



RUPRECHT-KARLS-
UNIVERSITÄT
HEIDELBERG

mk MARSILIUS
KOLLEG



Regimebildung unter Unsicherheit: Governance-Strukturen für Climate Engineering Technologien

I. Fellow-Report, Marsilius Kolleg

Die interdisziplinäre Forschungsgruppe

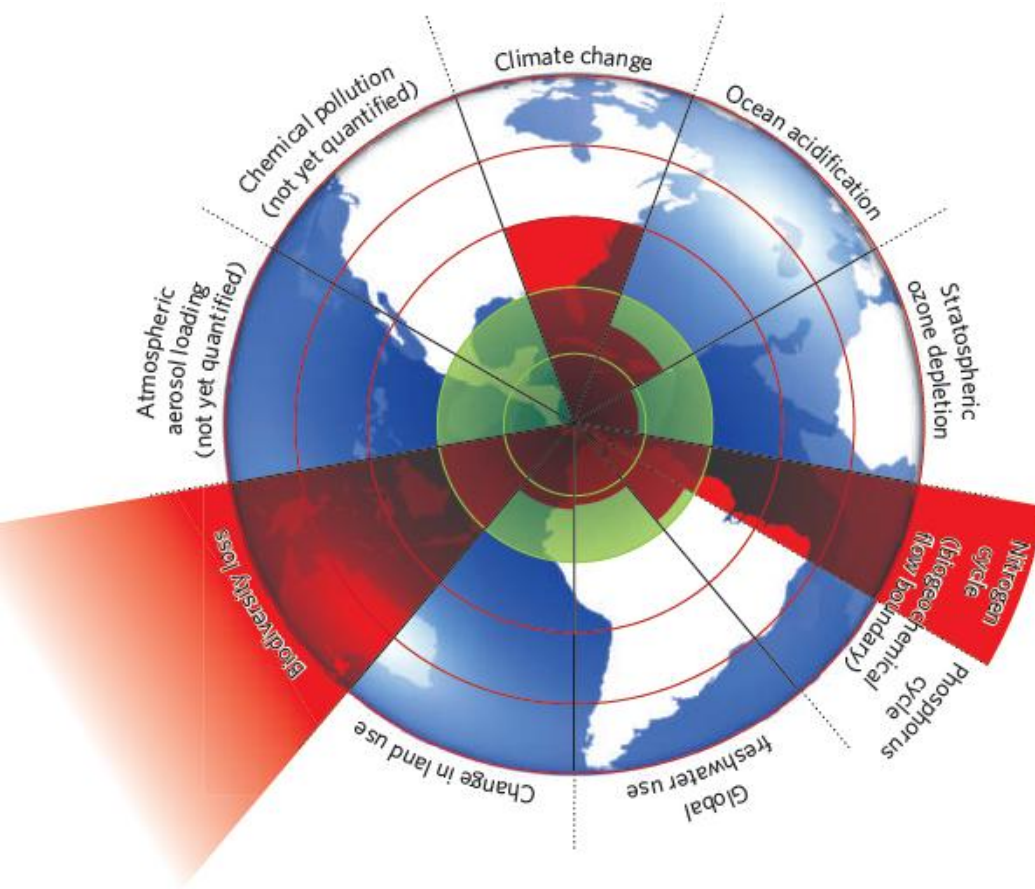
Work Packages	Investigators
A: Environmental Physics	Profs. Leisner, Platt, Aeschbach / S. Müller-Klieser
B: Philosophy	Prof. M. Gessmann / H. Fernow
C: Human Geography	Prof. H. Gebhardt / T. Wiertz
D: Environmental Economics	Prof. T. Goeschl / D. Heyen
E: Psychology	Prof. J. Funke / D. Amelung
F: International Law	Prof. R. Wolfrum / D. Reichwein
G: Political Science	Prof. S. Harnisch / St. Uther
H: Political Economy	Prof. St. Walter /W. Dietz

Vorgehen

1. Problem- und Fragestellung
2. Naturwissenschaftliche und technische Grundlagen
3. Risikobegriff und Regimebildung
4. Forschungsagenda
 1. Interdisziplinäre Risikoforschung: Rechts- und Politikwissenschaft im Dialog
 2. Vergleichende Risikokulturforschung: Diskurse bestimmen Handlungsräume
5. Ausblick

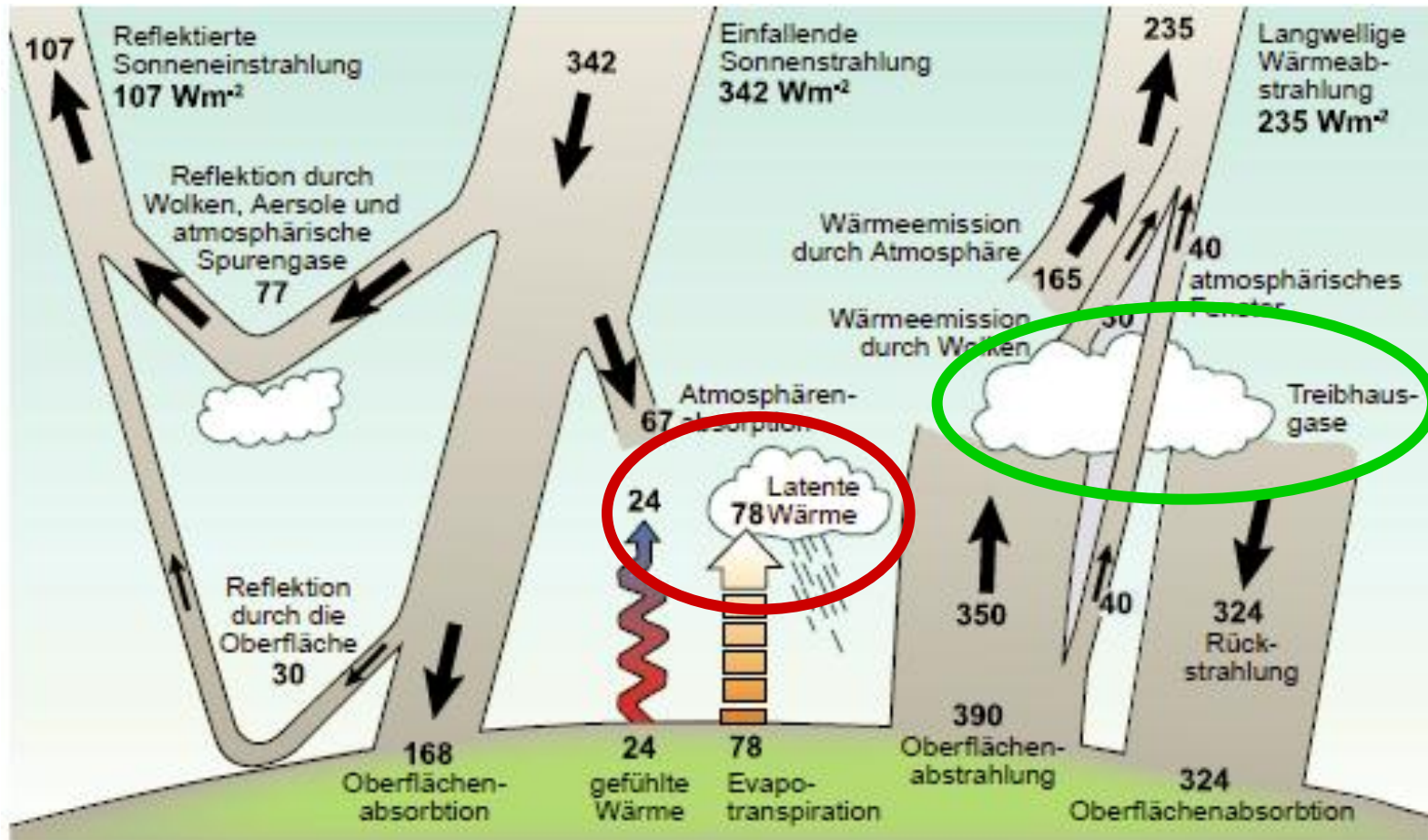
Schritt 1: Problem- und Fragestellung

Anthropogener Klimawandel: Von der Unsicherheit zum Risiko



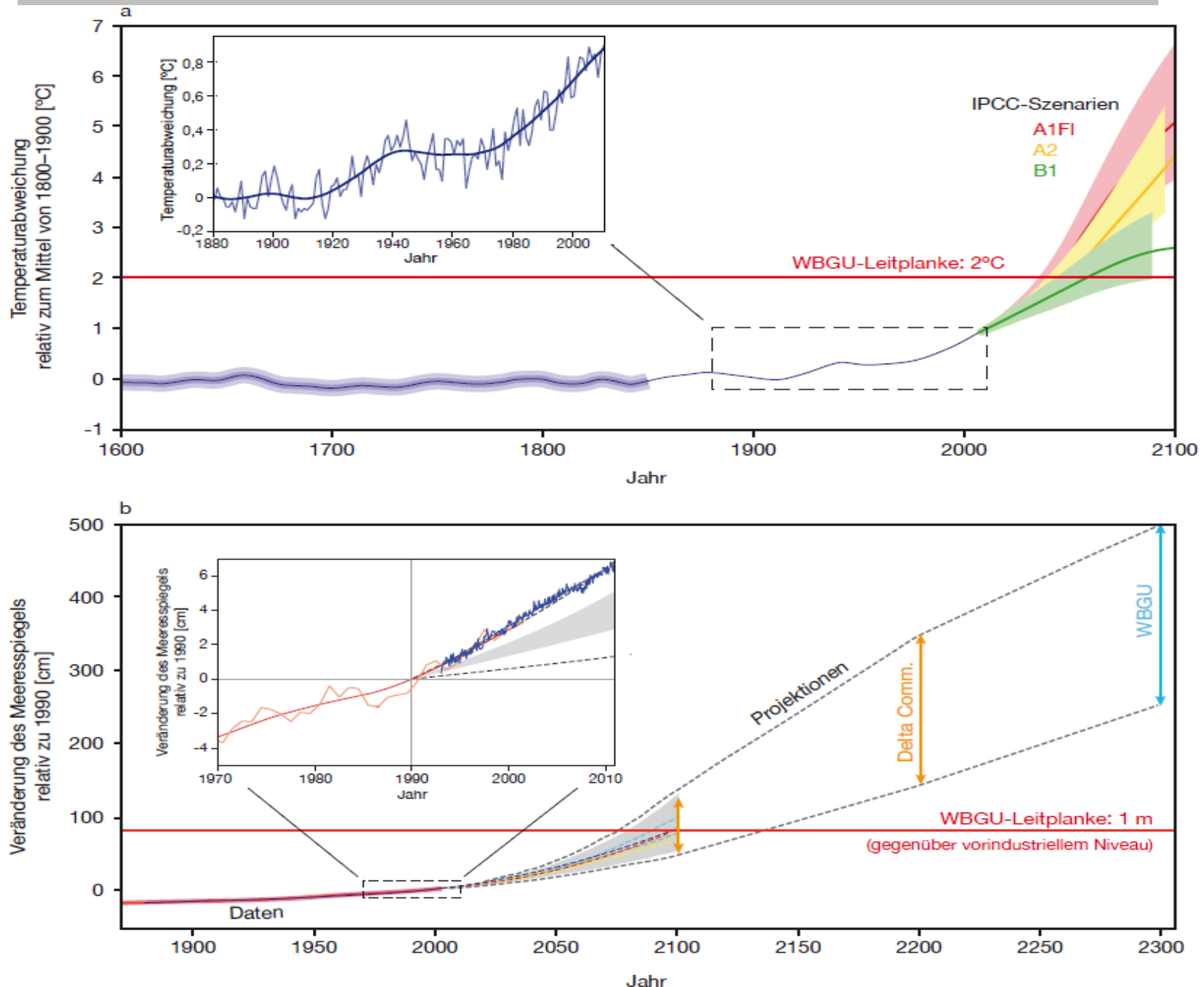
- **Anthropozän:** Erdzeitalter, indem menschliche Einflüsse eine mit natürlichen Einflüssen vergleichbare Dimension haben.
- **Planetary Boundaries:** Es gibt Zustände des Erdsystems, die unbedingt vermieden werden sollten.
- **IPCC IV (2007):** Klimaerwärmung geht ursächlich und überwiegend auf anthropogene Einflüsse (CO₂-Emission) zurück.

Strahlungsbilanz der Erde: Schematische Darstellung

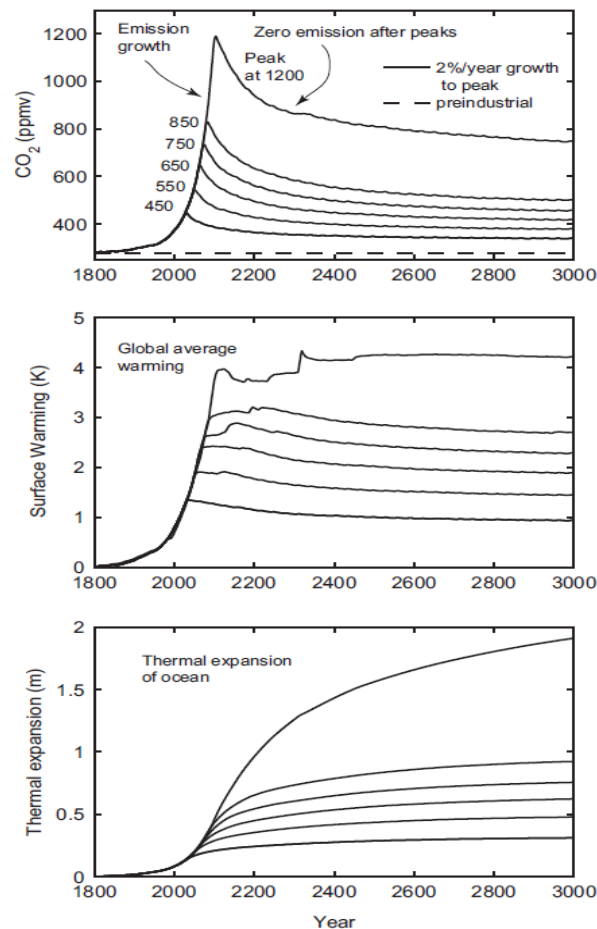


Quelle: Kiel Earth Institut 2011: Gezielte Eingriffe ins Klima? (BMBF-Studie, S.39)

CO₂-Emission – Nettostrahlungsantrieb - Klimasensitivität

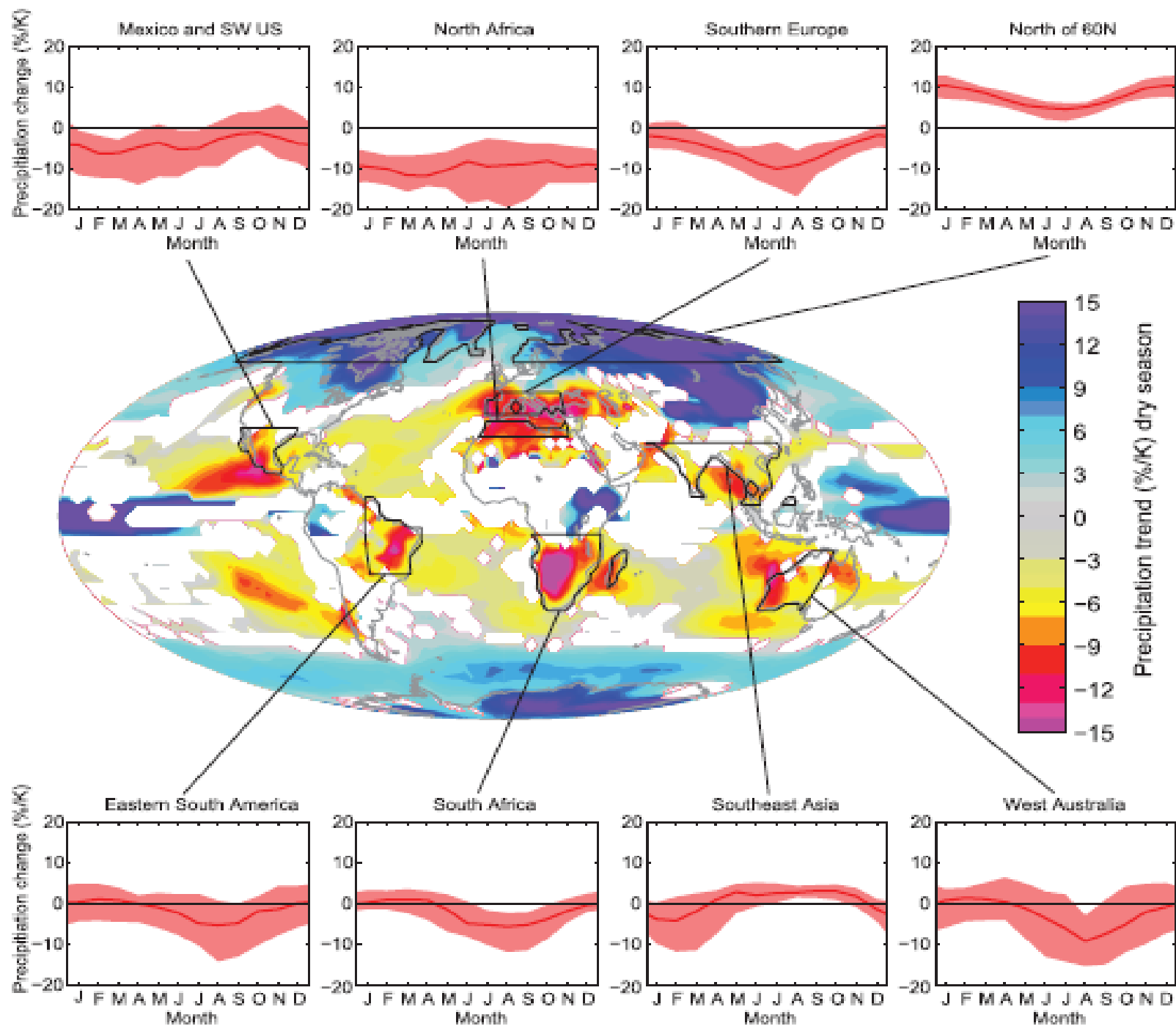


CO₂-Konzentration – Klimaträgheit - Kipppunkte

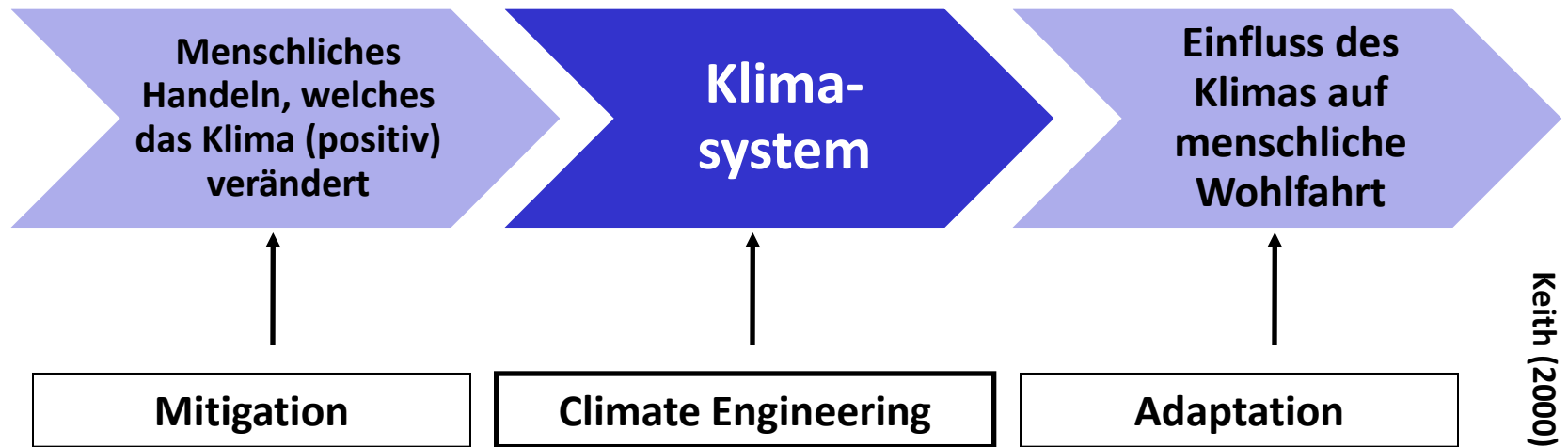


Quelle: Solomon et al. 2009: 1705

- **Trägheit/Inertia:** Nach erfolgter CO₂-Reduzierung setzt Erholungseffekt verspätet ein.
- **Kipppunkte:** Schwellenwerte, die abrupte Veränderungen beinhalten und durch Rückkoppelung verstärkt werden können.
 1. das Schmelzen des grönländischen Eisschildes
 2. Instabilität des westantarktischen Eisschelfs
 3. Zusammenbruch der atlantischen Ozeanzirkulation
 4. Emission von THG aus auftauenden Permafrostböden.



Klimawandel: Drei Handlungsoptionen



Climate Engineering bezeichnet ein großskaliges technische Eingreifen in das Klimasystem der Erde zum Zweck der Minimierung der Folgen des anthropogenen Klimawandel (vgl. Royal Society 2009).

Fragestellung

1. Welche der vorgeschlagenen Technologien zur künstlichen Reduktion des Treibhausgaseffektes erscheinen technisch und wirtschaftlich plausibel als auch politisch legitimierbar?
2. Welche bestehenden internationalen Verträge zwischen Staaten können für CE-Technologien angepasst werden und welche neuen Governance-Strukturen unter Einschluss nicht-staatlicher Akteure müssen aufgebaut werden?

Schritt 2: Naturwissenschaftliche und technische Grundlagen

Spiegel im All

Reflektierende Aerosole

Künstliche Wolkenbildung

Biokohle

Aufforstung

Eisendüngung

CO₂ Air Capture

Alkalinitätseintrag

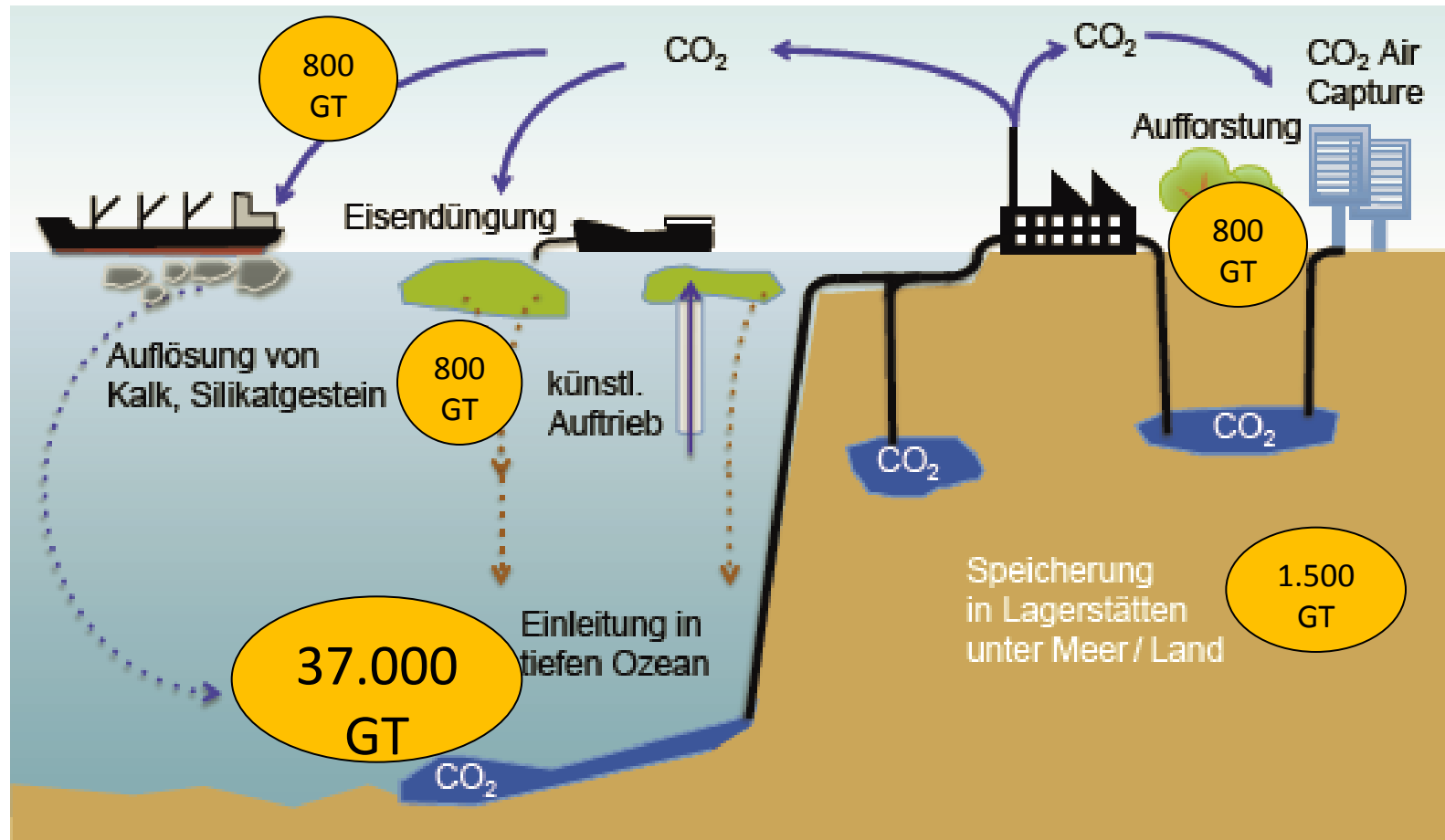
Künstlicher
Auftrieb

Direkt-
Einleitung

CO₂-Speicherung

Senkung der CO₂-Konzentration (CDR)

Unterschiedliche CDR-Technologien: Überblick



Quelle: Kiel Earth Institut 2011: Gezielte Eingriffe ins Klima? BMBF-Studie, S.49

Unterschiedliche CE-Technologien im Überblick

Kategorie der Maßnahme	Art der Maßnahme	Realisierung	Hebelwirkung	Erhofftes Potential	Abklingzeit
Symptomatisch wirkend: Modifikation der Ein- bzw. Ausstrahlung (RM)	Reduktion der kurzwelligen Einstrahlung (SRM)	Reflektoren im Weltall	Gering – Mittel	Unbegrenzt	Jahrzehnte – Jahrtausende
		Aerosole in der Stratosphäre	Groß	Unbegrenzt	ca. 1 Jahr
	Erhöhung der langwelligen Ausstrahlung (TRM)	Modifikation von Zirruswolken	Groß	- 1 bis - 4 W/m ²	Tage – Wochen
	Reduktion der kurzwelligen Einstrahlung (SRM)	Modifikation mariner Schichtwolken	Groß	- 4 W/m ²	Tage
		Modifikation der Erdoberflächenalbedo	Gering	- 0.2 bis - 3 W/m ²	Jahre
Ursächlich wirkend: Reduktion der Konzentration LW-absorbierender Atmosphärenkomponenten (CDR)	Physikalisch / Ozean	Künstl. Auftrieb / Abtrieb	Gering	Nicht effektiv	–
	Chemisch / Ozean	Einbringung von Olivin	Gering	4 Gt CO ₂ /Jahr	–
		Einbringung von Kalziumoxid/-hydroxid	Gering	1,5 Gt CO ₂ /Gt CaCO ₃	–
		Einbringung von pulverisiertem Kalk	Gering	0,3 Gt CO ₂ /Gt CaCO ₃	–
	Biologisch / Ozean	Düngung durch Makronährstoffe	Gering	Nicht effektiv	–
		Düngung durch Mikronährstoffe	Groß	5 Gt CO ₂ /Jahr	–
	Chemisch / Land	Air Capture	Gering	Unbegrenzt	–
	Biologisch / Land	Biokohle	Gering	5 Gt CO ₂ /Jahr	–
		Aufforstung	Mittel	4 Gt CO ₂ /Jahr	–

Quelle: Kiel Earth Institut 2011: Gezielte Eingriffe ins Klima? (BMBF-Studie, S.42)

Typologie der CE-Techniken: unilaterale Einsetzbarkeit

	Effizienz ^A	
	Hoch	Gering
Zentral umsetzbar ^B	Stratosphärische Aerosole Marine Wolkenmodifikation Zirruswolkenmodifikation	Ozeandüngung Weltraumreflektoren Beschleunigung der natürlichen Verwitterung an Land oder im Ozean Biokohle Air Capture
Dezentrale Umsetzung erforderlich ^C		Großskalige Aufforstung Erhöhung der Rückstrahlung von Hausdächern Modifikation von Wüsten

Quelle: Kiel Earth Institut 2011: Gezielte Eingriffe ins Klima? (BMBF-Studie, S.122)

Typologie der CE-Techniken: Politisierungsgrad

	Unerwünschte Nebenfolgen bleiben tendenziell lokal begrenzt	Unerwünschte Nebenfolgen sind tendenziell global
Staatsfreie Räume	<p>Ozeandüngung</p> <p>Beschleunigung der natürlichen Verwitterung im Ozean</p>	<p>Weltraumreflektoren</p> <p>Stratosphärische Aerosole</p> <p>Marine Wolkenmodifikation</p> <p>Zirruswolkenmodifikation</p> <p>Biokohle</p> <p>Air Capture</p>
Staatliches Territorium	<p>Air Capture</p> <p>Beschleunigung der natürlichen Verwitterung an Land</p> <p>Erhöhung der Rückstrahlung von Hausdächern</p> <p>Biokohle Herstellung</p> <p>Dezentrale Aufforstung</p>	<p>Großskalige Aufforstung</p> <p>Modifikation von Wüsten</p>

Quelle: Kiel Earth Institut 2011: Gezielte Eingriffe ins Klima? (BMBF-Studie, S.127)

Schritt 3: Risikobegriff und Regimebildung

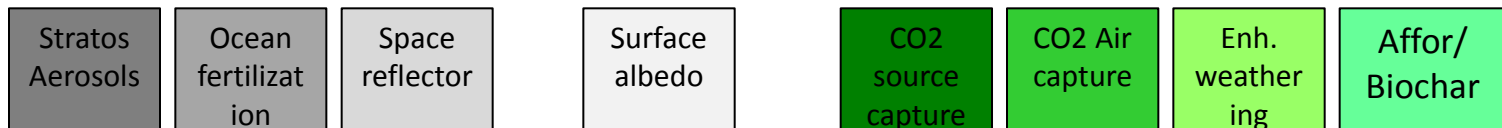
Ausgangspunkt der risikotheorietischen Überlegungen

1. **Annahme 1:** CE-Technologien, ebenso wie Klimawandel an sich, können als „long-term policy problems“ gelten, welche die Produktion öffentlicher Güter mit starken transnationalen und transgenerationellen Kosten beinhalten.
2. **Annahme 2:** Unsicherheit und Risiko charakterisieren CE Forschung, Tests und Anwendung: Dies verlangt risikotheorietische Herangehensweise, die Regimebildung unter diesen Bedingungen erklären kann.
3. **Politikwissenschaftliche Modellierung von Unsicherheit und Risiko:** Drei distinkte Forschungsparadigmen + zentrale Einflussfaktoren können identifiziert werden: Realismus/Macht; Rationalismus/Information, Sozial-Konstruktivismus/Identität, welche die Regimebildung maßgeblich beeinflussen.

Risiken in der politikwissenschaftlichen Forschung

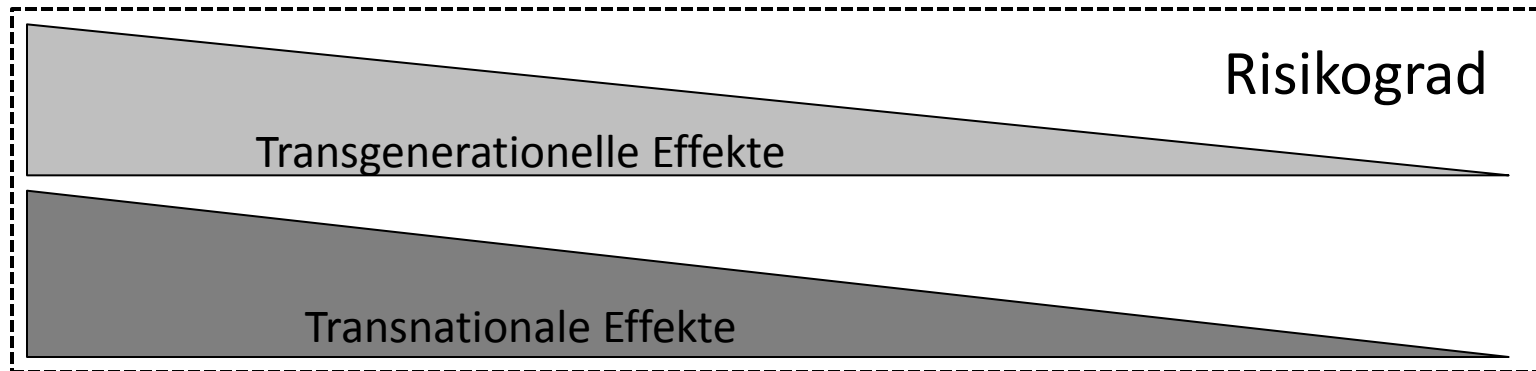
	Realismus	Rationalismus	Soz. Konstruktiv.
Natur d. Realität	Objektiv und real	Objektiv und real	Sozial konstruiert, aber reifiziert objektiv
Risikokonzeption	Furcht vor Prädation : possibilistisch	Ignoranz über Kosten/Nutzen probabilistisch	Unbestimmtheit
Instrumente	Power	Information	Normen/Identitäten
Lernen	Realisierung der obj. Wirklichkeit	Aktualisierung von Information	Aneignung einer Identität: Sozialisierung/Überzeugung
Situative Struktur	Gefangenendilemma	Kollektiv. Gut: gemischtes Spiel	Spielsituation kann wechseln
Regimebildung	Macht prägt das Regime	Information + Glaubwürdigkeit credibility	Identitätsformation

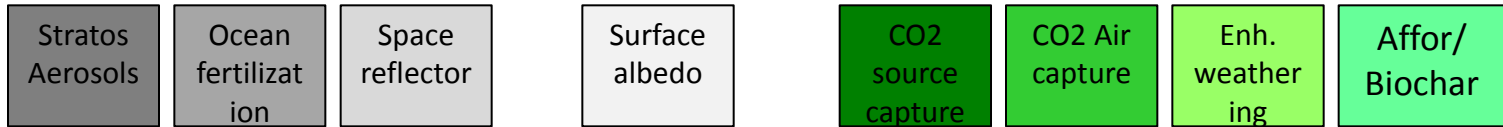
CE-Techniken: Risiken und Regimebildung



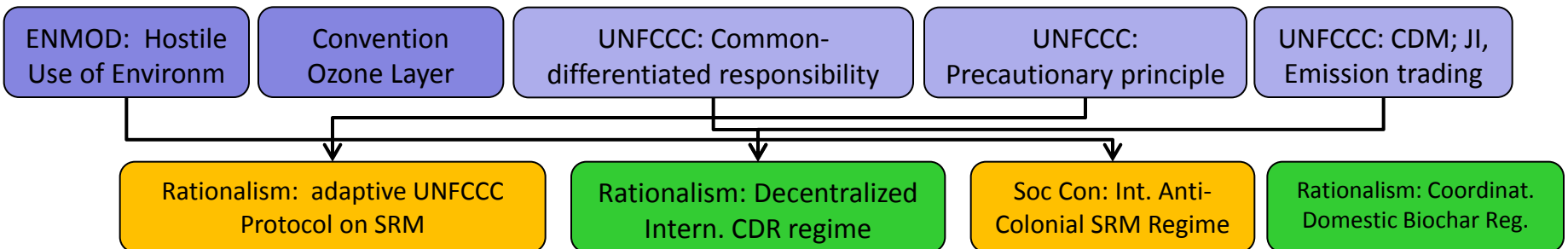
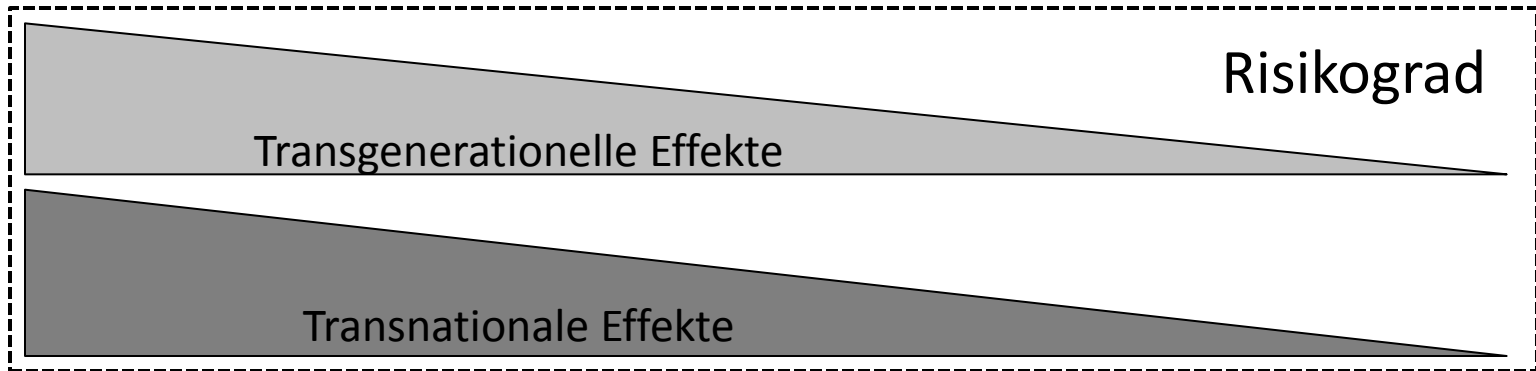
SRM

CDR





CDR

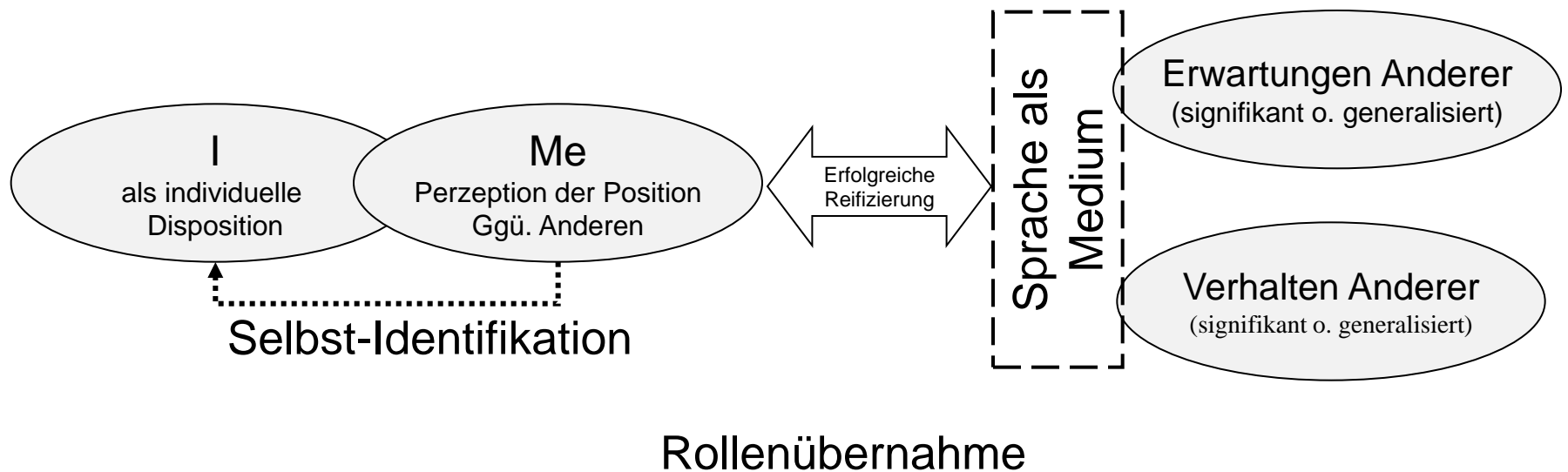


Moral Hazard und CE-Techniken

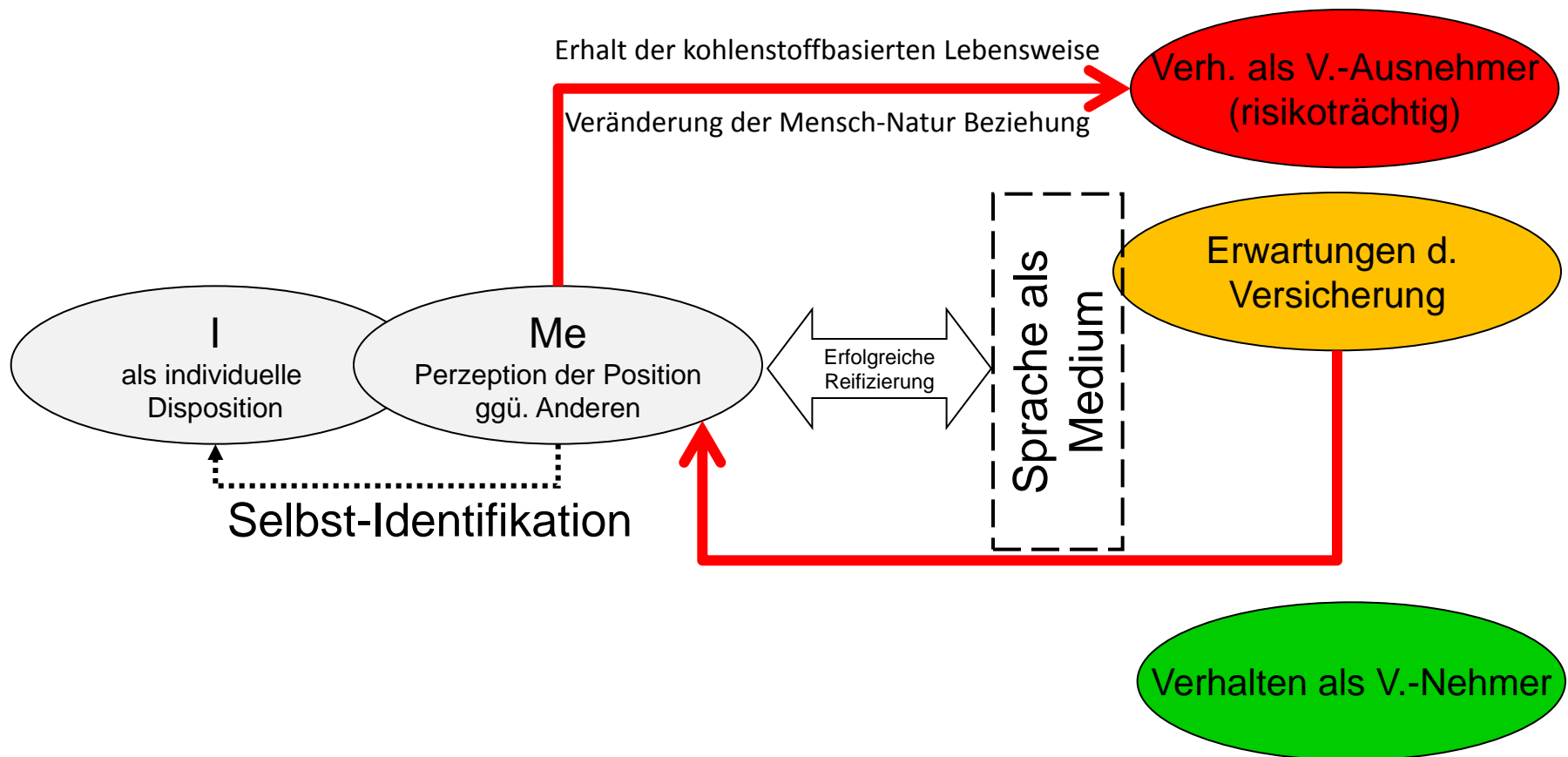
Moral Hazard refers to the tendency for insurance against loss to reduce incentives to prevent or minimize the cost of loss (*Baker 1996: 239*).

	Solar Radiation Management	Carbon Dioxide Removal
Effektivität	immediate effects on the climate system	removing CO ₂ from the air, slowly reducing global warming
Nebeneffekte	large regional climatic changes, affects on weather patterns and rainfalls, changing colour of the sky, etc.	unintended ecological consequences, biodiversity implications, ocean acidification, etc.
Anreize	unilateral deployment, methods are effective and inexpensive, no collective action problems	counter the risk of CO ₂ already in the air, CCS will reduce CO ₂ at source
	no further investments in mitigation or adaptation efforts	

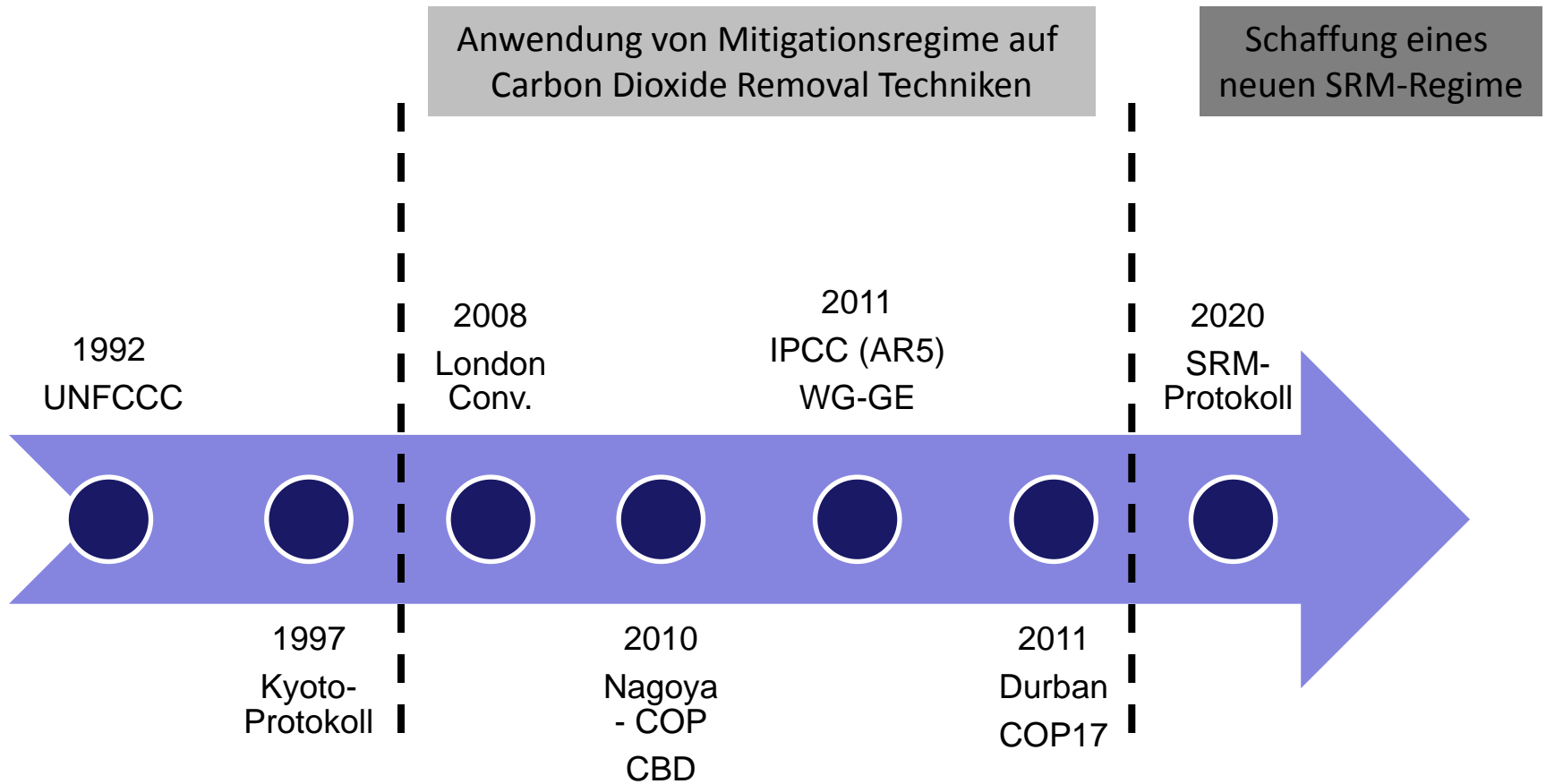
Moral Hazard und unintendierte Konsequenzen: Konzeptualisierung als Übernahme neuer Rollen



Moral Hazard Problematik: abstrakt



Sequenzierung von Klimainterventionsverfahren



Permissiver Grundkonsens: Kleinskalige CE-Forschung zulässig

- “[The Conference of the Parties [...] invites Parties and other Governments [...] to [...] ensure] that no climate-related geo-engineering activities that may affect biodiversity take place, until there is an adequate scientific basis on which to justify such activities and appropriate consideration of the associated risks for the environment and biodiversity and associated social, economic and cultural impacts, with the exception of small scale scientific research studies that would be conducted in a controlled setting [...]” (UNEP/CBD/COP 10 Decision X/33).

Regimekonstellation für SRM-Techniken

1. Unilaterale Lösung: oder „Koalition der Willigen“
 - SRM ist so günstig und wirksam, dass es von einem Staat angewendet werden kann.
 - Rechtfertigung aufgrund fehlender Normen möglich.
2. Multilaterale Institution: OECD/NATO
 - Jene SRM-Maßnahmen, die unilateral anwendbar sind, haben das größte internationale/gesellschaftl. Konfliktpotential
3. Internationale Organisation: Vereinten Nation/UNFCCC
 - UN-basierte Lösungen sind zu bevorzugen, weil sie die bestehenden Mitigationsanstrengungen einbeziehen können

Vorschlag zur CE-Regimebildung

CDR-Maßnahmen

ENMOD: Conv. on Hostile
Use of Environment

Anpassung/Novellierung bestehender Verträge und Regime

SRM-Maßnahmen

Schaffung eines neuen SRM-Regimes

CE-Agentur

CE-Kontrollgremium

UNFCCC

CE-Regime: Vertragsstaatenkonferenz

Forschung

Test

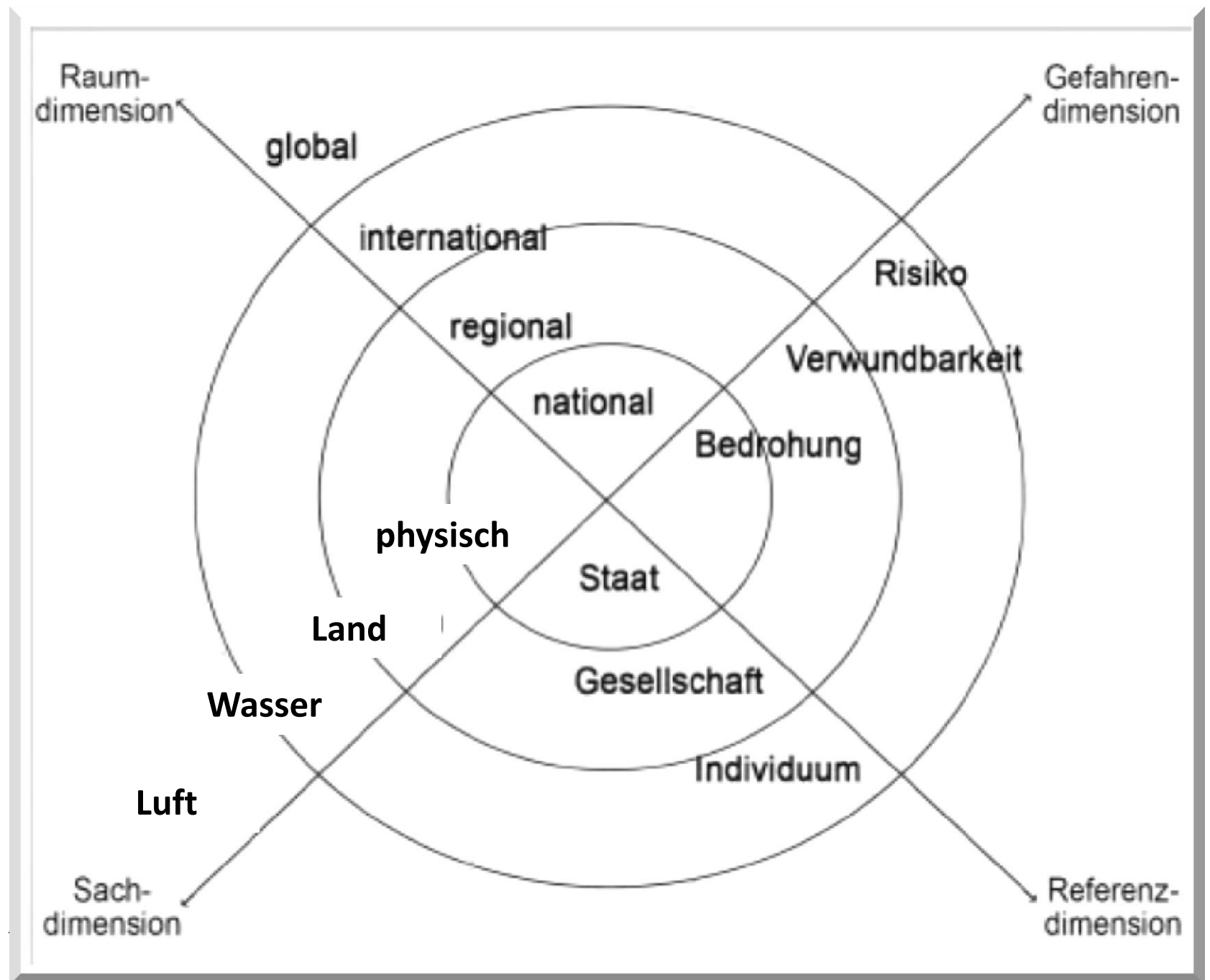
Anwendung

Schritt 4: Forschungsagenda

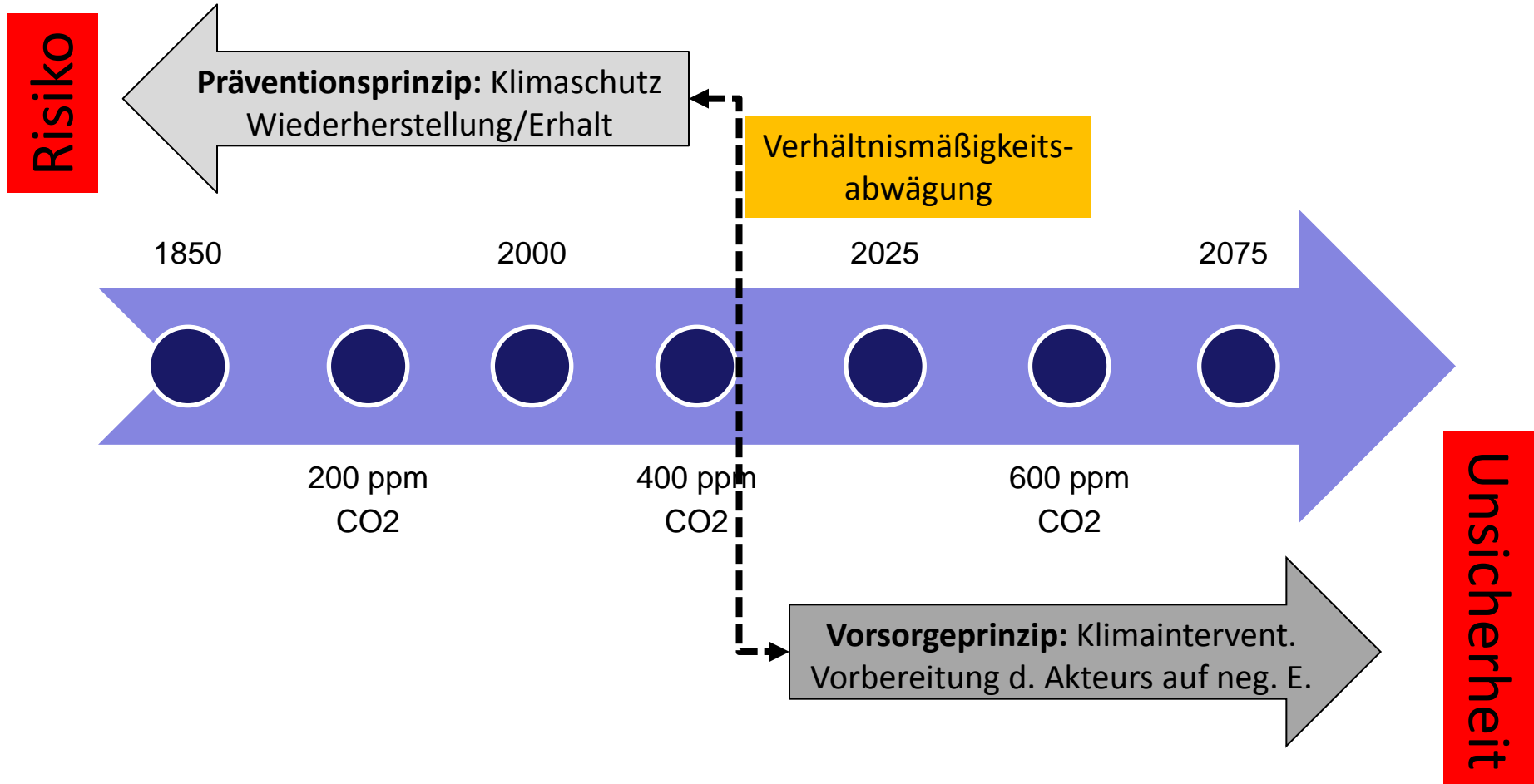
Climate Engineering und Risiko: eine interdisziplinäre Studie

- **Ergebnisse:**

1. Risikodefinition: konzeptionelles Spektrum reicht von einer naturw. Minimaldef. (Schadenshöhe x Eintrittswahrscheinlichkeit) bis zu einer soziolog. Maximaldef. (Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe kann durch aktuelles Handeln beeinflusst werden).
2. Risikodimensionen: Bezugsdim.; Gefahrendim.; Sachdim.; Raumdim.
3. Risiko und Unsicherheit: „differentiation is being understood as the presence or absence of scientifically established and well-understood causal relationship (Reichwein 2011: 26).“
4. Risiko und Vorsorgeprinzip: Solange Unsicherheit über Kausalbeziehung besteht, absorbiert das Vorsorgeprinzip das Präventionsgebot, denn es stärkt die Handlungsfähigkeit des Akteurs für den Fall das kausale Verantwortlichkeit etabliert wird (Risikosituation).
5. Risiko und Wertzuweisung: „to calculate expected damages, we need probability of every single value climate sensitivity may take on“ (Heyen 2011: 36): a) single actor may hold competing climate sensitivities; b) various actors hold competing climate sensitivities; c) climate sensitivities are interdependent (moral hazard).



Rechts- und Politikwissenschaft im Dialog: Prävention vs. Vorsorgeprinzip



Harnisch/Böttcher 2011: the CE discourse in the US, 2006-2010

- **Questions:**

1. What main pro and con arguments regarding the research on and implementation of CE technologies have been being used in the scientific, public and political spheres in the USA since 2006?
2. Are arguments being used within each sphere reflected in the other spheres?
3. Have the arguments being used in the three spheres changed/developed over time?

- **Data set: 70 docs: 17 con-arg. (568)/16 pro (471) SRM research/deployment.**

- Scientific Scholarship: *Science, PNAS, Technology Review, Climatic Change, Solutions, Oceanography, The Review of Economics and Statistics, Foreign Affairs, Journal of Geophysical Research, Issues in Legal Scholarship, Physics Today, Bulletin of the Atomic Scientists, Journal of Economic Perspectives and The Environmental Forum.*
- Scientific Conferences: *NASA Workshop on Managing Solar Radiation (April 2007), University of Montana workshop: The Ethics of Geoengineering with Solar Radiation Management, (October 2010), Annual Meeting of the American Political Science Association (Sept. 2009), The Asilomar Conference: Recommendations on Principles for Research into Climate Engineering Techniques (November 2110)*

The CE discourse in the US, 2006-10: Main arguments

- Pro research
- The **‘need for knowledge’ argument**
- The **‘control through knowledge’ argument**

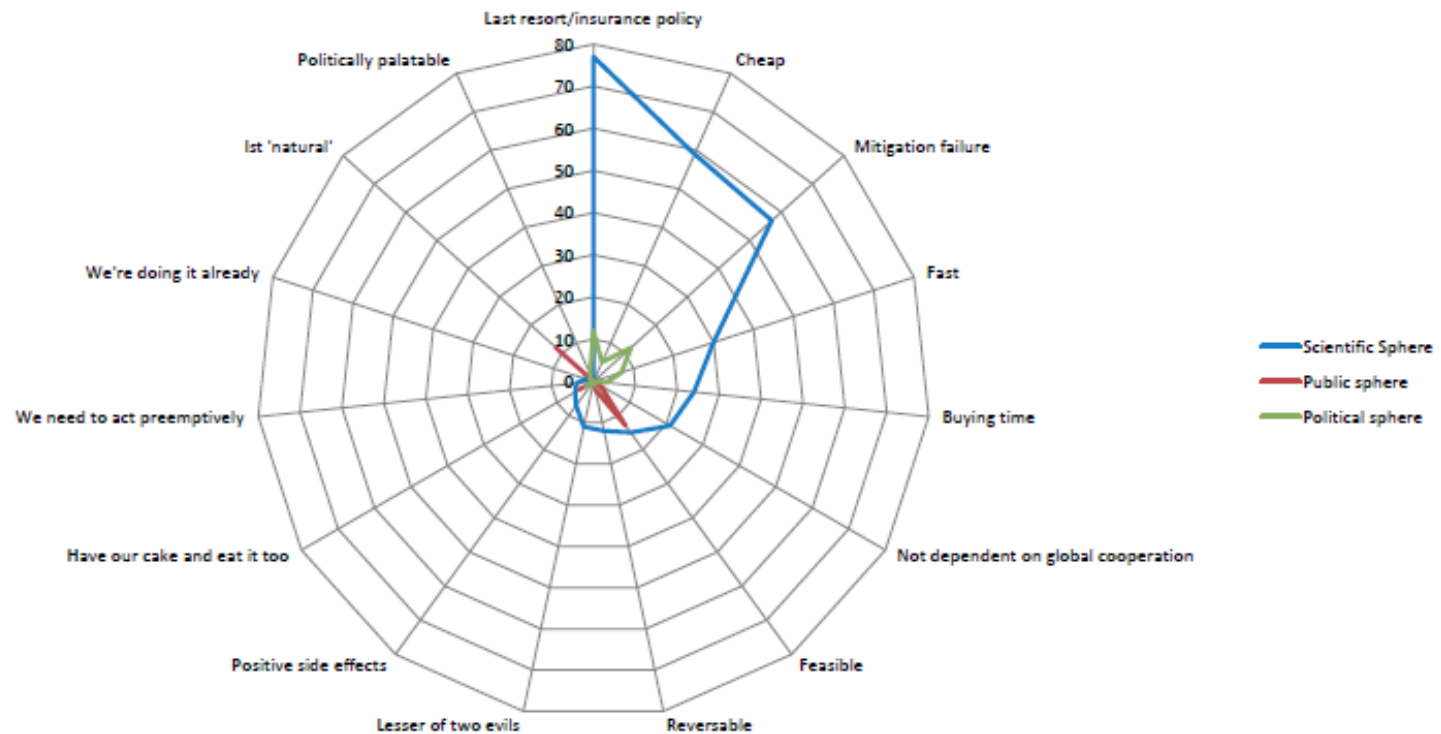
- Contra research
- The **“moral hazard”**
- The **“testing problems” argument**
- The **“unilateral deployment” argument**

-
- Pro deployment
 - The **“insurance policy” argument**
 - The **“mitigation failure” argument**
 - The **“buying time” argument**

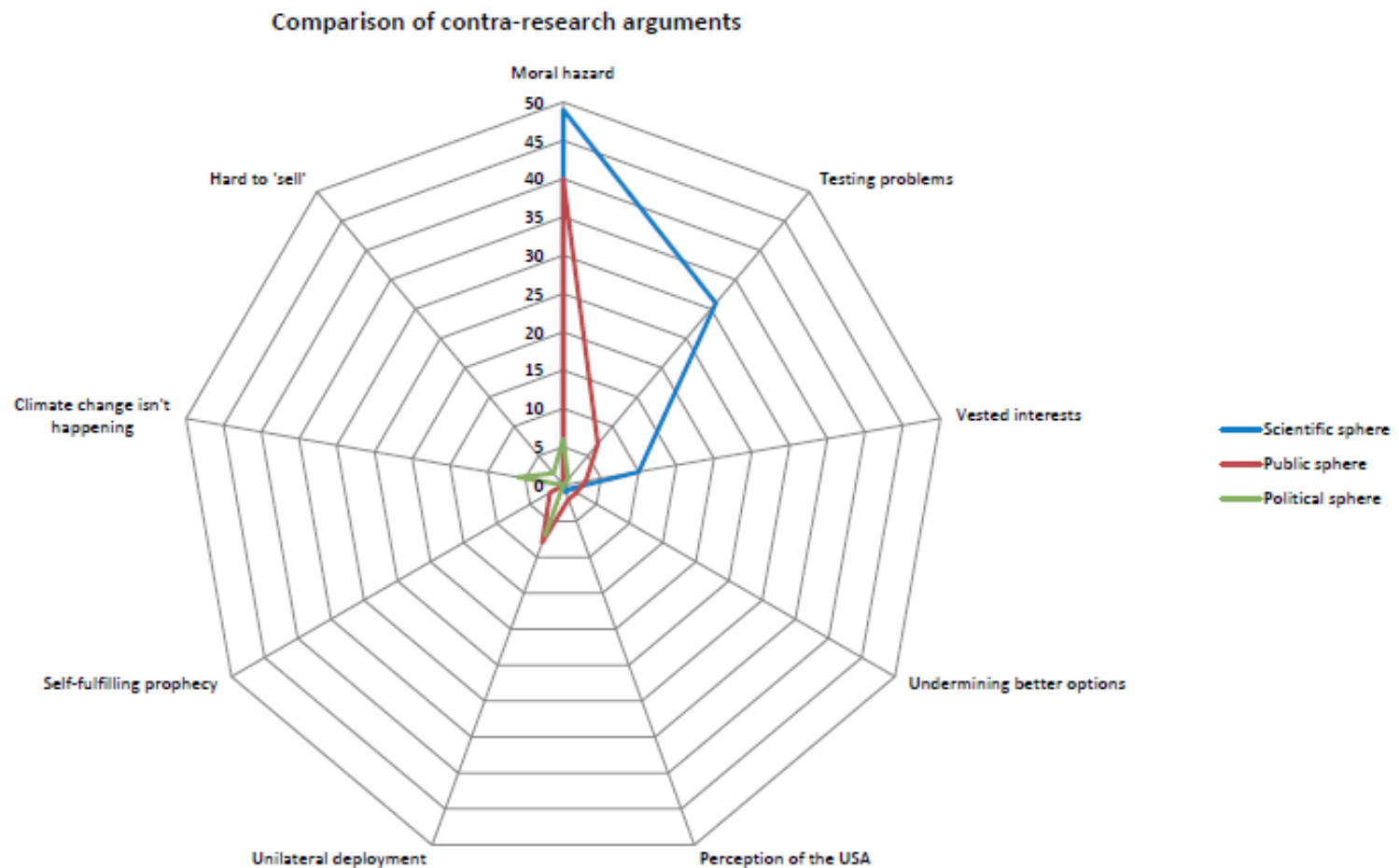
- Contra deployment
- The **“negative side effects” argument**
- The **“unknown unknowns” argument**
- The **“conflict potential” arguments**

The CE discourse in the US 2006-10: Findings

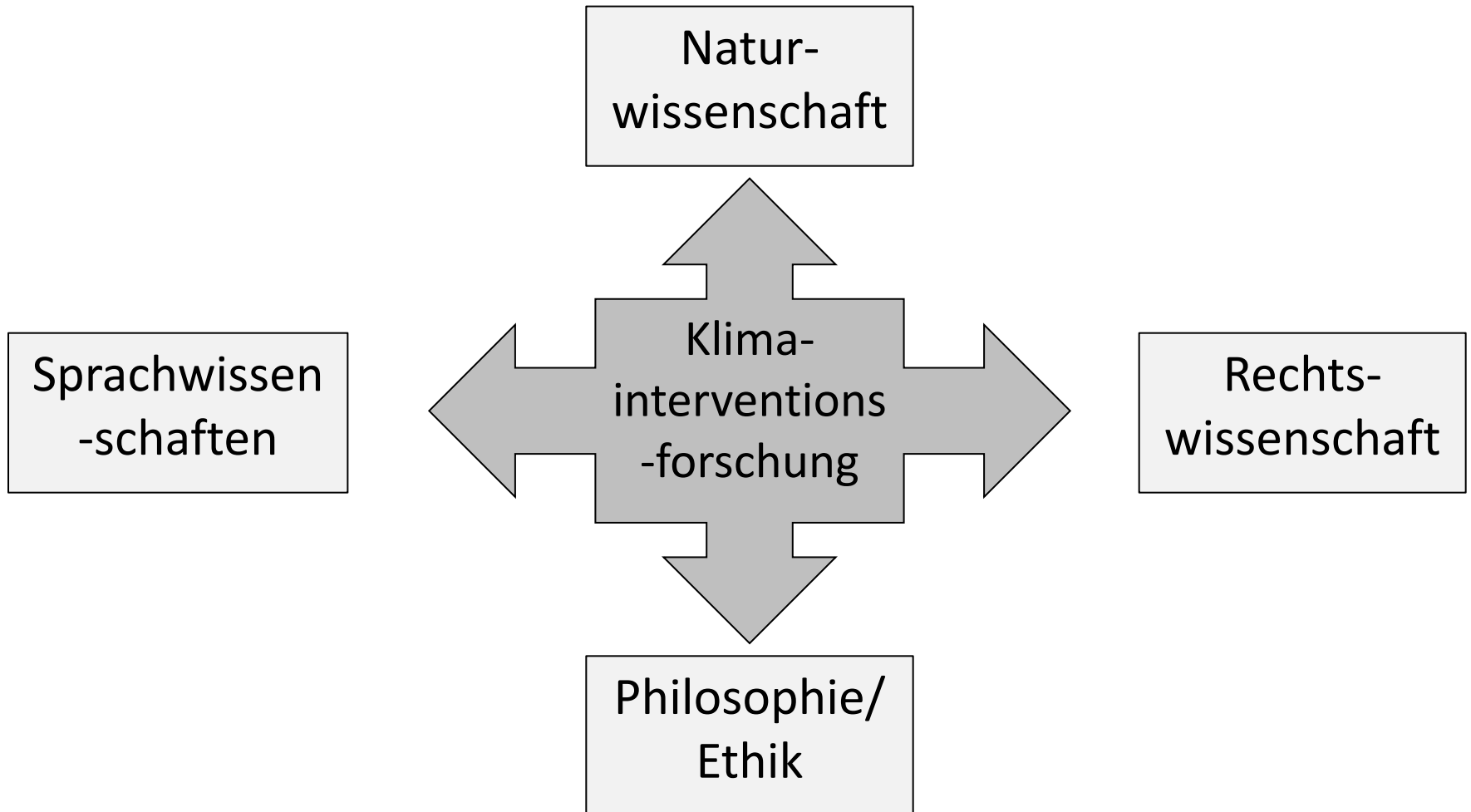
Comparison of pro-deployment arguments



The CE discourse in the US 2006-10: Findings



Ausblick



**Vielen Dank für ihre
Aufmerksamkeit!**

The interdisciplinary approach

- Interdisc. Activities
 - Monthly Plenaries
 - Weekly PhD meetings
 - Regul. workshops
 - Summer Schools
- Interdisciplinary Publications:
 - Journal articles
 - CE and Risk
 - CE and Climate Justice

Table 1: Supervision structure "Global Governance of Geoengineering"

	Supervision by researchers from						
	Environmental Physics	Philosophy	Human Geography	Political Science	Environmental Economics	Psychology	International Law
Environmental Physics	S		A		A		
Philosophy		S	A			A	
Human Geography			S	A		A	
Political Science	A			S			A
Environmental Economics	A				S	A	
Psychology		A			A	S	
International Law			A	A			S

S: Supervisor, A: Advisor

The research questions

- How do the risk-benefit perception of climate engineering technologies differ and evolve
 1. across time,
 2. disciplines and
 3. political actors?
- How may these risk perceptions inform individual, societal and international capacities to foster a global governance of climate engineering?

Table 1: Pro SRM research arguments used in the U.S. scientific sphere 2006 – 2010

Pro arguments	Examples
Need for knowledge	<ul style="list-style-type: none">• Indeed, with the possibility of SRM now widely recognized, failing to subject it to serious research and risk assessment may well pose the greater threat to mitigation efforts, by allowing reliance on SRM without crucial scrutiny of its actual requirements, limitations and risks (D. Keith 2010a).• Can we actually create particles in the stratosphere as we assumed in our first climate studies? We need technology development and we need fundamental research to understand this (Rasch 2010).• What would be the impact on climate if we did put the particles into the stratosphere? [...] This involves deployment, actually, at some level (Rasch 2010).
Control through knowledge	<ul style="list-style-type: none">• If a country experiencing a prolonged drought, for example, seeks to engineer the planet's climate unilaterally, we will need to be familiar with the potential consequences in order to muster informed counterarguments(Morgan 2010a).• Furthermore, the potential of unilateral deployment of SRM poses environmental and geopolitical risks that can be managed best by developing widely shared knowledge (D. Keith 2010a)• A more comprehensive understanding of geoengineering options and of risk-assessment procedures would make countries less trigger-happy and more inclined to consider deploying geoengineering in concert rather than on their own (David G. Victor 2009).• Furthermore, without a good overview of potential geoengineering efforts which might eventually be undertaken, it would be difficult to monitor the possibility of "covert" geoengineering (Lawrence 2006).
Resonsibility to research all options	<ul style="list-style-type: none">• Responsible management of climate risk requires sharp emissions cuts and clear-eyed research on SRM (D. Keith 2010a).• If we really believe that climate change has the potential to cause loss of life and suffering, and we believe that Solar Radiation Management approaches may have the potential to cost-effectively reduce that loss of life and suffering, it could be immoral not to research and develop these options (Caldeira 2009b).
Scare them into mitigating	<ul style="list-style-type: none">• On the other hand, such schemes could also frighten people into redoubling efforts to reduce greenhouse gas emissions (Caldeira 2009a).• Perhaps the frightening prospect of a geo-engineering project to artificially change the Earth's albedo would activate the creative mind of mankind to find sensible solutions to the energy problem (Bengtsson 2006).

Table 2: Pro SRM deployment arguments used in the U.S. scientific sphere 2006 – 2010

Pro arguments	Examples
Last resort/insurance policy	<ul style="list-style-type: none">• What makes geoengineering so vital for managing climate risk is not its cost, but the fact that it can be implemented quickly in the event of a climate emergency (Moreno-Cruz 2010).• It [SRM] is a 'Plan B', a last resort, insurance against catastrophe(Bjornar 2010).
Cheap	<ul style="list-style-type: none">• The direct cost of shading the planet could be less than a few hundredths of the cost of reducing carbon dioxide emissions (Morgan 2010a).• Long established estimates show that SRM could offset this century's global average temperature rise at least 100 times more cheaply than emissions cuts(D. Keith, et al. 2010b).• SRM is cheap, which makes SRM essential to achieve any temperature target at lower costs relative to traditional mitigation (Moreno-Cruz 2010).• There is general agreement that the strategies are cheap: the total expense of the most cost-effective options would amount to as little as a few billion dollars, just one percent (or less) of the cost of dramatically cutting emissions (David G. Victor 2009).
Mitigation failure	<ul style="list-style-type: none">• It is not merely academic curiosity that is prodding scientists to ask these questions, but genuine concern that we are running out of time to mitigate the worst consequences of global warming (Bjornar 2010).• The difficulties associated with achieving the drastic emissions reductions needed to avoid the more serious of climate change have led scientists, scholars and policymakers to begin to consider potential technological approaches to the problem (Lin 2009).• It [CE] warrens international attention because of the difficulties of coordinating a successful emission reduction strategy (Lin 2009).• In particular, if the failure to act aggressively on mitigation continues, then at some point [...] we may end up facing a choice between allowing catastrophic climate impacts to occur, or engaging in geoengineering (Gardiner 2010).• Mitigation policies might partially or completely fail to avoid harmful climate change. If solar radiation management is feasible, therefore, it could represent a potentially valuable tool for coping with this possible policy failure (Lee Lane 2007).
Fast	<ul style="list-style-type: none">• SRM is cheap and can act quickly to cool the planet(D. Keith, et al. 2010b)• What makes geoengineering vital for managing climate risk is not its costs, but the fact that it can be implemented quickly in the event of a climate emergency (Moreno-Cruz 2010).

Table 3: Contra SRM research arguments used in the U.S. scientific sphere 2006 – 2010

Contra argument	Examples
Moral hazard	<ul style="list-style-type: none">• The primary argument against doing SRM research is fear that it will sap our will to cut emissions (D. Keith 2010a).• It [SRM research] be viewed as a distraction, or an excuse to avoid dealing with greenhouse gas emissions (Rasch 2010).• They were worried that we if we better understand SRM and how do to it,that might deflect attention away from reducing emissions (Morgan 2010b).
Testing problems	<ul style="list-style-type: none">• An important issue to note is that [there] will be substantial difficulties in evaluating this geoengineering strategy without full deployment (Rasch 2010).• Put simply, to adequately assess the efficacy and distribution of effects of geoengineering, it may be necessary to actually deploy these technologies on a large scale and for a long period of time(Rusco 2010).• We argue that geoengineering cannot be tested without full-scale implementation (A. Robock 2010).• To see, for example, what the effects of such a goeengineered cloud would be on precipitation patterns and ozone, we would actually have to do the experiment. The effects of smaller amounts of volcanic clouds on climate can simply not be detected, and a diffuse cloud produced by an experiment would not provide the correct environment for continued emissions of sulfur gases (A. Robock 2009a).
Vested interests	<ul style="list-style-type: none">• Private, for-profit funding of geoengineering should be actively discouraged, since it holds the potential to create a special interest that might push to move beyond research into deployment (Morgan 2010b).• One of the potential risks of this strategy is that if it is perceived to be working, the enterprise will develop a constituency that will push for it to continue, just like other government programs, with the argument that jobs and businesses need to be protected (A. Robock 2009a).
Undermining better options	<ul style="list-style-type: none">• Many scientists also rightly fear that grants for geoengineering research would be subtracted from the existing funds for urgently needed climate science research and carbon-abatement technologies(David G. Victor 2009).
Perception of the USA	<ul style="list-style-type: none">• For reasons of international perceptions, I argue strongly that research on SRM not be undertaken by DOD or by the intelligence communities (Morgan 2010b).

Historische CE-Initiativen

RESTORING THE QUALITY OF OUR ENVIRONMENT



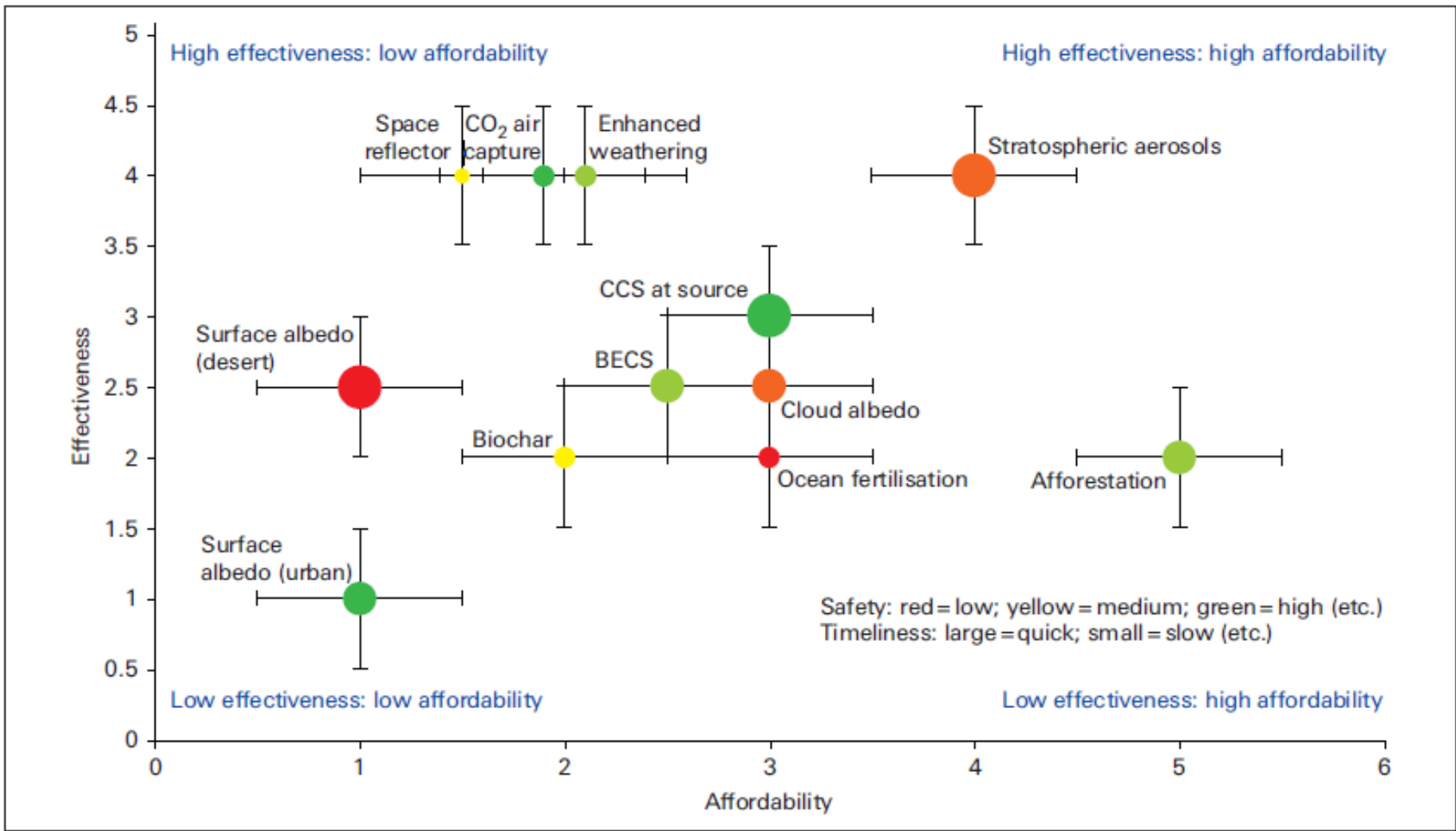
*Report of The
Environmental Pollution Panel
President's Science Advisory Committee*

THE WHITE HOUSE
NOVEMBER 1965

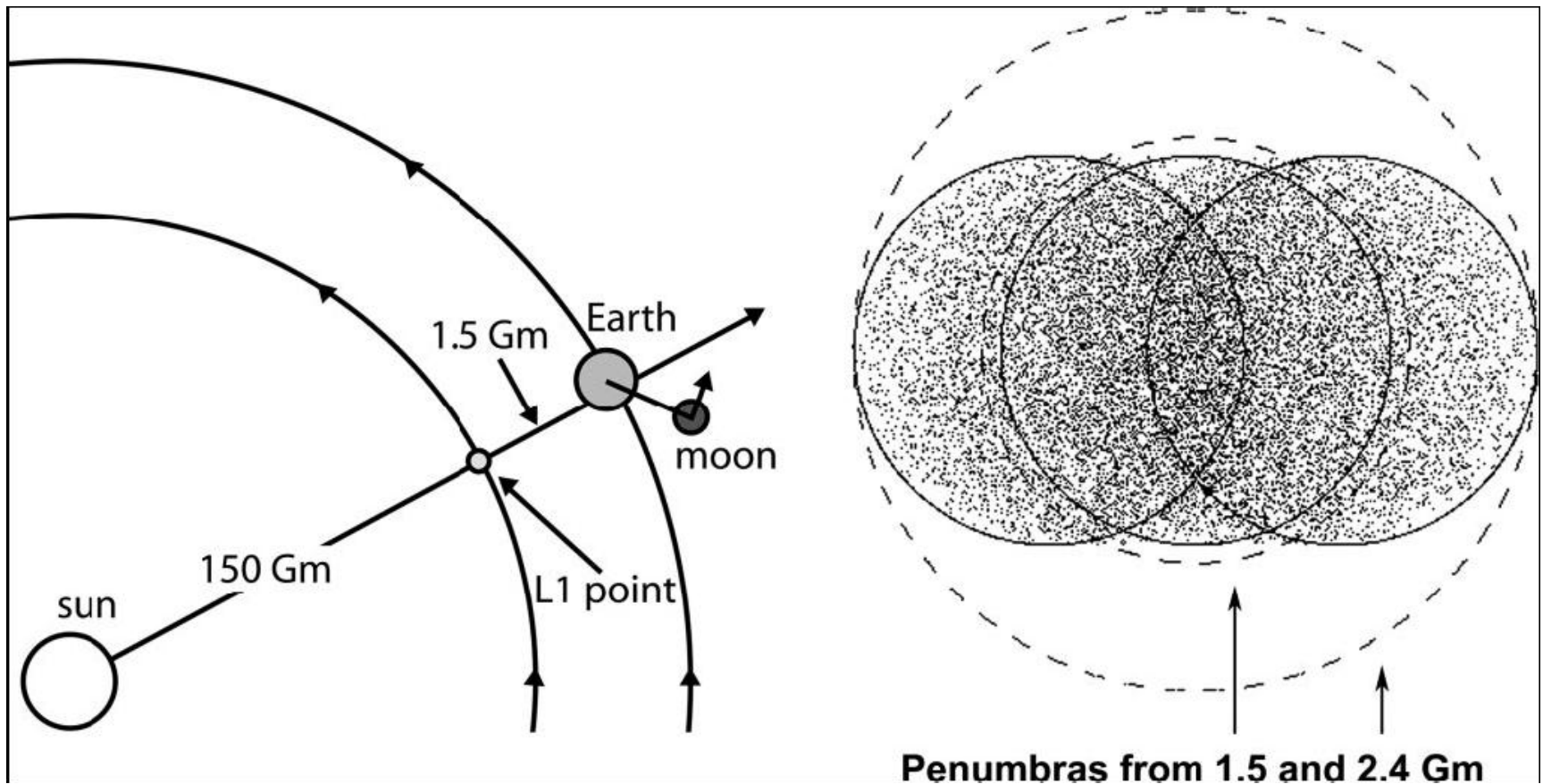
The climatic changes that may be produced by the increased CO₂ content could be deleterious from the point of view of human beings. The possibilities of deliberately bringing about countervailing climatic changes therefore need to be thoroughly explored. A change in the radiation balance in the opposite direction to that which might result from the increase of atmospheric CO₂ could be produced by raising the albedo, or reflectivity, of the earth. Such a change in albedo could be brought about, for example by spreading very small reflecting particles over large oceanic areas. The particles should be sufficiently buoyant so that they will remain close to the sea surface and they should have a high reflectivity, so that even a partial covering of the surface would be adequate to produce a marked change in the amount of reflected sunlight. Rough estimates indicate that enough particles partially to cover a square mile could be produced for perhaps one hundred dollars. Thus a 1% change in reflectivity might be brought about for about 500 million dollars a year, particularly if the reflecting particles were spread in low latitudes, where the incoming radiation is concentrated. Considering the extraordinary economic and human importance of climate, costs of this magnitude do not seem excessive. An early development of the needed technology might have other uses, for example in inhibiting the formation of hurricanes in tropical oceanic areas.

According to Manabe and Strickler (1964) the absorption and re-radiation of infrared by high cirrus clouds (above five miles) tends to heat the atmosphere near the earth's surface. Under some circumstances, injection of condensation or freezing nuclei will cause cirrus clouds to form at high altitudes. This potential method of bringing about climatic changes needs to be investigated as a possible tool for modifying atmospheric circulation in ways which might counteract the effects of increasing atmospheric carbon dioxide.

Figure 5.1. Preliminary overall evaluation of the geoengineering techniques considered in Chapters 2 and 3.



Positionierung von Spiegeln im Weltall: Lagrange Punkt



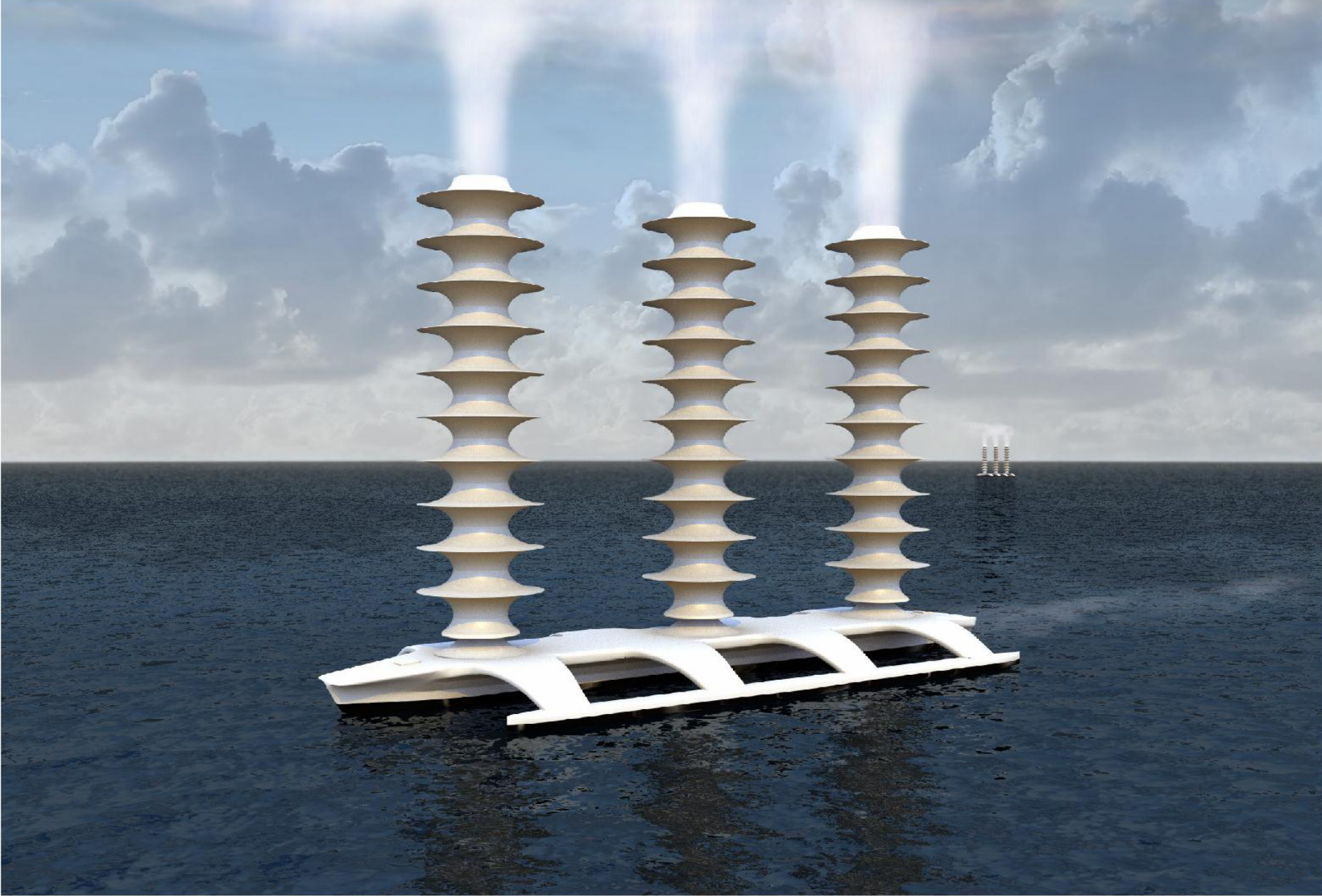
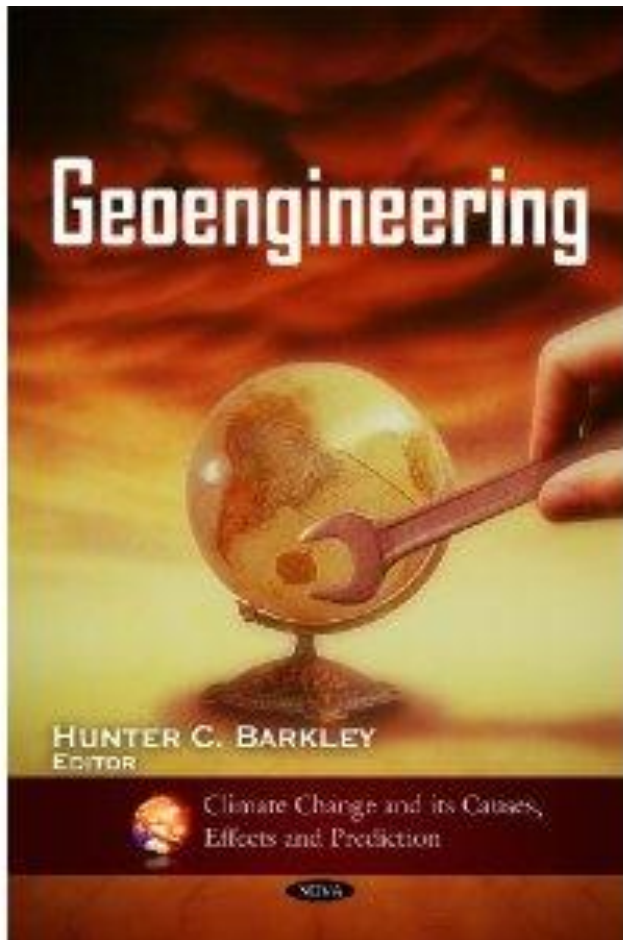
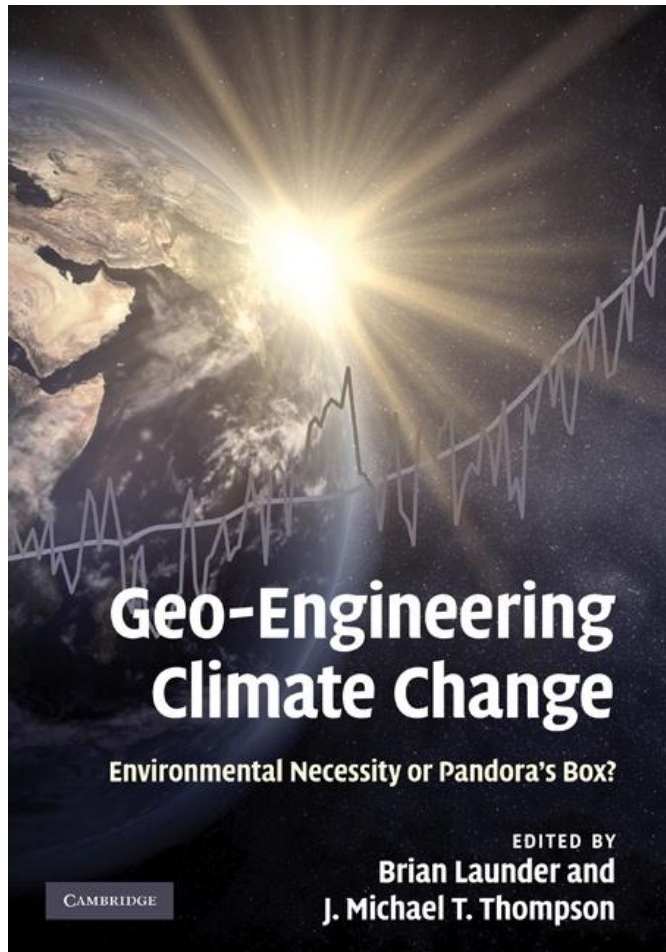


Figure 4. Albedo spray vessels. They would sail back and forth square to the local prevailing wind. Flettner rotors with Thom fences can give lift coefficients up to 20 and lift drag ratios of 35, much higher than cloth sails. Artwork by John MacNeill.



Wichtige Publikationen





Sonnencreme für die Atmosphäre

Wenn die Sonne die Erde zu stark aufheizt, sollen künstliche Wolken für Abkühlung sorgen
[www.wissenschaft-online.de/artikel/1023990]

Handgemachte Wolkendecken gegen die Klimaerwärmung - was klingt wie eine geniale Hightech-Idee, birgt viele Probleme. Die praktische Umsetzung ist davon noch das geringste.

Es begann mit Erdbeben und Rauchwolken. Dann kamen die ersten Explosionen, und mehr als 200 000 Menschen aus den Dörfern um den Pinatubo mussten ihre Häuser verlassen und sich in Sicherheit bringen. Doch als der Vulkan auf der philippinischen Insel Luzon am 15. Juni 1991 richtig explodierte, waren selbst die Vulkanologen überrascht. Die Eruption schleuderte Asche bis zu 34 Kilometer in die Höhe, und die Erdstöße waren so heftig, dass nahezu alle Seismografen in der Umgebung ausfielen. Dann verdunkelte sich der Himmel.

Der Vulkanausbruch tötete mindestens 875 Menschen und hinterließ nicht nur eine dicke Ascheschicht auf dem Land, sondern veränderte auch das Klima. Insgesamt 17 Millionen Tonnen Schwefeldioxid gelangten in die Stratosphäre und bildeten eine künstliche Wolkendecke. Die Folge: Fünf Prozent weniger Sonnenlicht erreichten die Erdoberfläche, und die weltweiten Durchschnittstemperaturen sanken innerhalb eines Jahres um ein halbes Grad Celsius. Kein Wunder, dass dieser schnelle Effekt manch einen Klimaschützer fasziniert. Wäre es möglich, künstliche Wolken zu erzeugen, die uns vor der globalen Erwärmung bewahren?

Was unter dem Titel "Geoengineering" bisher vor allem in Modellen durchgerechnet wurde, rückt heute zunehmend in den Bereich des Machbaren. Wo und wie viel Sonne scheint, könnte bald tatsächlich in Menschenhand liegen. Die ideale künstliche Wolkendecke soll das Erdklima stabilisieren: Einerseits reflektiert sie die Strahlung der Sonne zurück ins All, andererseits lässt sie die infrarote Wärmeabstrahlung der Erde durch. Wie beim Ausbruch des Pinatubo könnte deshalb auch absichtlich in den Himmel geschossenes Schwefeldioxid als eine Art künstlicher Sonnenschirm den Globus abkühlen [1].

Ein anderer Ansatz ist das so genannte Wolkenweißen, das die Wissenschaftler dem Rauch von Transportschiffen



Ausbruch des Pinatubo 1991

Vulkanausbrüche schleudern enorm viel A
Atmosphäre und verdunkeln den Himmel.
zeitweilig ab, bis der Schmutz wieder ausg
USGS



GEOENGINEERING

Wer bekommt die Welt in den Griff?

Direkte Eingriffe in die Atmosphäre galten lange als Sündenfall. Aber sie könnten zum letzten Mittel des Klimaschutzes werden.

VON Christoph Drösser | 04. März 2010 - 07:00 Uhr

© Frank Perry/AFP/Getty Images



Die Naturgewalt des Orkans Xynthia ließ in La-Faute-sur-Mer in Westfrankreich Straßen zu Seen werden

CE-Darstellungen

