

IMP · Climate Engineering Project

Ein Paper von Julius, Janis, Matúš, Gordon für IMP in Klasse 9A und C bei Herrn Ayaita

Inhaltsverzeichnis

Motivation.....	2
Präzise Beschreibung der Idee.....	2
Diskussion ihrer Umsetzbarkeit.....	2
Quelltext der Klimasimulation.....	3
Erläuterung der Annahmen, die für die Simulation gemacht wurden.....	5
Darstellung und Diskussion der Simulationsergebnisse.....	6
Fazit.....	8

Motivation

Wir untersuchen in diesem Projekt die Möglichkeit an Hand von in den Orbit gebrachten Folien die Sonneneinstrahlung und damit den Klimawandel zu begrenzen. In einer Simulation werden unterschiedliche Szenarien miteinander verglichen und bewertet.

Präzise Beschreibung der Idee

Wir möchten in unserer Klimasimulation die Auswirkung auf das Klima der Erde von Folie im Weltraum als Schattenwerfer untersuchen. Wir erhoffen eine Regulierung der Durchschnittstemperatur der Erde indem wir den sphärischen Albedo erhöhen.

Wir werden das Metall Aluminium in den niedrigen Erdorbit befördern, mithilfe von Space-X Raketen oder mithilfe eines Magnetfeldkatapults senden wir $65312,5 \cdot 10^5$ Kilogramm Aluminiumfolie mit einer Dicke von 25 Nanometer, mehr als die doppelte Dicke der für Raumfahrt verwendete Goldfolie, in die Umlaufbahn. Wir werden damit eine Fläche von $9.5637 \cdot 10^{12}$ Quadratmeter der Querschnittsfläche der Erde verdunkeln.

Auf dieser Fläche wird das Sonnenlicht zu 50% reflektiert und 50% transmittiert, dadurch werden wir 3,75% des gesamten Sonneneinstrahlung auf die Erde reflektieren.

Diskussion ihrer Umsetzbarkeit

Die Idee ist theoretisch umsetzbar, da nur 6,5 Megatonnen Alufolie benötigt werden um den gewünschten Effekt zu erreichen, wir kommen auf diese Menge indem wir die gewünschte Dicke mit der Fläche und der Dichte multiplizieren. Diese Menge müsste nicht extra hergestellt werden da global 70,6 Megatonnen Aluminium pro Jahr produziert werden.

Zudem könnte man das Aluminium mithilfe von Magnetfeldkatapulten oder Space-X Raketen relativ einfach in den Erdorbit befördern. Durch Space-X Starship Raketen würde dies in rund 979,687 Milliarden Euro kosten, da Space-X plant, Raketen auf rund 150€ pro Kilogramm Raketenlast, welche in der Orbit geschossen wird, zu reduzieren. Diese Summe ist sehr gut stemmbar, wenn sich Länder zusammenschließen.

Quelltext der Klimasimulation

```
public class Erde {
public static void main(String[] args) {

// Definition von Konstanten in SI-Einheiten:
double sigma = 5.67e-8;           // Stefan-Boltzmann-Konstante in
                                   // W/(m^2 K^4)
double E_0 = 1361;                // Solarkonstante in W/m^2
double R_E = 6371000;             // Erdradius in m
double C = 1.37e23;               // Waermekapazitaet des
Erdklimasystems in J/K
double alpha_S = 0.306;           // Sphaerischer Albedo der Erde
double P_Erdinneres = 4.7e13;     // Leistung aus Erdinnerem in W
double Jahr = 365.24 * 24 * 3600; // Jahr in s

// Abgeleitete Konstanten:
double Q_E = Math.PI * R_E * R_E; // Querschnittsflaeche der Erde in m^2
double A_E = 4 * Math.PI * R_E * R_E; // Oberflaeche der Erde in m^2
double P_Einstrahlung_vorher = Q_E * E_0; // Leistung aus Sonneneinstrahlung in
W

// Parameter:
double T = 273.15 + 14.0;         // Anfangstemperatur der Erdoberflaeche in K
double t = 2024 * Jahr;           // Anfangsjahr in s
double Delta_t = 1.0 * Jahr;      // Zeitschritt der Simulation in s
double N = 100;                   // Anzahl der Iterationen
double epsilon = 0.78;
int szenario = 3;                 // 1: optimistisch, 2: realistisch, 3:
pessimistisch
double block = 50.0;              // Prozentuale Undurchlässigkeit des
Schattens
double s = 7.5;                   // Ziel-Erdquerschnittsbeschattung
double s_Wachstum = 0.5;          // Jährliche Beschattungszuwachsrste
double s_aktuell = 0.0;           // Initialwert der Beschattung

// Berechnung pro Jahr:
for (int j = 0; j < N; j++) {
double ty = t/Jahr;
double CO2_Konzentration = 0.;

if (s_aktuell < s) {
s_aktuell = s_aktuell + s_Wachstum;}
if (s_aktuell >= s) {
s_aktuell = s;}}
```

```
double P_Einstrahlung = P_Einstrahlung_vorher * (1 - s_aktuell/100.0 *  
block/100.0);  
  
//Schatten weggerechnet  
  
if (szenario == 3) { //SzenarioCO2konzentration  
    CO2_Konzentration = 7.6315789473684 * ty - 15026;}  
else if (szenario == 2) {  
    CO2_Konzentration = 5 * ty - 9699.68421;}  
else if (szenario == 1) {  
    CO2_Konzentration = 2.3684210526316 * ty - 4373; }  
  
ε = 0.0000927 * CO2_Konzentration + 0.742;  
double P_aus = sigma * A_E * T * T * T * T ; //Ausstrahlung Erde  
double P_aus1 = P_aus * ( 1 - ε );  
double P_aus2 = ( P_aus - P_aus1 ) / 2;  
P_aus = P_aus1 + P_aus2;  
double Delta_E = ((P_Einstrahlung)*(1-alpha_S) + P_Erdinneres - P_aus) *  
Delta_t; //Aufzunehmende Energie  
double Delta_T = Delta_E / C; //Einstrahlung/ Waermekapazität  
T = T + Delta_T; //Erdoberflächentemperatur  
t = t + Delta_t; //Jetziges Jahr  
System.out.println("Jahr: " + t/Jahr + " Temperatur: " + (T - 273.15));  
//Ausgabe  
}}}
```

Erläuterung der Annahmen, die für die Simulation gemacht wurden

Der sphärische Albedo ist 30,6% dieser gibt an wie gut die Erde das Licht zurück reflektiert. Diesen möchten wir mit unserer Idee erhöhen, da die einzelnen Teile der Aluminiumfolie nicht immer perfekt zur Sonne ausgerichtet sein können, nehmen wir an, dass die Aluminiumfolie nur zu 50% effektiv ist. Wir haben durch testen verschiedener Szenarien herausgefunden, dass die Fläche von dem Aluminium, welches wir ins Weltall senden müssen, um das erwünschte Ergebnis zu erhalten, 7.5% der Erdquerschnittsfläche betragen müsste, da wir schätzen dass dies gut stemmbar im Vergleich zum Nutzen ist. In unserer Simulation nehmen wir zusätzlich an, dass es zunächst keine Folie in dem Weltall gibt und dass wir jedes Jahr 0.5% der Erdquerschnittsfläche zusätzlich mit Aluminium beschatten.

Zudem rechnen wir damit dass die Aluminiumfolie nicht beschädigt wird und im Orbit bleibt.

Anmerkung: Wir sind uns durchaus bewusst, dass dies ein einfaches und rudimentäres Simulationsmodell ist, dass viele Einflussgrößen komplett ignoriert, beispielsweise:

- Sonnenaktivität
- Bewölkungsgrad
- Methanemissionen
- Erdaktivität/Vulkanismus
- Human factors
- Aliens

Andere Parameter suggerieren eine Pseudogenauigkeit, die höchstwahrscheinlich nicht mit dem realen Temperaturverlauf übereinstimmt.

Darstellung und Diskussion der Simulationsergebnisse

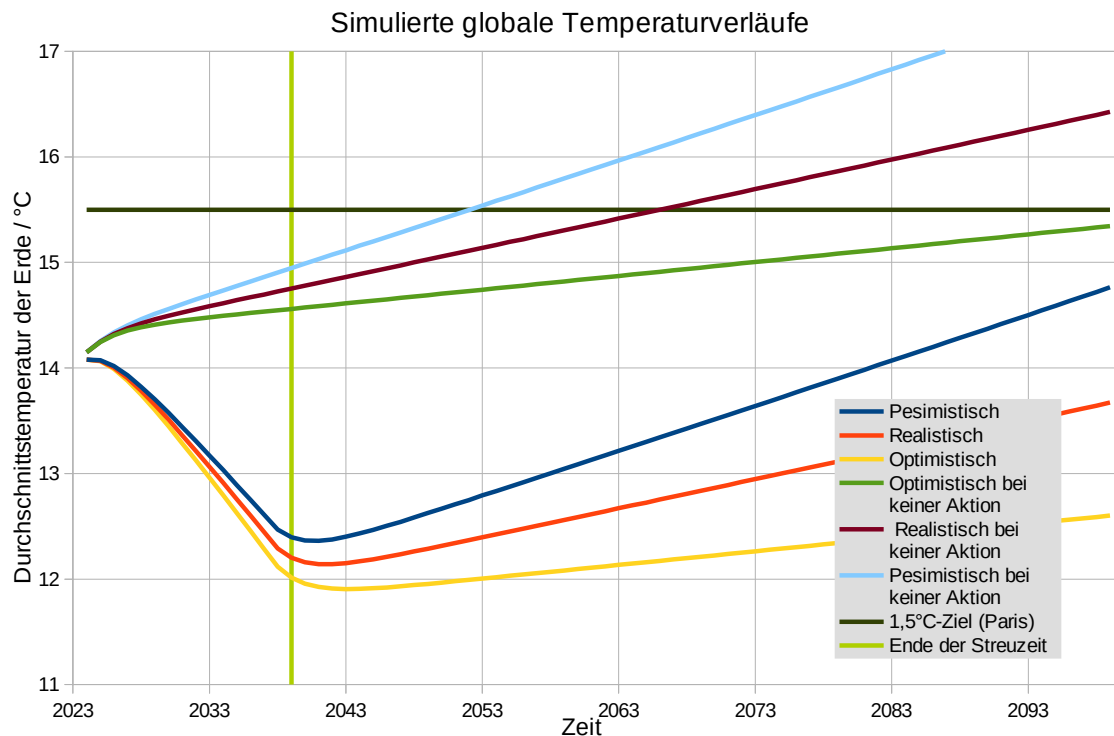


Schaubild : Simulationsergebnisse im Zeitverlauf

Wir haben herausgefunden, dass 7.5% des beschatteten Erdquerschnittes reichen, um die erwünschten Auswirkungen zu haben, denn diese Blockade hat einen Wirkungsgrad von 50%. Wegen unserer Annahme, dass die Menschen weiter CO₂ ausstoßen, steigt die Temperatur am Ende der Simulation weiter konsistent an, also verschieben wir nur die Klimaerwärmung um knappe 100 Jahre.

Dies würde heißen, dass wir die Fläche der Folie beständig erhöhen müssten um konsistent unter dem 1.5°C Ziel zu bleiben. Durch die anfangs schon geringe Fläche würden wir auch am Anfang unserer Simulation die Durchschnittstemperatur auf 13°C senken lassen.

Wie man sehen kann müssten wir eine große Fläche des Erdquerschnittes bedecken, um die gewollten Temperaturänderungen zu erhalten.

Deshalb ist es sinnvoll, dieses Projekt möglichst früh zu starten, da wir lediglich 7,5 Prozent der Erdquerschnittsfläche mit Alufolie verschatten müssen, dies sind allerdings immer noch $9.5637 \cdot 10^{12}$ Quadratmeter.

Gesamtbewertung der Idee unter Berücksichtigung von Folgen und Risiken

Wir glauben, dass die Gesamtidee eine gute Basis ist, um den Klimawandel zu verlangsamen, aber in der Umsetzung mangelhaft ist. Unter idealen Bedingungen würden wir das erwünschte Ergebnis erzielen, jedoch hat es viele Folgen und auch Risiken die man beachten muss:

- Wenn wir die Folie in die vorgesehene Bahn befördern, könnte dort Weltraumschrott die Folie beschädigen und aus ihrer Bahn lenken, man könnte die Verluste jedoch mit neuen Folien ersetzen.
- Das Licht welches nun nicht mehr auf der Erde landet kann nicht mehr benutzt werden, um Strom zu gewinnen.
- Zusätzlich könnte dies die zukünftigen Weltraumprojekte behindern, beziehungsweise im Weg stehen.
- Es gibt keinerlei Absicherungen welche uns garantieren, dass die Folie im stabilen Orbit bleiben würde.
- Durch die große Menge Aluminium die wir für dieses Projekt brauchen, welches wir auch für andere nützliche Dinge verwenden könnten, wären die Kosten für die Raketen sehr hoch. Dies ist eine Summe, die ein Länderverbund erst einmal in die Hand nehmen müsste. Dass die Temperatur sinkt, ist nicht die einzige Folge, so würden Solarparks auch weniger Energie durch elektromagnetische Strahlung der Sonne erhalten, was Folgen auf die Stromwirtschaft hätte.
- Außerdem wäre das Problem mit dem vielen CO₂ in der Atmosphäre nicht gelöst. Eine zusätzliche Folge des Projektes wäre, dass die Pflanzen und Bäume in der Dunkelheit länger CO₂ ausstoßen und in einer kürzeren Zeit aufnehmen. Sie würden aufgrund der Dunkelheit auch schlechter wachsen womit sie schlechter den CO₂ aufnehmen können.

Es gibt aber nicht nur negative Folgen, sondern auch neutrale.

- So benutzen wir keine Edelmetalle oder seltene Erze wie Gold, Silber, Kupfer, Terbium oder Europium für bunte Bildschirme für dieses Projekt, da es Aluminium auf der Erde genügend gibt und ein praktischer Nebenaspekt ist, dass Aluminium billig ist.

Aber auch positive Folgen

- Natürlich werden die Temperaturen auf der Erde gesenkt und somit wird der Klimawandel für kurze Zeit rückgängig und danach verlangsamt.
- Die Technik die wir dafür benötigen haben wir Menschen bereits hergestellt. Folglich müssen wir keine Technologien extra für dieses Projekt erfinden, diese wird dafür vielleicht sogar verbessert.

Die meisten oben genannten negativen Punkte sind voraussichtlich irrelevant, deshalb finden wir, dass die Idee zwar noch etwas verbesserungsfähig ist, aber im Grundgedanken eine annehmbare und realistische Lösung ist.

Fazit

In diesem Programmierprojekt wurde eine Art des menschengemachten "Klimaforming" simuliert. Unter den genannten Einschränkungen sehen wir die Möglichkeit zur Begrenzung der Klimaerwärmung als realistisch jedoch nicht als problem- oder gefahrlos an.

Wir bitten die Weltregierung die Entscheidungen für oder gegen eine vergleichbare Maßnahme nicht aufgrund dieses Papers zu treffen.

Arbeitsaufteilung

	Julius	Janis	Matúš	Gordon
Ideen	×	×	×	×
Code geschrieben	×			
A		×	×	×
B			×	
C	×			
D	×	×	×	×
E	×	×		×
F	×	×		×
Fazit	×			
Dokumente zusammen geschrieben	×			
Rechtschreibkorrektur	×		×	