

PlaNet SimTech Wettbewerb

Auf der deutschen Forschungsstation „Neumayer III“ in der Antarktis überwintern typischerweise 10 Personen. Die Versorgung erfolgte bisher über Schiffe und Flugzeuge.

Deutschland möchte aber gerne im Zuge der allgemeinen Erhöhung der Benzin- und Dieselpreise die Belieferung ändern, und setzt dazu auf long distance Schleudern / Katapulte, bei denen die „geschleuderten“ Güter keinen eigenen Antrieb besitzen. Das Ziel ist es, den Nahrungsmittelvorrat für eine Überwinterung zu der Station „zu schleudern“.

Wie kann dies realisiert werden?

Team-ID 9622

25.03.2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1. Zusammenfassung	3
2. Einführung in die Thematik	3
3. Hauptteil	4
3.1 Schätzung des jetzigen Geldverbrauches: Hypothetische Mathematik	4
3.2 Nahrungsvorsorge für 10 Personen	5
3.3 Voraussetzungen der Wetterlage	5
3.4 Mögliche Lösungsansätze	5
3.4.1 Berechnung der Flugdistanz	5
3.4.2 Optimierungen des Trägers	7
3.4.3 Struktur des Katapults und der optimale Startpunkt	9
3.4.4 Winkel des Katapults	10
3.4.5 Wiederverwendung des Trägers	10
3.5 Kostenanalyse des Katapults und Vorteile	10
Schlussfolgerung	11
Literaturverzeichnis	12
Anhang	14

1. Zusammenfassung

Wir haben ein Konzept entwickelt, welches der deutschen Forschung erlaubt, ein Paket mittels eines Trägers an die Neumayer III Station zu schicken. Dieses Konzept ist aber verglichen mit den heutigen Methoden nicht sinnvoll, da die heutigen Technologien es uns nicht erlauben, bestimmte Aspekte des Konzepts kosteneffizient zu lösen. Dazu ist das Konzept mit großem Risiko verbunden, da man einen Träger mit hohen Geschwindigkeiten durch die Atmosphäre schicken müsste.

2. Einführung in die Thematik

Die Forschungsstation "Neumayer III", die sich auf dem Ekström-Schelfeis in der Atka-Bucht des nordöstlichen Weddell-Meeres befindet, dient der deutschen Forschung in den Bereichen der Geophysik, Meteorologie und Luftchemie. Ungefähr 16.231 Kilometer entfernt vom deutschen Festland, getrennt durch die Ozeane der Welt und Kontinente ist es eine Mammutaufgabe, die deutschen Forscher*innen dort zu versorgen. Um eine kontinuierliche Versorgung zu gewährleisten, hängt das Alfred-Wegener-Institut, welches sich im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung der Meeresforschung widmet, momentan noch vom Luft- und Schiffverkehr ab. Aufgrund der in letzter Zeit gestiegenen Benzin- und Dieselpreise ist die sowieso schon kostspielige Logistik der Versorgung nochmals teurer geworden. Hinaus kommt die weitere Problematik der in der Zukunft spärlich verfügbaren fossilen Brennstoffen dazu. So bietet ein Katapult ein stabiles Versorgungssystem, welches nicht jedes Jahr neu errichtet werden muss.

So ist es unsere Intention, eine in der Zukunft möglich kosteneffiziente Möglichkeit vorzuweisen, in diesem Fall ein "Long Distance Katapult", welches nicht den Gebrauch von einem eigenen Antrieb in Anspruch nimmt. Mit einem Ansatz, der von der Physik und Mathematik Gebrauch macht, stellen wir dar, wie eine Katapult-Methode verwirklicht werden kann.

3. Hauptteil

3.1 Schätzung des jetzigen Geldverbrauches: Hypothetische Mathematik

Der Frankfurter Flughafen (FRA) dient als Europas führendes Frachtdrehkreuz und ist der Startpunkt für die Versorgung der Forscher*innen auf der Neumayer III Station, Antarktis. So startet eine Lufthansa Cargo Boeing 777-FBT von CargoCity Süd am Frankfurter Flughafen mit der Kennung LH8266 nach Sao Paulo Guarulhos (GRU). Diese Maschine tankt Jet-A-1 Treibstoff und verbraucht ungefähr 42 Gallonen pro Minute (*Airliners, n.D.*). Um nun die durchschnittliche Flugzeit der Maschine zu kalkulieren, nehmen wir den Mittelwert der ersten fünf Flüge ab November 2022. Am 06.11 flog das Flugzeug für 11:34 Stunden; am 13.11 für 11:35 Stunden; am 20.11 für 11:22 Stunden; am 27.11 für 11:34 Stunden und am 04.12 für 11:33 Stunden. Wandelt man diese Flugzeiten nun in Minuten um, erhält man einen Mittelwert von 691,6 Minuten. Benutzt man nun die Formel Kerosinverbrauch pro Minute $\times$ durchschnittliche Flugzeit ($42 \times 691,6$) erhält man eine Gesamt-Gallonen-Anzahl von 29.047,2 gal. Zu der Zeit kostete ein Gallon von Jet-A-1 2,73 US-Dollar (USD) (*Airliners, n.D.*). Dies liefert einen Gesamtpreis für die Strecke (FRA-GRU) von 79.298,856 USD.

Die Fluggesellschaft LATAM Cargo verwendet eine Boeing 767-300 Freighter für den Flug von Sao Paulo nach Mount Pleasant auf den Falklandinseln. Die Flugzeit beträgt ungefähr fünf Stunden (300 Minuten). Das Flugzeug hat einen Kerosinverbrauch von ungefähr 23 Gallonen pro Minute. Ein Gallon Jet-A-1 Treibstoff kostete zurzeit 3,16 US-Dollar (*Jet Fuel - Daily Price - Commodity Prices - Price Charts, Data, and News - IndexMundi, n.d.*). Das ergibt einen Gesamtpreis von 21.770,425 USD. Per Schiff gelangt die Fracht dann zu der Station, die genauen Kosten sind jedoch nicht bekannt.

Die zweite Methode wäre eine Schifffahrt mit dem Schiff "Polarstern" von Bremerhaven zur Station in der Antarktis. Die "Polarstern" verbraucht 900 Tonnen Treibstoff pro Monat (*Nachhaltiger Schiffsbetrieb - AWI, n.d.*). Dabei fährt das Schiff sieben Wochen von Bremerhaven zur Station in der Antarktis und dann sieben Wochen wieder zurück. Das sind dann 14 Wochen beziehungsweise 3,5 Monate, was dann 3.500 Tonnen Treibstoff entspricht (*Forschung, 2017*). Da das Schiff sowohl Schweröl als auch Marinediesel tanken kann (*ebd. 2017*), ergibt dies eine Untergrenze von 1.050.000 USD und eine Obergrenze von 1.750.000 USD.

Es werden 24 Schiffscontainer von je 33.1543m^3 also insgesamt 795.703m^3 verwendet. Da eine Boeing 777-F jedoch nur eine maximale Kapazität von $535,2\text{m}^3$ hat (*Atlas Air, 2018*) und eine Boeing 767-300 Freighter eine von 438m^3 (*Boeing, 2009*) müssen von jedem Flugzeug jeweils zwei benutzt werden, um dem Gebrauch

nachkommen zu können. Der Frachtflug ergibt daher den Gesamtpreis von 404.277,124 USD ($202.138,562 \times 2$). Der Preisunterschied zwischen Schiff und Flugzeug ist daher so hoch, weil das Schiff kein Containerschiff ist, sondern ein ausbrechendes Forschungsschiff.

3.2 Nahrungsvorsorge für 10 Personen

Zwar gibt es keine genauen Angaben zur benötigten Menge an Lebensmitteln, die öffentlich verfügbar sind, da diese vertrauliche Informationen enthalten. Allerdings gibt es Schätzungen, die auf Daten aus früheren Jahren basieren. Zum Beispiel wird geschätzt, dass zehn Personen auf der Neumayer III in einem Jahr ungefähr 30 Tonnen an Lebensmitteln benötigen (*Deutsche Welle, 2018*). 30 Tonnen sind auch die Masse, die wir für unseren Lösungsansatz verwenden werden.

3.3 Voraussetzungen der Wetterlage

Die Flugroute des Trägers mit der Nahrung ist hauptsächlich außerhalb der Erdatmosphäre. Dennoch befinden sich der Start und die Landung innerhalb der Erdatmosphäre, weshalb das Wetter eine wichtige Rolle spielt. Ein Start ist nur möglich, sollte das Wetter "perfekt" sein. Mit perfekt ist gemeint, dass auf der gesamten Flugbahn kein Wind, Regen und andere Faktoren existieren dürfen, welche die Flugbahn des Trägers beeinflussen können.

3.4 Mögliche Lösungsansätze

Die Nahrung der Forscher*innen wird mit Hilfe eines Trägers und eines Katapults auf eine Geschwindigkeit von 7000 ms^{-1} beschleunigt. Diese Geschwindigkeit wird benötigt, damit der Träger mit der Nahrung auch ankommen kann.

Der Grund, warum wir uns für eine Flugbahn entschieden haben, die sich größtenteils außerhalb der Atmosphäre befindet, basiert auf zwei Hauptgründen. Erstens können, wie eben erwähnt, Winde einen großen Einfluss haben. Indem sich der Träger nur beim Start und bei der Landung in der Atmosphäre befindet, ist die Wahrscheinlichkeit, dass Winde die Flugbahn beeinflussen, gering. Zweitens, ist der Luftwiderstand ein Faktor, welcher das Katapultieren des Trägers erschwert, da sehr viel Energie verloren geht.

3.4.1 Berechnung der Flugdistanz

Für die Flugbahn von Überschallflugzeugen maximiert man die geflogene Distanz, indem man den Luftwiderstand minimiert und soweit wie möglich gleitet. Unsere Lösung erlaubt noch für eine Technik, bei dem man von der Atmosphäre abprallt, ähnlich wie man flache Steine auf einer Wasseroberfläche wiederholt aufprallen

lassen kann. Dies erlaubt die Verlängerung der Flugzeit und erhöht die Reichweite des Trägers.

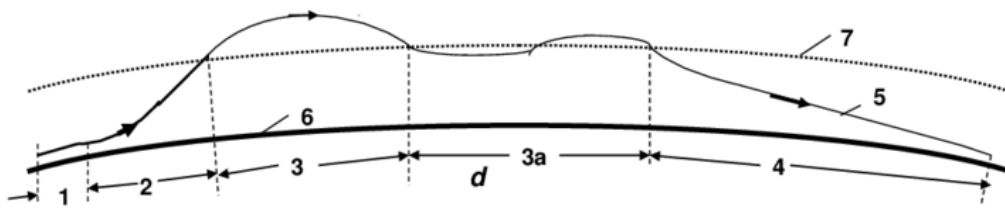


Abbildung 1: Beispiel des Flugbahn. Die Grenze der Atmosphäre (7) ist gestrichelt markiert. (Bolonkin, 2014, Abb. 1)

Die Berechnung der Distanz muss in mehreren Schritten erfolgen: Die Distanz, die der Träger zurücklegt, während er steigt (Auf Abbildung 1 als "2" markiert), der Gleitflug (Als "3" markiert) und die Distanz, die nach dem Wiedereinstieg in die Atmosphäre zurückgelegt wird.

Bolonkin (2014) hat in seiner Forschung eine Theorie entwickelt, mit der man mithilfe eines Katapults ein Passagierflugzeug ohne Antrieb benutzen könnte.

Zur Einschätzung der Distanz bei Flugphase 2 verwendet Bolonkin die Formel:

$$\dot{r} = V \cos \theta$$

Dieser Aufsatz verwendet Newton's Schreibart, wo das $\dot{r}$ mit dem Punkt die Ableitung der Distanz r ist. Das V ist die variable Geschwindigkeit des Trägers, und θ der Flugbahnwinkel. In anderen Worten, wie schnell sich die Distanz verändert, ist proportional zu der Geschwindigkeit des Trägers, und wie flach er fliegt. Die zwei Variablen werden weiter definiert:

$$\dot{V} = -\frac{gn}{K} - g \sin \theta \quad \dot{\theta} = \frac{gn}{V} - \frac{g}{V} \cos \theta + \frac{V \cos \theta}{R}$$

Wo K die Gleitzahl ist, was das Verhältnis des aerodynamischen Auftriebs und Luftwiderstands ist, n der Faktor in G-Kräften, mit dem der Träger beschleunigt wird, und R der Radius des Trägers über der Erde ist.

Zur Berechnung der Gleitdistanz verwendet man die Formeln:

$$r = 2R_0\beta; v = \left(\frac{V_a}{V_0}\right)^2; \tan \beta = \frac{v \tan \theta_a}{1 - v + \tan^2 \theta_a}$$

Wo R_0 der Radius der Erde ist, V_a und θ_a jeweils die Geschwindigkeit und der Winkel sind, wenn der Träger die Atmosphäre verlässt, und V_0 die Geschwindigkeit ist, bei der der Träger landen soll.

Zur Berechnung von der Distanz nach dem Wiedereintritt in die Atmosphäre benötigt man komplexe numerische Integrationen, welche nicht berechnet wurden.

Die Flugdistanz, die der Träger mindestens haben muss, ist zwischen 13.000 km (Die Distanz zwischen der Neumayer III Station und der Zugspitze) und 14.000 km (13.000 + die Länge von Deutschland). Da wir nicht aus den Formeln ausrechnen können, wie schnell der Träger sein muss, wird der Wert stattdessen von Bolonkins Werten extrapoliert.

Initial speed V , m/s	4000	5000	6000
Speed at altitude 100 km, m/s	3076	4148	5215
Range L , km	3909	7035	10700

Abbildung 2: Bolonkins (2014) Werte für ein Überschallgeschwindigkeit Passagierträger

Man sieht, dass bei einer Erhöhung der Reichweite von ungefähr 3300 Metern, um die mindest Flugdistanz von 14.000 km zu erreichen, eine Anfangsgeschwindigkeit von 7000 ms^{-1} notwendig ist.

Diese Werte können auch bei unserer Situation angewandt werden, da Masse keine Rolle spielt in der Aerodynamik und der Beschleunigung, die durch Gravitation verursacht wird.

Dazu scheint Bolonkin die Werte für die Gleitzahl ohne festen Grund gewählt zu haben. Unser Träger wird nicht von den gleichen Einschränkungen wie der Passagierträger von Bolonkin beeinflusst sein. Unser Träger hat dazu auch noch Innovation, welche die Gleitzahl verbessern wird, wie z.B. Schwenkflügeln, weshalb die Schätzung von 7000 ms^{-1} eher konservativ ist.

3.4.2 Optimierungen des Trägers

Eins der wichtigsten Optimierungen des Trägers ist der Fakt, dass es unbemannt ist. Somit wird Gewicht und Platz gespart, die man braucht, um eine Person am Leben zu halten, und erlaubt für eine spezielle Form des Trägers, in der ein Mensch normalerweise nicht passen würde. Die Drohne ist stattdessen mehrheitlich automatisiert, dessen Computer durch einen Altimeter und ein Gyroscope unterstützt wird, aber trotzdem von Ferne kontrolliert werden kann.

Für das Flugsteuerungssystem müssen die Flügel sowohl mit Ailerons als auch mit Flaperons ausgestattet sein. Die Ailerons sollten sich jedoch nicht nur in unterschiedliche, sondern auch in dieselbe Richtung beugen, damit sie die Schräglage und den Gleitwinkel ändern können. Die Flaperons, die eine Mischung aus herkömmlichen Flaps und Ailerons sind, können genauso wie die Ailerons zur Kontrolle des Trägers eingesetzt werden, aber eben auch wie Flaps bei der Landung, um die minimale Geschwindigkeit bevor ein Stall zu verringern. Dazu benötigt der Träger noch horizontale Stabilisatoren, die genauso wie die Flügel dazu in der Lage sein müssen, komplett einfahren zu können. Die Stabilisatoren werden auch als Höhenruder fungieren, damit das Höhenruder nicht aufgrund von Mach Tuck unbrauchbar gemacht wird. Unter Mach Tuck ist verstanden man den Verlust der Kontrolle über den Neigungswinkel eines Flugzeugs, der darauf basiert, dass der Luftstrom über den Flügeln Überschallgeschwindigkeit erreicht, was die Luft daran hindert, an den hinteren Teil, an dem sich das Höhenruder normalerweise befindet, zu gelangen.

Der ideale Träger benötigt auch unter anderem eine hohe Gleitzahl, die das Verhältnis aerodynamischen Auftriebs und Luftwiderstands ist. Eine hohe Gleitzahl

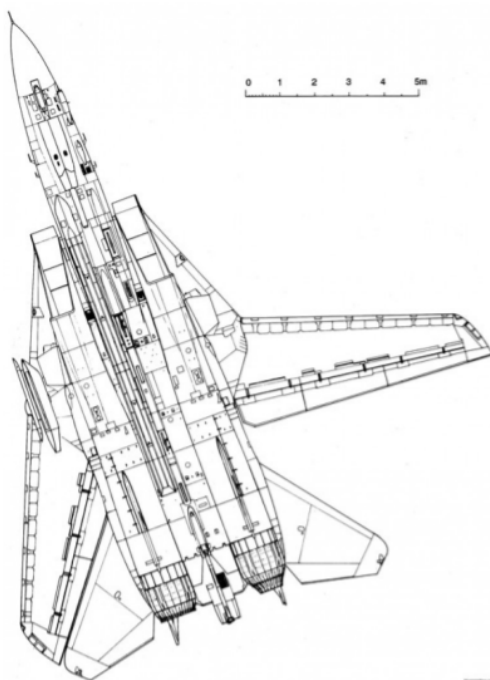


Abbildung 3: Schwenkflügel wie sie auf der Grumman F-14 Tomcat zu sehen sind

bedeutet, dass der Träger nach dem Wiedereintritt in die Atmosphäre so weit wie möglich ohne Antrieb gleiten kann. Dies wird erzielt, indem der Träger so aerodynamisch wie möglich gebaut wird. Das heißt, dass die Fläche, die von vorne zur Luft ausgesetzt wird, minimiert wird, und sonst nur langsam größer wird. Dies ist nur möglich, da Güter transportiert werden, deren Form sehr variabel sein muss.

Dazu werden Schwenkflügel verwendet, womit Tragflächen gemeint sind, die durch einen Schwenkmechanismus ihre Pfeilung verändern können. Dies erlaubt den Trägern, während des Steigs außerhalb der Atmosphäre noch aerodynamischer zu sein, aber trotzdem für das Abprallen von der Atmosphäre und für das Gleiten eine große Fläche zu haben.

Eine Unterseite aus porösem Silizium und eine Isolierung werden auch gebraucht, die für den Transport von Lebensmitteln geeignet ist, damit die Lebensmittel nach dem Wiedereintritt in die Atmosphäre noch frisch und essbar sind. Eine Möglichkeit wäre das Verwenden von Thermoboxen, die zusätzlich mit Isoliermaterialien wie Schaumstoff ausgekleidet sind und um die noch eine Form von Aluminiumfolie zum

Schutz gegen Strahlung ist. Da der Träger sich in einem Gleitflug fortbewegt, muss der Flug am Tag stattfinden, da es bei Nacht keine thermischen Aufwinde gibt. Thermische Aufwinde entstehen durch die Erwärmung der Erdoberfläche während des Tages und sie helfen dabei, die Flugstrecke zu verlängern, da der Träger schneller an Höhe gewinnen kann und auch langsamer erst wieder an Höhe verlieren würde. Um die thermischen Aufwinde am effizientesten zu nutzen muss der Gleitwinkel des Trägers allgemein gesagt so flach wie möglich sein, bei einer schnellen Landung kann jedoch auch ein steiler Gleitwinkel verwendet werden, wobei das nur in Notfällen eine wirkliche Option wäre.

Zusätzlich benötigt der Träger einen Fallschirm zur Verringerung der Geschwindigkeit während eines Notfalls bei der Landung, falls die Geschwindigkeit nicht von den Bremsen bewältigt werden kann.

3.4.3 Struktur des Katapults und der optimale Startpunkt

Der optimale theoretische Startpunkt für das Katapult wäre die Zugspitze (47° 25' 15.838" N 10° 59' 7.314" E). Hierfür gibt es mehrere Gründe. Die Zugspitze befindet sich 2962 m über dem Meeresspiegel. Dies ist aufgrund der potentiellen Energie, berechnet durch $m \times g \times h$, wo m die Masse ist, g die Fallbeschleunigung (9.81ms^{-2}) und h die Höhe, vorteilhaft, da der Träger diese Distanz nicht mit der wertvollen kinetischen Energie von der Geschwindigkeit überwinden muss. Ein möglicher Ansatz, eine solche Beschleunigung zu erreichen, wäre mit linearen Motoren. Diese Motoren funktionieren auf der Basis von elektromagnetischen Induktion, und erlauben es, Gegenstände in einer Linie zu beschleunigen. Der Vorteil hiervon ist, dass lineare Motoren Strom verwenden. Strom ist günstig und kann aus umweltfreundlichen Wegen bezogen werden.

Bei dieser Lösung treten zwei Probleme auf:

Im Moment sind lineare Motoren nicht effizient und stark genug, um den Träger schnell genug zu beschleunigen.

Das zweite Problem ist der Startpunkt des Katapults selbst. Das Katapult müsste eine Länge von 278 km haben, um selbst bei einer konstanten Beschleunigung von 9 G-Kräften den Träger auf 7000ms^{-1} zu beschleunigen, was bisher nicht mal mit linearen Motoren möglich ist.

Um dieses Katapult mit heutiger Technologie möglich zu machen, könnte man stattdessen Raketen verwenden, die den Träger auf einer Art Schlitten beschleunigen. Die hohe Beschleunigung, die möglich ist, ermöglicht es, ein kürzeres Katapult zu verwenden. Die Raketen können nach dem Start verlangsamt und anschließend wiederverwendet werden. Die Kosten von diesem Katapult würden jedoch höher sein, aufgrund des Treibstoffs, den die Raketen verwenden würden und durch die erhöhten Wartungskosten wegen der erhöhten Beschleunigung und der Nutzung von Raketen.

3.4.4 Winkel des Katapults

Eine wichtige Frage, welche berücksichtigt werden muss, ist der Winkel des Katapults, von dem der Träger mit der Nahrung abgeschossen wird. Im Normalfall wird ein Winkel von 45 Grad benutzt. Mithilfe eines "Projectile Motion Calculator" kann man eine Distanz berechnen, indem man die Parameter, Starthöhe, Startgeschwindigkeit und den Startwinkel hat. Wie erwähnt, ist der Startpunkt (Die Zugspitze) 2962 m über dem Meeresspiegel. Die Startgeschwindigkeit beträgt ca. 7000 ms^{-1} , und der Startwinkel 45 Grad. Somit würde man eine Distanz von 4999,571 Metern errechnen. Dies ist natürlich nur ein Viertel der Distanz zur Antarktis, jedoch muss man bedenken, dass ein Großteil der Distanz durch Gleiten zurückgelegt wird, weshalb ein Wert von ca. 5000m unrealistisch ist. Es wäre deswegen sogar sinnvoller, den Winkel zu steigern, um eine maximale mögliche Distanz zu erreichen.

3.4.5 Wiederverwendung des Trägers

Jedes Jahr kommt nach der Überwinterung neues Personal an der Neumayer Station. Das Schiff, welches das Personal von Bremerhaven zu Neumayer bringt, kann verwendet werden, um den Träger zurückzubringen. Bis das Schiff ankommt, wartet der Träger in einem Lager bei der Neumayer Station. Da es keinen Antrieb besitzt, ist das einzige Risiko auf dem Computer an Bord, was aber die Kälte standhalten sollte (Demmer, 2010).

3.5 Kostenanalyse des Katapults und Vorteile

Erstmal ist anzudeuten, dass es unrealistisch ist, die Kosten für das Konzept der Schleuder zu berechnen, da es eben nur theoretisch existiert und momentan noch nicht umsetzbar ist. Etwas, was man aber mit der traditionellen Methode der Nahrungslieferung vergleichen kann, sind die allgemeinen konstanten Kosten und variablen Kosten. Ein möglicher Vorteil des Katapult ist, dass der Großteil der Kosten einmalig ist. Dies ist der Bau des Katapults an sich. Die variablen Kosten sind die für die Stromerzeugung nötigen Energien, welche für lineare Motoren benutzt werden, und die Träger, welche verschickt werden. Ebenfalls kann der Strom durch erneuerbare Energiequellen wie Wind, Sonne usw. hergestellt werden. Das Problem mit fossilen Brennstoffen wie Benzin und Diesel ist erstens, dass sie irgendwann aufgebraucht werden, und dass sie sehr umweltunfreundlich sind, da Stoffe wie Kohlenstoffdioxid abgegeben werden. Allerdings ist anzudeuten, dass mit der jetzigen Technologie, eine Umsetzung des Katapults in die Realität, wahrscheinlich nicht Zukunftsnah ist.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Katapult in der Theorie zwar funktionieren könnte, aufgrund der heutigen verfügbaren Technologie aber nicht sinnvoll wäre. Das Entwerfen und Bauen von einem Träger, der alle Kriterien erfüllt, würde sehr kostspielig sein, weil es viele Optimierungen beinhalten müsste, wie zum Beispiel die des Schwenkflügels. Dazu muss der Träger den Energien, die bei einem Start bei 7000 ms^{-1} , bei dem Aufprall und Wiedereintritt in die Atmosphäre entstehen, standhalten können. Die Methoden, um den Träger auf die nötige Geschwindigkeit zu beschleunigen, sind mit der heutigen Technologie nur durch Raketen möglich, deren Entwurf jedoch noch teuer sein und Risiken mit sich bringen würde. Dies gilt auch im Generellen, da der Träger unter dem Risiko steht, in der Atmosphäre zu zerfallen.

Literaturverzeichnis

Antarctica food supply: How Germany feeds its researchers. (2018). Deutsche Welle.

<https://www.dw.com/en/antarctica-food-supply-how-germany-feeds-its-researchers/a-42740645>

Atlas Air Worldwide Holdings. (2018). Aircraft Specifications: 777F.

https://www.atlasair.com/wp-content/uploads/2018/01/777-200F-One-Sheet_012418.pdf

Bau der Neumayer Station III - AWI. (n.d.).

<https://www.awi.de/expedition/stationen/neumayer-station-iii/bau-der-neumayer-station-iii.html>

Boeing Commercial Airplanes. (2009). Boeing 767-300F designed to deliver.

https://www.boeing.com/farnborough2014/pdf/BCA/bck-767_5_13_2014.pdf

Bolonkin, A. (2014). Catapult Transportation. *Journal of intelligent transportation and urban planning*, 30–44. <https://doi.org/10.18005/itup0202001> Demmer, C. (2010, 17. Mai).

Überwintern im ewigen Eis. Süddeutsche.de. Abgerufen am 25. März 2023, von

<https://www.sueddeutsche.de/karriere/die-neuen-gastarbeiter-ueberwintern-im-ewigen-eis-1.545237>

Forschung, B. F. B. U. (2017, 27. September). Wie Neumayer III mit Eiern, Milch und Treibstoff versorgt wird.

<https://www.wissenschaftsjahr.de/2016-17/das-wissenschaftsjahr/die-forschungsflotte/forschungsschiff-blogs/polarforscher-an-der-neumayer-iii-station.html>

Grumman F-14 Tomcat. (o. D.). AeroFred.

https://aerofred.com/c_images/img.php?src=./data/thumbnails/54/grumman_f_14_tomcat_11.jpg&q=90&w=750

Jet Fuel - Daily Price - Commodity Prices - Price Charts, Data, and News - IndexMundi.

(n.d.). <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=jet-fuel&months=12>

Lufthansa Group. (n.d.). Boeing 777F.

<https://www.lufthansagroup.com/en/company/fleet/lufthansa-cargo/boeing-777f.html>

Nachhaltiger Schiffsbetrieb - AWI. (n.d.).

<https://www.awi.de/ueber-uns/organisation/nachhaltigkeit/nachhaltiger-schiffsbetrieb.html>

Space Shuttle Tiles: Structure and Materials. (o. D.). In Nasa.

https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/shuttle_tiles_5_8v2.pdf

Anhang

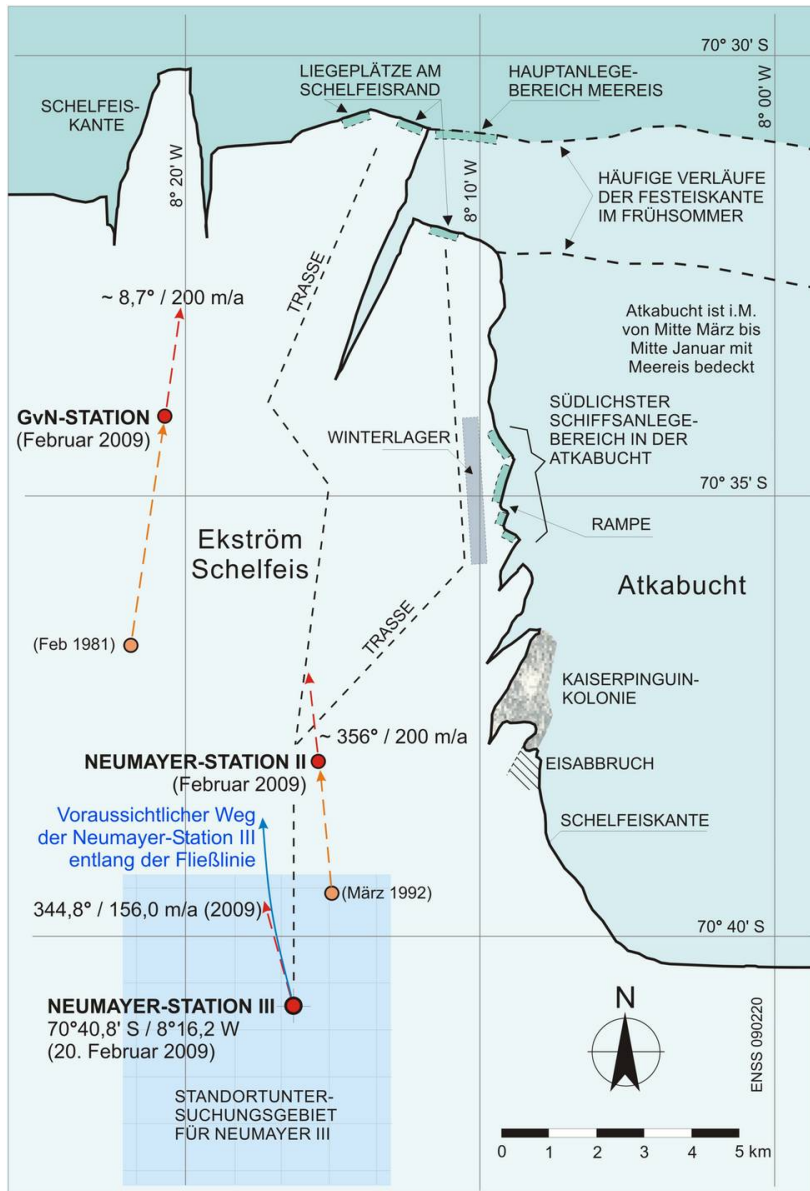


Abbildung 4: Übersichtskarte der Neumayer Station III. (Bau Der Neumayer Station III - AWI, n.d.)