

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1. Einleitung	1
1.1 Relevanz des Themas	1
1.2 Zielsetzung	3
2 Grundlagen des Klimas	5
2.1 Klimasystem	5
2.1.1 Atmosphäre	6
2.1.2 Kryosphäre	10
2.1.3 Hydrosphäre	11
2.1.4 Lithosphäre	13
2.1.5 Biosphäre	15
2.2 Ozonschicht	15
2.2.1 Ozon	15
2.2.2 Ozonabbau	17
2.2.3 Auswirkung	18
2.3 Treibhauseffekt	19
2.3.1 Strahlungshaushalt der Erdatmosphäre	19
2.3.2 Treibhausatmosphäre der Erde	20
2.4 Kippelemente im Klimasystem	22
2.4.1 Eiskörper	23
2.4.2 Strömungssysteme	24
2.4.3 Ökosystem	26
2.5 Anthropogener Klimawandel	27
2.6 Veränderung des Klimas	30
2.7 Gesetze, Abkommen, Verträge zum Klima	33
2.8 Wahrnehmung des anthropogenen Klimawandels	35
3 Climate Engineering	38
3.1 Grundlagen des Climate Engineerings	38
3.2 Carbon dioxide removal	40
3.3 Radiation Management	43
4 Grundsätzliche Auswirkungen des Radiation Managements	44

5	Analyse der Radiation Managements Technologie	46
5.1	Modifikation der Zirruswolken	46
5.1.1	Umsetzung und Kostenaufwand	46
5.1.2	Auswirkungen	47
5.2	Albedo Management der Erdoberflächen	48
5.2.1	Albedo Management der Vegetation	49
5.2.2	Albedo Management von Siedlungen	51
5.2.3	Albedo Management der Wüstenregion	52
5.3	Modifikation mariner Schichtwolken	53
5.3.1	Umsetzung und Kostenaufwand	54
5.3.2	Auswirkungen	56
5.4	Reflektoren im Weltraum	57
5.4.1	Umsetzung und Kostenaufwand	57
5.4.2	Auswirkungen	58
5.5	Aerosoleinjektionen in die Stratosphäre	59
5.5.1	Umsetzung und Kostenaufwand	60
5.5.2	Auswirkungen	64
6	Konzeptunabhängige Herausforderungen	69
6.1	Gesellschaftliche Herausforderung	69
6.1.1	Gesellschaftlicher Diskurs	69
6.1.2	Gesellschaftspolitisches Konfliktpotenzial	71
6.1.3	Geopolitisches Konfliktpotenzial	72
6.2	Klimaethik	73
6.3	Juristische Herausforderung	75
6.3.1	Biodiversitätskonvention	75
6.3.2	Übereinkommen zur Luftverschmutzung	76
6.3.3	Weltraumrecht	77
6.3.4	Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht	78
7	Diskussion	79
7.1	Die Frage nach der technischen Möglichkeit	79
7.2	Die Frage nach einem legitimen Zeitpunkt	80
8	Limitation	85
9	Fazit und Ausblick	86
10	Literaturverzeichnis	91

1. Einleitung

Der Klimawandel ist eine der größten globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Um definierte Ziele einhalten und irreversible Auswirkungen vermeiden zu können, benötigt es konsequente emissionsreduzierende Maßnahmen, die zeitnah umgesetzt werden müssen. Doch welche Folgen resultieren, wenn die Umsetzung dieser Maßnahmen zu langsam erfolgt und der Temperaturanstieg um 2 Grad Celsius (°C) oder mehr nicht verhindert werden kann? In diesem Zusammenhang thematisiert die vorliegende Arbeit das sogenannte Climate Engineering (CE) Konzepte. Darüber hinaus erfolgt eine Analyse über das solare Strahlungsmanagement in Bezug auf den Klimawandel der Erde.¹

1.1 Relevanz des Themas

Mit Beginn der industriellen Revolution zu Anfang des 19. Jahrhunderts, stieg der Bedarf an fossilen Rohstoffen immer weiter an. Gleichzeitig vervielfachte sich damit auch die Zahl der emittierten Treibhausgase, wodurch der globale Klimawandel begann und nun allgegenwärtiger ist, als je zuvor. Durch die erhöhte Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre wird der stetige Temperaturanstieg der Erde begründet. Es wurde festgestellt, dass seit 1980 jede Dekade wärmer, als die vorherige war. Das Jahr 2019 war bereits das 43. Jahr in Folge, indem die Mitteltemperatur der Erde über dem Durchschnitt des 20. Jahrhunderts lag.² Infolge des Temperaturanstiegs dominieren vor allem negative Auswirkungen der Klimaveränderungen, die das globale Klimagleichgewicht irreversibel schädigen können. Einige Elemente des Klimasystems, wie z.B. die Kippelemente, verändern sich bei steigender Temperatur nicht allmählich sondern sprunghaft. Sollte der sogenannte Kipppunkt in Folge der Erderwärmung erreicht sein, ist eine Rückkehr zum vorherigen Zustand nahezu ausgeschlossen. Daher löst die Aktivierung des Kippelements eine Kettenreaktion aus, die den Klimawandel beschleunigt und das Klimasystem der Erde zerstört.³ Globale Änderungen des Klimas, die unumstritten ihren Auslöser im anthropogenen Klimawandel finden, wurden bereits in den letzten Jahrzehnten festgestellt. Ein Beispiel stellt das ununterbrochene Schmelzen des Meereises dar, wodurch der Meeresspiegel bereits seit 1990 um insgesamt 16 cm angestiegen ist. Darüber hinaus führt die Zunahme der Treibhausgase zu einer Versauerung der Ozeane, weshalb zahlrei-

¹ Vgl. Auswärtiges Amt (2019).

² Vgl. Deutsches Klima-Konsortium (2020), S. 9.

³ Vgl. Deutsches Klima-Konsortium (2020), S. 22.

che kalkbildende Meereslebewesen, wie Korallen, Muscheln oder Krebse zunehmend bedroht sind.⁴ Doch nicht nur Tiere, sondern auch die Menschen direkt sind bereits von den globalen Klimaveränderungen betroffen. So ist z.B. eine deutliche Zunahme der weltweiten Extremwetter-Ereignisse im Zusammenhang mit der Klimaveränderungen festzustellen. So konnten z.B. in fast allen Regionen der Erde erhöhte Häufigkeiten, Intensitäten und Dauer von Hitzewellen beobachtet werden, die wiederum zu Dürren und zahlreichen Missernten führen. In den äquatornahen Regionen der Erde sind bereits die Erträge von Mais und Weizen gesunken. Ebenfalls zu beobachten ist die steigende Intensität der tropischen Stürme sowie die Zunahme von lokalen Starkniederschlägen und des Flusshochwassers, wodurch ganze Lebensräume zerstört werden. Vor dem Hintergrund der gleichen Anzahl an jährlichen Hurricans stieg die Anzahl von Hurricans mit der Stärke von Kategorie 3, 4 und 5 um insgesamt 25 %. Mit Blick auf die Zukunft müssen die Menschen also vermehrt aus den Regionen flüchten, die durch die Klimaveränderungen unbewohnbar werden.⁵

Ohne entsprechende Gegenmaßnahmen steigt die Temperatur stetig weiter an und die Auswirkungen nehmen drastisch zu. Um dies zu verhindern, wurde 2015 in Paris auf dem UN-Klimagipfel ein Abkommen, mit dem Ziel den globalen Temperaturanstieg auf „deutlich unter zwei Grad Celsius“ gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen, verabschiedet. Ein Erreichen des Ziels ist jedoch nur mit drastischem und schnellem Umsetzen von emissionsreduzierenden Maßnahmen möglich. Aktuelle Maßnahmen verfehlen jedoch bislang das ausgeschriebene Ziel, weshalb die weltweite Temperatur bis Ende des Jahrhunderts um weitere 3 °C steigen könnte. Selbst wenn alle, bisher von der Regierung gemachten, Zusagen für die Emissionsminderung umgesetzt werden würden, genügen diese lediglich für eine Begrenzung der Erderwärmung auf rund 2,8 °C.⁶ Demzufolge bekommt die Notwendigkeit des zeitnahen Handelns seine Relevanz und steht außer Frage. Sollten in den nächsten Jahren keine entscheidenden Maßnahmen getroffen werden, können die Ziele nur mit alternativen Maßnahmen erreicht werden. Eine Möglichkeit dazu stellt die Beeinflussung der globalen Strahlungsbilanz durch technische Maßnahmen dar, die eine Senkung der globalen mittleren Temperatur anstreben bzw. eine weitere Steigerung verhindern können. Verschiedene Konzepte zur Beeinflussung einfallender Sonnenstrahlung beinhaltet z.B. das sogenannte solare Strahlungsmanagement (SRM).

⁴ Vgl. Deutsches Klima-Konsortium (2020), S. 10f.

⁵ Vgl. Deutsches Klima-Konsortium (2020), S. 12.

⁶ Vgl. Deutsches Klima-Konsortium (2020), S. 20.

1.2 Zielsetzung

In der Wissenschaft herrscht Einigkeit darüber, dass ein drastisches und schnelles Handeln für die Einhaltung der o.g. aufgestellten Ziele erforderlich ist. Zusätzlich steigt die Skepsis, ob die Ziele aus dem Pariser Abkommen durch emissionsreduzierende Maßnahmen noch erreicht werden können. Dennoch finden derzeitige Diskussionen um die technische Klimaveränderung überwiegend im Kreise der Wissenschaft statt und haben die Politik oder die Öffentlichkeit trotz der zeitlichen Notwendigkeit kaum erreicht. Erhebungsdaten bzw. Studien wurden bisher mithilfe von Computersimulationen gesammelt und durchgeführt. Der Detaillierungsgrad der Studien ist von einzelnen Konzepten abhängig, an denen im Rahmen dieser Arbeit angesetzt wird. Mithilfe von verschiedenen Studien zu den Konzepten des solaren Strahlungsmanagements sowie einer Gegenüberstellung unterschiedlicher Aspekte, erfolgt eine Einschätzung folgender Fragen:

- Kann die Erderwärmung durch technische Maßnahmen eingedämmt werden?
- Soll bzw. muss die Erderwärmung durch technische Maßnahmen eingedämmt werden?

Um einer konkreten Beantwortung dieser Fragen nachzugehen, werden zunächst einige Grundlagen des Klimas in Kapitel 2 erläutert. Die Grundlagen dienen als Basis für das Verständnis der Umsetzung und um die möglichen Auswirkungen der herangezogenen Konzepte besser einordnen zu können. Zu Beginn werden die einzelnen Komponenten des Klimasystems und dessen komplexe Wechselwirkungen erläutert. Vor dem Hintergrund, dass die Ozonschicht einen besonderen Einfluss auf die Strahlungsbilanz der Erde hat, erfolgt ihre Ausführung in einem separaten Abschnitt (siehe Kapitel 2.2). Um anschließend den Fokus auf die Grundlage des solaren Strahlungsmanagements zu legen, erfolgt eine Darstellung der globalen Veränderungen des Treibhauseffektes in Kapitel 2.3. Die Kapitel 2.4, 2.5, 2.6 thematisieren die Folgen des Klimawandels, indem zuerst die Kippelemente, gefolgt vom anthropogenen Klimawandel und zuletzt die Veränderungen des Klimas verdeutlicht werden. Seinen Abschluss findet das Kapitel 2 mit der Schilderung über verschiedene Gesetze, Verträge und Abkommen in Bezug auf den Klimawandel sowie über die Wahrnehmung des anthropogenen Klimawandels. Das nachstehende Kapitel 3 verschafft einen groben Überblick über die verschiedenen CE-Maßnahmen. Aus Gründen der Vollständigkeit erfolgt neben den Maßnahmen des Radiation Managements (RM) eine Vorstellung der Carbon Dioxide Removal-Maßnahmen (CDR). Daran anschließend beginnt die Analyse der Konzepte unter Kapitel 4. Hierbei werden auch konzeptunabhängige Auswirkungen aufgeführt, die u.a. bei der späteren Gegenüberstellung in-

nerhalb einer Diskussion eine entscheidende Rolle einnehmen. Die letztendliche Analyse der RM-Maßnahmen wird in Kapitel 5 vorgenommen. Es werden insgesamt fünf Konzepte auf die jeweiligen Umsetzungsmöglichkeiten, den Kostenaufwand und auch die konzeptspezifischen Auswirkungen untersucht. Darunter zählen die Modifikation der Zirruswolken (Kapitel 5.1), das Albedo Management der Erdoberflächen (Kapitel 5.2), die Modifikation mariner Schichtwolken (Kapitel 5.3) sowie die Reflektoren im Weltraum (Kapitel 5.4) und die Aerosolinjektionen in die Stratosphäre (Kapitel 5.5). Allen Konzepten ist jedoch gemeinsam, dass sie vor gesellschaftlichen, klimaethischen und juristischen Herausforderungen stehen, welche in Kapitel 6 genauer beleuchtet werden. Nach der Vermittlung der Grundlagen und der Vorstellung der Konzepte mit ihren Herausforderungen, erfolgt eine ausführliche Diskussion in Kapitel 7. Einzelne ermittelte Aspekte werden hierbei, im Hinblick auf die Beantwortung der vorangestellten Forschungsfragen dieser Arbeit, gegenüber gestellt. Ein Fazit und Ausblick runden die Arbeit schließlich ab, bevor die Limitation und die Auflistung der verwendeten Literatur erfolgt.

9 Fazit und Ausblick

Der Klimawandel ist mit all seinen negativen Auswirkungen bereits für die Natur und Menschen wahrzunehmen. Die Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels sind in den äußeren Breiten durch Schneeschmelzen und in den gemäßigten Breiten durch Dürren und Missernten spürbar. Des Weiteren steigt die Häufigkeit, Intensität und Dauer von Hitzewellen, Wetterextrema und Naturkatastrophen. In der Wissenschaft herrscht Einigkeit, dass die emittierten Treibhausgase als Ursache für die negativen Auswirkungen gelten. Die Treibhausgase führen zu einem Strahlungsantrieb, dieser wiederum zu einem Temperaturanstieg. Im Vergleich zum vorindustriellen Niveau ist ein Strahlungsantrieb von etwa $3,1 \text{ W/m}^2$ zu verzeichnen. Um die künftige Entwicklung und insbesondere die negativen Auswirkungen zu minimieren, wurde im Pariser Abkommen von 2015 ein maximaler Temperaturanstieg von $2 \text{ }^\circ\text{C}$ bis zum Jahr 2100 als Ziel festgelegt. Dies bedeutet einen Strahlungsantrieb von $2,6 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100.

Das derzeitige politische Handeln führt zu einem Temperaturanstieg von bis zu $3 \text{ }^\circ\text{C}$ bis Ende des Jahrhunderts. Selbst wenn alle Zusagen für emissionsreduzierende Maßnahmen der Regierungen umgesetzt werden, führt dies lediglich zu einer Begrenzung der Erwärmung auf rund $2,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Sollten keine weiteren emissionsreduzierenden Maßnahmen drastisch und schnell umgesetzt werden, werden die angestrebten $2 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht ohne alternative Maßnahmen zu erreichen sein. Um den Strahlungsantrieb auf $2,6 \text{ W/m}^2$ zu reduzieren, werden vor allem in der Wissenschaft verschiedene RM-Maßnahmen diskutiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurden fünf Konzepte auf die Umsetzbarkeit, den Kostenaufwand und mögliche spezifische Auswirkungen analysiert. Die RM-Maßnahme sieht eine Veränderung der Erdoberflächenalbedo vor. Dabei stehen drei unterschiedliche Ansätze zur Debatte. Ersterer beeinflusst die Albedo von Siedlungen, indem mithilfe von weißer Farbe mehr Sonnenstrahlen reflektiert, als von den Dächern in Wärmestrahlung umgewandelt werden. Das Potenzial dieser Maßnahme liegt allerdings aufgrund des geringen Einflusses auf die Strahlungsbilanz nicht bei der Kompensation des Strahlungsantriebs, sondern zur Bekämpfung von lokalen Hitzewellen. Zudem benötigt eine Umsetzung der Maßnahme mehrere Jahrzehnte und ist verhältnismäßig teuer. Ebenfalls geringes Potenzial in Bezug auf die Strahlungskompensation besitzt der zweite Ansatz, das Albedo Management der Vegetation. Hierbei könnten die verschiedenen Albedoeigenschaften der Pflanzen begünstigend eingesetzt werden. Dem Konzept gegenüber steht der Zielkonflikt des Nutzpflanzenanbaus und den negativen Auswirkungen auf die Biodiversität in den Anbauregionen. Das dritte Albedo Management Konzept zielt auf eine großflächige

Veränderung der Wüstenregion ab. Die Idee hinter dem Konzept ist die Wüstenregionen mit einer besonders intensiven Sonnenstrahlung mit stark reflektierendem Material zu überdecken. Neben etlichen Naturschutzaspekten, sprechen vor allem die sehr hohen Material-, Einsatz- und Wartungskosten gegen eine solche Maßnahme.

Eine weitere RM-Maßnahme reflektiert die Sonnenstrahlung bereits außerhalb der Erdatmosphäre. Der Ansatz, Reflektoren im Weltall auszubringen, basiert derzeit weitgehend auf abstrakten Überlegungen. Dabei existieren zwei mögliche Varianten für die Umsetzung. Zum einen sollen die Reflektoren am sogenannten Lagrangepunkt (1,5 Mio. km von der Erde entfernt) installiert werden und zum anderen wird die Idee untersucht, das reflektierende Material in der erdnahen Umlaufbahn auszubringen. Die beiden Konzepte besitzen ein theoretisch unbegrenztes Potenzial zur Strahlungskompensation je größer der installierte Schirm, desto mehr einfallende Sonnenstrahlung wird reflektiert. Primär verhindert die fehlende Rechentechnik zur Ausbringung des benötigten Materials eine Umsetzung der Maßnahme in den nächsten Dekaden. Mehrere tausend Raketenstarts sind jährlich notwendig (Vergleich: 102 Raketenstarts im Jahr 2019), um den Schirm im Weltraum zu installieren und um anfallende Wartungsarbeiten durchzuführen. Des Weiteren liegen die Kosten für Forschung und Entwicklung bereits im Bereich von weit mehr als 1.500 Mrd. US-Dollar. Hinzu kommen hohe Betriebskosten, weswegen die Maßnahme nach dem aktuellen Forschungs- und Technologiestand nicht umzusetzen ist.

Dies sieht bei den anderen drei RM-Maßnahmen, die mithilfe von ausgebrachten Partikeln in der Atmosphäre die Strahlungsbilanz beeinflussen, gegenteilig aus. Das erste dieser drei RM-Maßnahmen beinhaltet die Modifikation der Zirruswolken. Das Verfahren ist dem Bereich der TRM-Konzepte und nicht zu den SRM-Konzepten einzuordnen. Dennoch wurde das Konzept im Rahmen dieser Arbeit analysiert, da es zwar primär auf die Beeinflussung der langwelligen Wärmestrahlung abzielt, allerdings dabei indirekt auch die kurzwellige Sonnenstrahlung verändert. Die ausgebrachten Partikel lösen die Zirruswolken auf, bei denen der wärmende Effekt (mehr Wärmestrahlung wird absorbiert, als einfallende Sonnenstrahlung reflektiert wird) dominiert. Das Potenzial zu Strahlungskompensation wird in den analysierten Studien unterschiedlich eingeschätzt. Optimistischen Schätzungen zur Folge kann mit dem Verfahren eine Verdopplung der CO₂-Konzentration (3,7 W/m²) zum vorindustriellen Niveau kompensiert werden. Weitere Studien zweifeln diesen Wert an und schreiben dem Verfahren einen negativen Strahlungsantrieb von -1 bis -2 W/m² zu. Die Zirruswolken sollen mit Eiskeimen (Bismuttriiodid) aufgelöst und die nicht toxischen Partikel mit leicht modifizierten Flugzeugen ausgebracht werden. Grundsätzlich werden sowohl die Kosten, als auch die Auswirkungen gering eingeschätzt. Al-

lerdings existieren zu diesem Verfahren nur sehr wenige Studien, weshalb sich noch keine klaren Aussagen zu den Auswirkungen dieser Maßnahme prognostizieren lassen. Eine weitere RM-Maßnahme modifiziert ebenfalls einen bestimmten Wolkentyp. Dabei handelt es sich um die Modifikation mariner Schichtwolken. Bei den Schichtwolken dominiert der kühlende Effekt (mehr einfallende Sonnenstrahlung wird reflektiert, als Wärmestrahlung absorbiert). Um diesen Effekt für einen negativen Strahlungsantrieb zu nutzen, sollen marine Schichtwolken, in Regionen mit einer natürlich geringeren Konzentration der sogenannten Kondensationsteilchen, künstlich mit der Ausbringung von Seesalzpartikeln erzeugt werden. Das Potenzial für einen negativen Strahlungsantrieb dieser Maßnahme ist ebenfalls umstritten und schwankt zwischen -1 W/m^2 und -4 W/m^2 . Die unterschiedlichen Ergebnisse sind vor allem auf die vermeintlich zu Verfügung stehenden Größen der Ausbringungsflächen zurück zu führen. Für die Umsetzung wird u.a. der Einsatz von Flettner-Schiffen oder tieffliegenden Flugzeugen diskutiert. Bei beiden Optionen bedarf es noch Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Allerdings könnte die Maßnahme innerhalb weniger Jahre umgesetzt und der Kostenaufwand verhältnismäßig niedrig gehalten werden. Beide Maßnahmen zur Modifikation der Wolken bedeuten einen Eingriff in den natürlichen Wasserkreislauf der Erde. Mögliche globale oder lokale Auswirkungen sind mit aktuell zur Verfügung stehenden Computersimulationen nicht eindeutig zu bestimmen.

Das letzte analysierte RM-Konzept ist eines der meist diskutierten SRM-Maßnahmen und entwickelte sich aus den Beobachtungen verschiedener Vulkanausbrüche. Nach großen Vulkanausbrüchen konnte in der Vergangenheit mehrfach beobachtet werden, dass sich die globale mittlere Temperatur in den darauffolgenden Jahren gesenkt hat. Insbesondere trifft dies auf emittierte Schwefeldioxide zu, die sich in der Stratosphäre durch Oxidation und Kondensation zu Schwefelaerosolen (Sulfate) umwandeln. Die SRM-Maßnahme knüpft an diesen Effekt an und sieht eine künstliche Aerosolinjektion von beispielweise Schwefeldioxid in der Stratosphäre vor. Das Potenzial dieser Maßnahme ist von der ausgebrachten Menge an Partikeln abhängig und ist zumindest theoretisch nahezu unbegrenzt. Eine Kompensation des anthropogen bedingten Strahlungsantriebs ist mit dieser Maßnahme realisierbar. Ebenso wird der Kostenaufwand, wie bereits bei den beiden anderen Maßnahmen, die auf Basis von ausgebrachten Partikeln wirken, als verhältnismäßig niedrig eingeschätzt. In den Studien werden verschiedene Ansätze zur Umsetzung diskutiert. Möglich ist beispielweise die Ausbringung, indem die Aerosole bei existierenden oder neuentwickelten Flugzeugen dem Abgasstrom hinzugefügt oder dem Treibstoff beigemischt werden. Diskutiert wird zusätzlich noch die Entwicklung neuer Luftschiffe oder Schlauchsysteme, die mit Ballons in die Stratosphäre befördert werden. Bei der Aerosolinjektion in die Stratosphäre ist insbesondere die Auswirkung auf die natürliche

Schutzschicht der Erde zu betonen. Das Gleichgewicht dieser Ozonschicht ist mit der Wechselwirkung verschiedener Komponenten verbunden, die durch das Aerosol stark beeinflusst werden. Infolgedessen können starke lokale und globale Auswirkungen folgen.

Die Analyse der einzelnen RM-Maßnahmen ergab, dass die Eindämmung der Erderwärmung durch technische Maßnahmen durchaus möglich ist. Insbesondere Verfahren, die auf eine Partikelausbringung in der Atmosphäre basieren, sind nach dem derzeitigen Stand der Technologie innerhalb der nächsten Jahre in der entsprechenden Größenordnung so umzusetzen, dass eine Kompensation des anthropogenen Strahlungsantriebs möglich ist. Ebenfalls wird der Kostenaufwand für die Maßnahmen als verhältnismäßig gering bewertet. Welches Verfahren dabei zu präferieren ist, ist nach dem aktuellen Forschungsstand nicht eindeutig zu bestimmen. Die einzelnen Maßnahmen lassen sich aufgrund des unterschiedlichen Detaillierungsgrades der einzelnen Studien nur schwierig miteinander vergleichen. Es fehlen vor allem Studien im Bereich der möglichen Auswirkungen auf das Klimasystem. Die Computersimulationen, insbesondere für die Aerosolinjektion in die Stratosphäre, prognostizieren zwar schon globale Auswirkungen mit einem relativ hohen Detaillierungsgrad, aber werden lokale Auswirkungen und indirekte Auswirkungen in den Simulationen nicht berücksichtigt. Des Weiteren ist das Klimasystem ein komplexes System, indem die einzelnen Komponenten in Wechselwirkung zueinander stehen. Nicht alle Wechselwirkungen sind bekannt und können entsprechend nicht vollständig in Computersimulationen übertragen werden.

Bevor RM-Maßnahmen umgesetzt werden können, müssen konzeptunabhängige Herausforderungen geklärt werden. Eine dieser Herausforderungen ist das gesellschaftspolitische Konfliktpotenzial. Einer Experteneinschätzung zur Folge sinkt die Ablehnung mit der räumlichen Distanz. Umso näher der Ort der Umsetzung, umso größer die erwartende Ablehnung. Des Weiteren bedeutet eine solche Maßnahme einen starken Eingriff in das Klimasystem, weswegen vor allem mit Widerstand von Umweltverbänden gerechnet werden muss. Zusätzlich bedeutet eine globale Umsetzung steigendes geopolitisches Konfliktpotenzial. Dadurch, dass die Auswirkungen des Klimawandels regional stark unterschiedlich ausfallen, dürfte das Interesse an RM-Maßnahmen entsprechend unterschiedlich groß sein. Um das Konfliktpotenzial gering zu halten, könnte eine global koordinierte Umsetzung eine Lösung darstellen. Vergangene Verhandlungen über z.B. emissionsreduzierende Maßnahmen haben allerdings gezeigt, dass ein solches Vorgehen selten schnell zielführend ist. Bei einer uni- bzw. minilateralen Umsetzung könnten sich einige Staaten benachteiligt fühlen und Konflikte entstehen.

Anders als die Frage nach der technischen Möglichkeit, lässt sich die Frage, ob die Erderwärmung durch technische Maßnahmen eingedämmt werden soll oder sogar muss, nicht so konkret beantworten. Ein Argument, das aktuell gegen eine Umsetzung spricht, ist der Moral-Hazard-Effekt. Demzufolge könnten durch die Rückversicherung, mithilfe einer RM-Maßnahme die Symptome des Klimawandels zu verringern, die Bemühungen der Emissionsreduktion geschwächt werden. Daher würden nur die Symptome des Klimawandels bekämpft werden und weitere Auswirkungen (z.B. Übersäuerung der Ozeane) ignoriert werden.

Anhand der diskutierten fehlenden Erkenntnisse im Bereich der Auswirkungen bei einem möglichen Einsatz der RM-Maßnahmen, lässt sich die Frage, ob die Erderwärmung durch technische Maßnahmen eingedämmt werden soll bzw. muss nach derzeitigem Stand nicht konkret beantworten. Die Beantwortung der Frage könnte in Abhängigkeit verschiedener Szenarien liegen. Im 5. IPCC-Sachstandsbericht sind unterschiedliche Szenarien analysiert worden, die das zukünftige Klima prognostizieren. Hinzugezogen wird das ausgegebene Ziel des Pariser Abkommens von 2015, einen maximalen Temperaturanstieg von 2 °C zum vorindustriellen Niveau zu erreichen. Um der Zielerreichung nachzukommen, darf der Strahlungsantrieb bis zum Jahr 2100 lediglich 2,6 W/m² betragen. Mit den aktuellen politischen emissionsreduzierenden Maßnahmen, und selbst mit den von den Regierungen gemachten Zusagen, wird das Ziel weit verfehlt. Sollten in den kommenden Jahren keine drastischen emissionsreduzierenden Maßnahmen umgesetzt werden, könnte mit dem „kleinsten Übel“ Argument eine Umsetzung der RM-Maßnahmen, trotz fehlender Kenntnisse über mögliche Auswirkungen, legitimiert werden.

Das Potenzial der RM-Maßnahmen, insbesondere Maßnahmen auf Basis der Partikelinjektion in die Atmosphäre, liegt vor allem bei einer verhältnismäßig kostengünstigen und schnellen Umsetzung. Sollte die Politik bei der Umsetzung von emissionsreduzierenden Maßnahmen versagen, können die RM-Maßnahmen eine Option sein, um irreversible Auswirkungen, infolge eines globalen Temperaturanstieges von mehr als 2 °C, zu verhindern. Für einen möglichen Einsatz ist die weitere Erforschung der Auswirkungen mithilfe von detaillierteren Computersimulationen notwendig. Infolgedessen ist vor allem der gesellschaftliche Diskurs zu erweitern, um Transparenz zu schaffen.