthimmel von 5° . Wird dieser Winkel um die Position gelegt, das heißt, die Position des großen Wagens an der Stelle der Annäherung angenommen, so lässt sich berechnen, wie groß die Ausdehnung des Logos, dass dann von Satelliten symbolisiert wird, sein muss. Dies ist mit Hilfe des Sinus möglich:

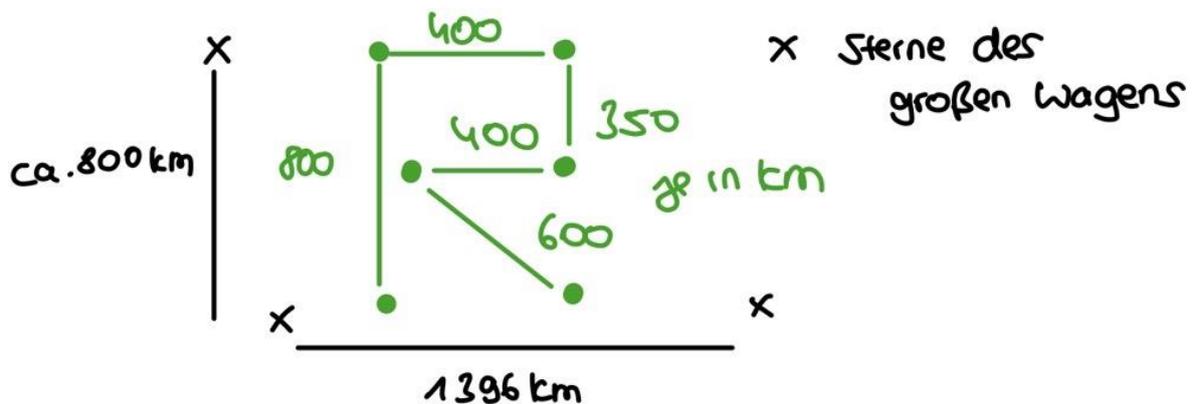
$$\sin(2.5) = \frac{f}{h} \text{ also } f = h * \tan(2.5) = 698 \text{ km}$$

$$\rightarrow \text{Also ist die Ausdehnung gleich } 2 * f = 1396 \text{ km}$$

Dies ist die Fläche, die für das Logo im Ladebereich des großen Wagens zur Verfügung steht. Die Satelliten können dort in gewissem Abstand verteilt werden. Von der Erde sind diese Abstände aber nicht sichtbar, da sie auf den



Winkelausschnitt von 5° komprimiert werden. Trotzdem soll nicht die gesamte Fläche ausgefüllt werden, um Kosten zu sparen.



Die Gesamtlänge, auf der die Satelliten verteilt werden sollen, um das R zu symbolisieren, ergibt sich aus der Skizze folgendermaßen:

$$800km + 400km + 350km + 400km + 600km = 2550km$$

Im Abstand von 10km sollen nun Satelliten verteilt werden, damit sie genügend sichtbar sind. Das heißt es soll

$$\frac{2550km}{10km} = 255$$

Satelliten geben. Diese werden gleichmäßig zwischen den eingezeichneten Positionen verteilt. Durch verschiedenste Technik sollen sie auf ihren Bahnen und Positionen relativ zueinander gehalten werden.

3.3 – Aufbau des Satelliten

Alle 255 Satelliten werden gleich aufgebaut um die Entwicklung effizient zu gestalten und die Kosten niedrig zu halten. Das Grundgerüst des Satelliten ist ein quaderförmiger Titankäfig (500mm x 1000mm) welcher die gesamte Elektronik beinhaltet und schützt. Die angegebene Form ist praktisch um in einer Rakete eng gepackt in den Weltraum geschossen zu werden.

An dem Grundgerüst sind 62 gleich große Teile befestigt, welche sich an der Zielposition zu einem Kreis mit 10 Meter Durchmesser auffächern und somit einen Spiegel mit einer Fläche von 78,5m² zusammensetzen. So viele Teile sind nötig um auf die für den Transport vorgesehene Breite von 500mm zu kommen und somit 20 Satelliten pro Raketenstart in den Weltraum zu befördern. Diese Fächerteile, welche übereinander transportiert werden, bestehen wie das Grundgerüst aus Titan um möglichst leicht zu sein und sind mit hauchdünn mit Gold beschichtet um eine leichte, fast perfekt reflektierende, Fläche zu erzeugen.

Jedes der 62 Teile besitzt zwei eigene elektrische Servomotoren um perfekt von der Erde aus ausgerichtet werden zu können, um die Reflexion der Sonne auf die Erde zu werfen. Um größere Veränderungen zu realisieren muss der gesamte Satellit

bewegt werden. Zu diesem Zweck befinden sich drei Gyroskope im Gehäuse mit denen sich der Satellit in alle Richtungen drehen kann.

Um größere Strecken zurückzulegen und immer im gleichen Abstand zum Erdmittelpunkt zu bleiben wird ein Iod betriebener Ionenantrieb verwendet da dieser effizienter arbeitet als herkömmliche Raketentriebwerke. Diese Effizienz ist sehr wichtig da dauernd Energie aufgebracht werden muss um aus dem Kräftegleichgewicht der Gravitations- und Fliehkraft auszubrechen und so im Weltraum eine stationäre Position, relativ zur Sonnenumlaufbahn der Erde, zu erreichen (Die Lagrange-Punkte wären geschickter für dieses Projekt, jedoch befindet sich keiner in nutzbarer Nähe). Durch verschiedene Düsen gelangt die Energie an unterschiedlichen Enden und somit in unterschiedliche Richtungen aus dem Satelliten und kann ihn so in alle Richtungen beschleunigen.

3.4 – Kostenüberschlag

Kostenüberschlag pro Satellit

Komponenten	Gewicht	Kostenpunkt
Iod (für Ionenantrieb)	40kg	2000€
Gold	0,062kg	3580€
Ionenantrieb	75kg	700.000€
Segelkonstrukt und Corpus (Titan)	140kg	700€
Hardware	30kg	350.000€
Baukosten	-	200.000€
Startkosten (Space X)	-	2.822.395€

Hardware:

- Solarpanels
- Sensoren
- Computer
- Steuerung
- Spiegelausrichtung
- Kommunikation
- Gyroskop

Entwicklungskosten	20.000.000€
Wartungs-/Betriebskosten (Jährlich)	50.000.000€
Gesamtkosten (ohne Wartung & Betrieb)	1.060.062.125€

Somit sind die Kosten so, dass Ricky Zillionärin bleiben kann.

4.0 – Schlussfolgerung

Als Ergebnis dieses Projektes kann eindeutig bestätigt werden, dass zur Bildung eines statischen Zeichens aus Satelliten am Himmel viele Ressourcen notwendig sind, da diese gegen viele Kräfte wirken müssen und sich von dem standardisierten Konzept eines geostationären bzw. sich um die Erde rotierenden Satelliten unterscheidet. Mit Hilfe moderner Antriebe und Technologien lässt sich die Aufgabe aber durchaus umsetzen. Die Abläufe des Projekts und der Aufbau der Satelliten werden im Zuge der Umsetzung weiter verbessert, da wir die Satelliten durch Sensoren und Auswertung der gesammelten Daten optimieren und gegebenenfalls die Berechnungen korrigieren werden.