



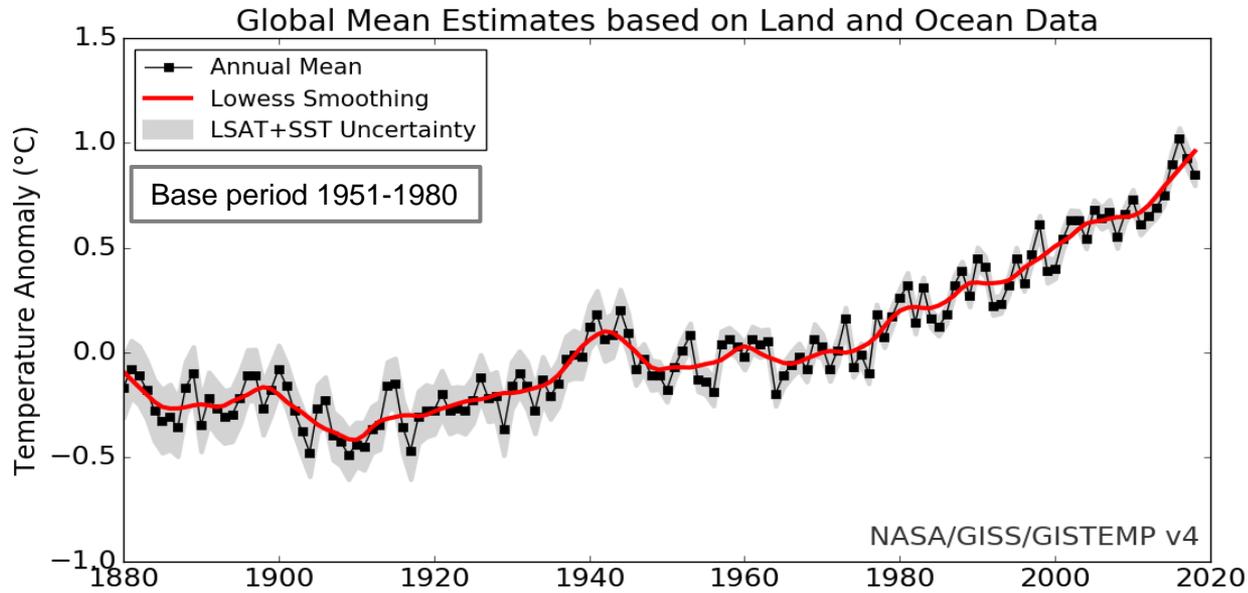
Klima Geoengineering: Mögliche Wirkungen, Nebenwirkungen und Risiken

Prof. Dr. Mark Lawrence

Geschäftsführender Wissenschaftlicher Direktor
Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS)
Institut für Transformative Nachhaltigkeitsstudien
www.iass-potsdam.de



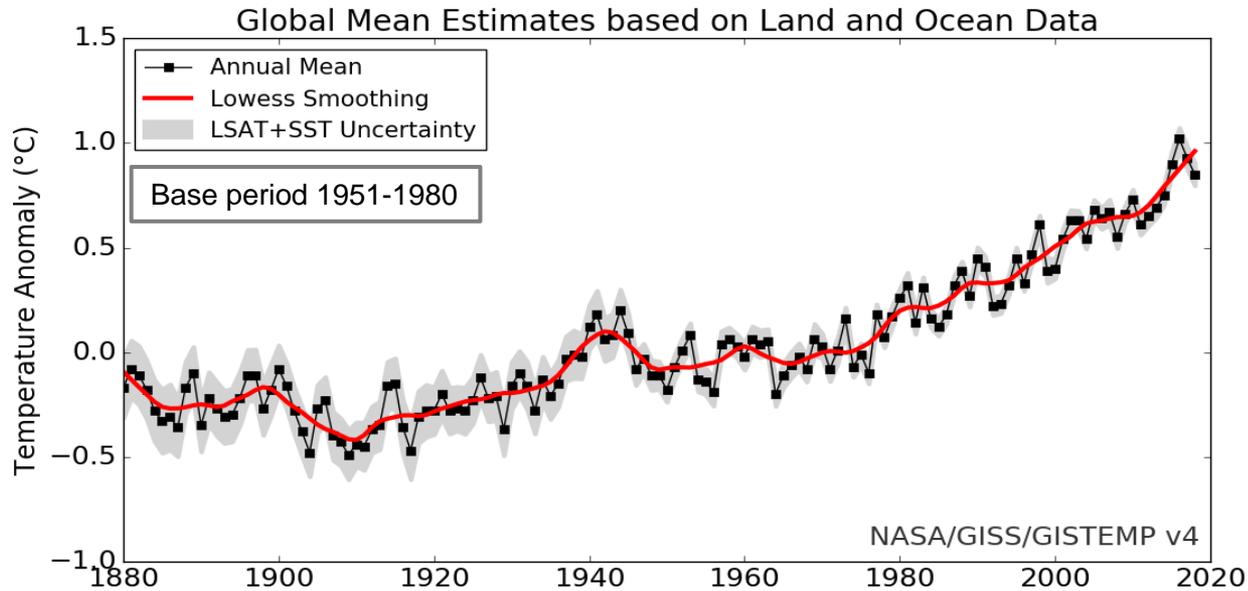
@mark_g_lawrence



IPCC (2013)



Klimawandel und Klimapolitik



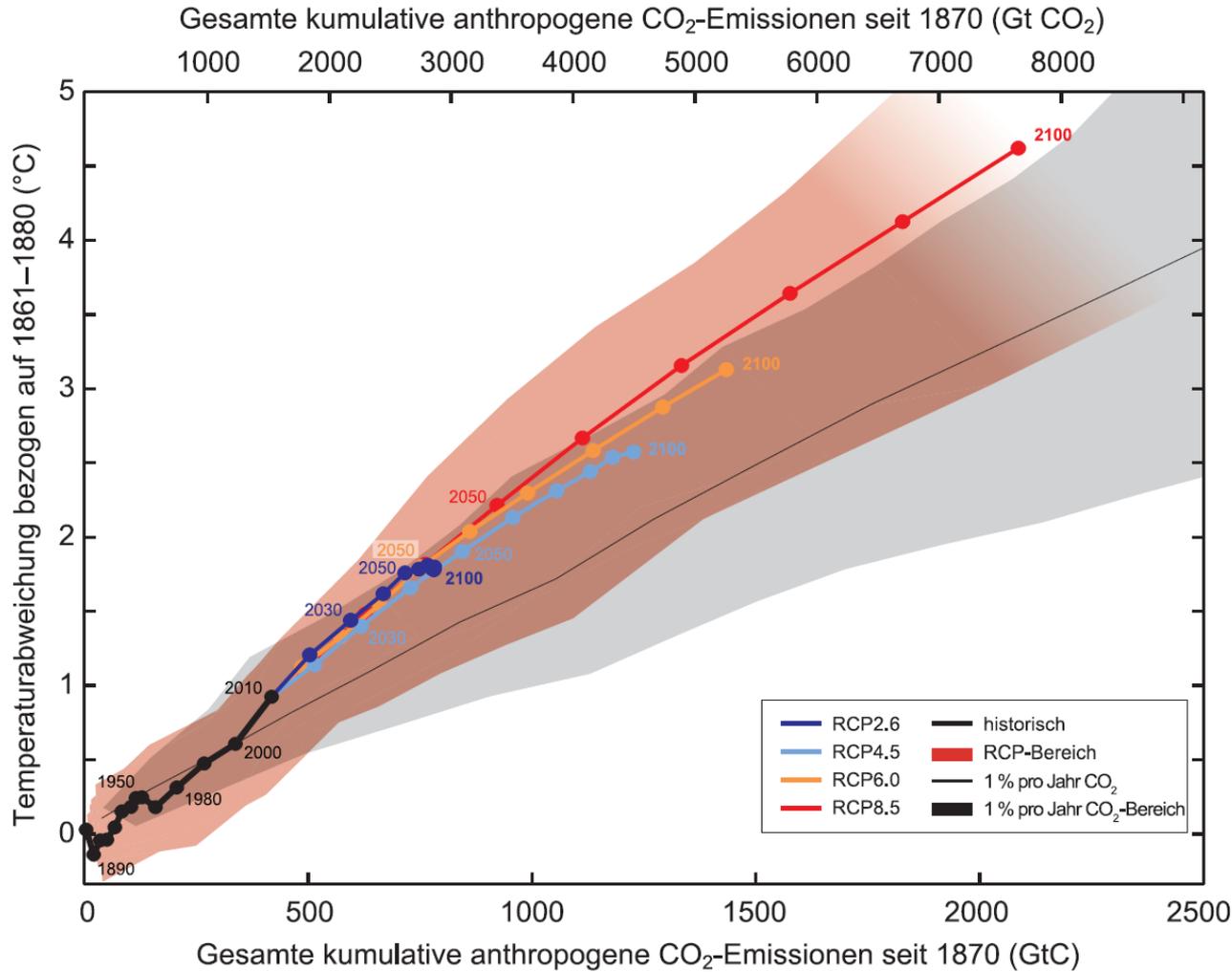
IPCC (2013)

Ziel: den globalen Temperaturanstieg "deutlich unter 2°C über dem vorindustriellen Niveau" zu halten, mit "Anstrengungen...den Temperaturanstieg auf 1,5 °C...zu begrenzen."



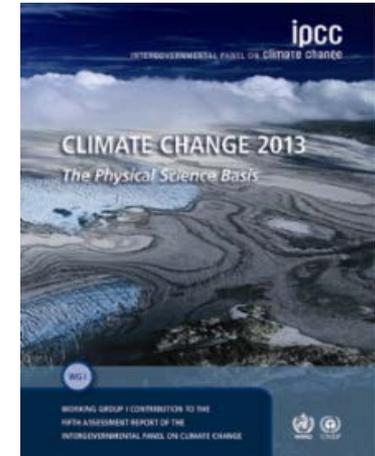
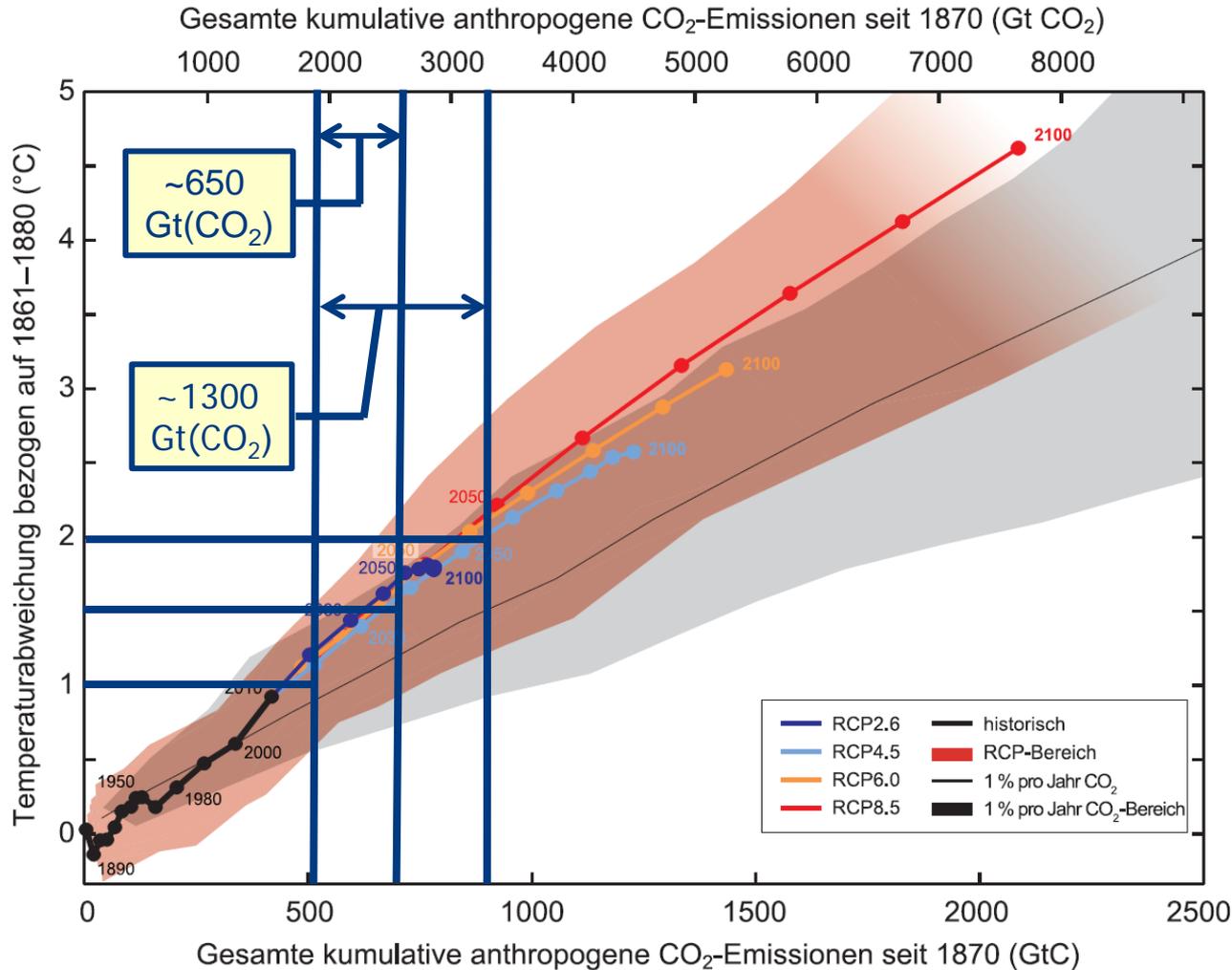
Wie?!?

Erwärmung bis Ende des Jahrhunderts: ~ Abhängigkeit von kumulativer CO₂ Emission



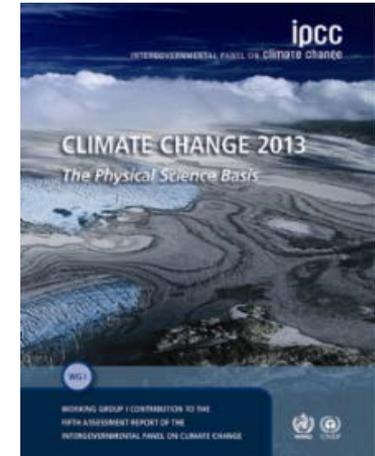
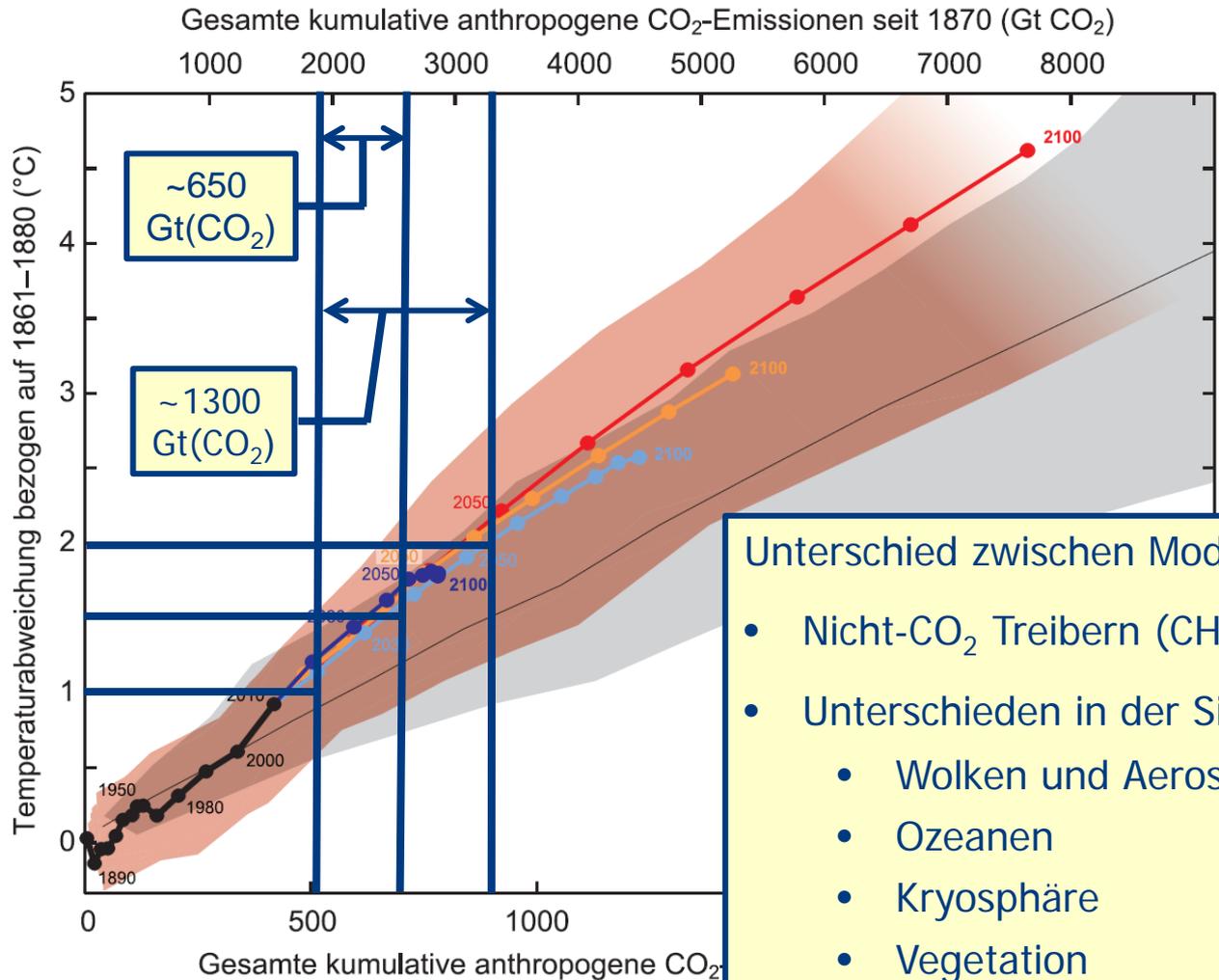
IPCC (2013)

Erwärmung bis Ende des Jahrhunderts: ~ Abhängigkeit von kumulativer CO₂ Emission



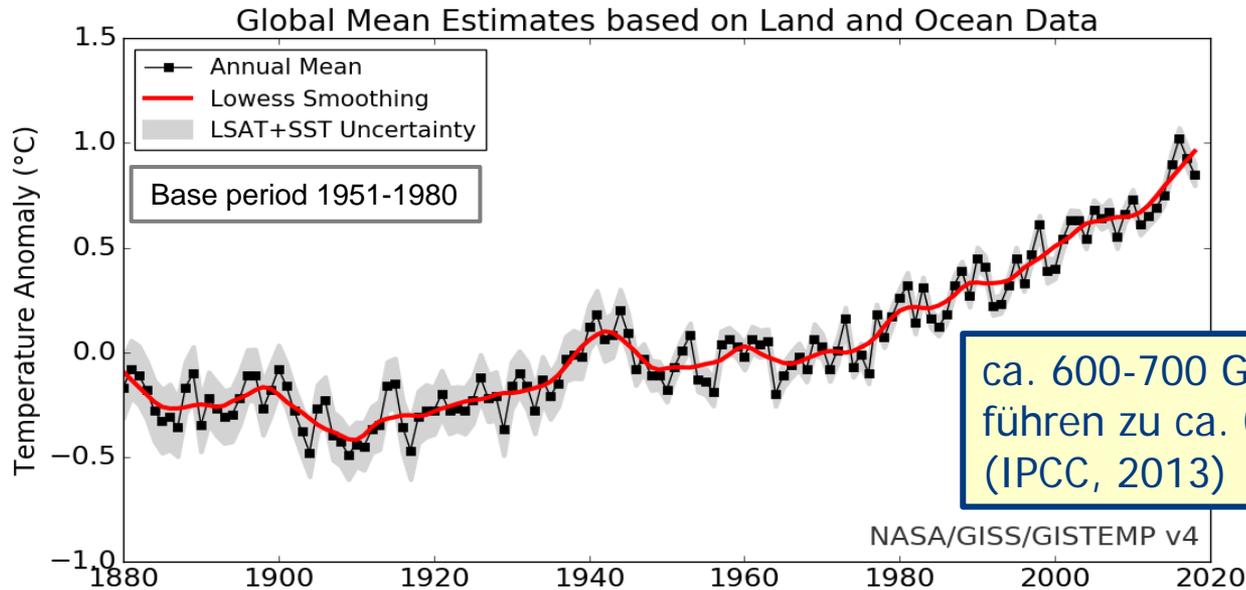
IPCC (2013)

Erwärmung bis Ende des Jahrhunderts: ~ Abhängigkeit von kumulativer CO₂ Emission



Unterschied zwischen Modellen aufgrund von (u.a.):

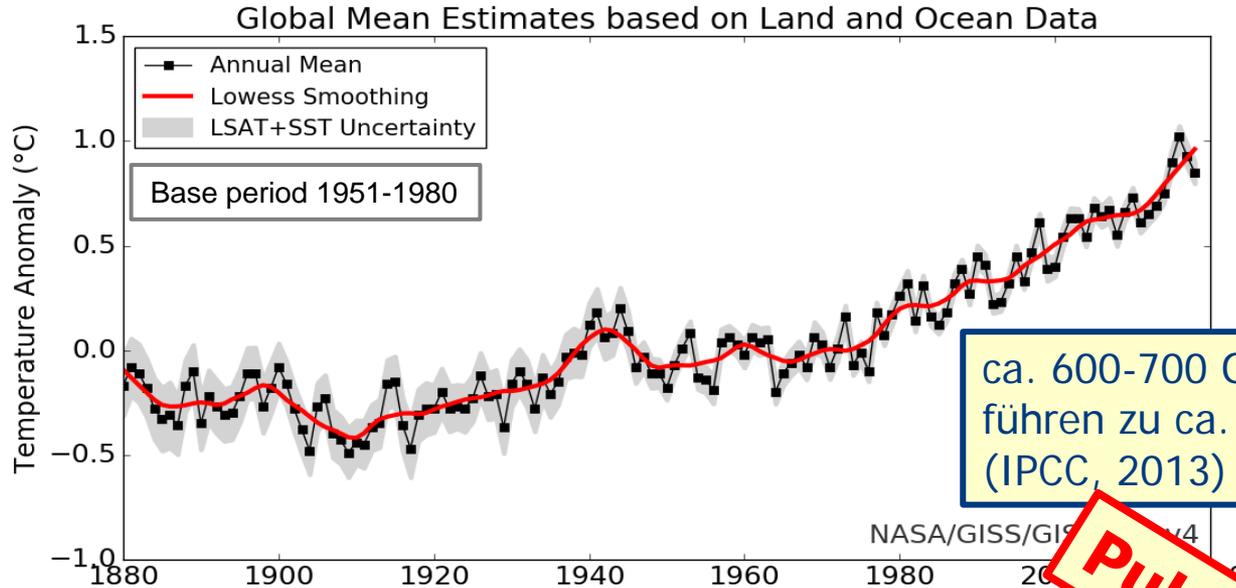
- Nicht-CO₂ Treibern (CH₄, O₃, Ruß, SO₄²⁻)
- Unterschieden in der Simulation von:
 - Wolken und Aerosolpartikeln
 - Ozeanen
 - Kryosphäre
 - Vegetation
 - usw.



ca. 600-700 Gt CO₂ Emissionen
führen zu ca. 0,5°C Erwärmung
(IPCC, 2013)

Gegenwärtige globale CO₂ Emissionen: etwas über 40 Gt(CO₂)/Jahr
Emissionen in 2030, *wenn* alle NDCs* tatsächlich erreicht werden?

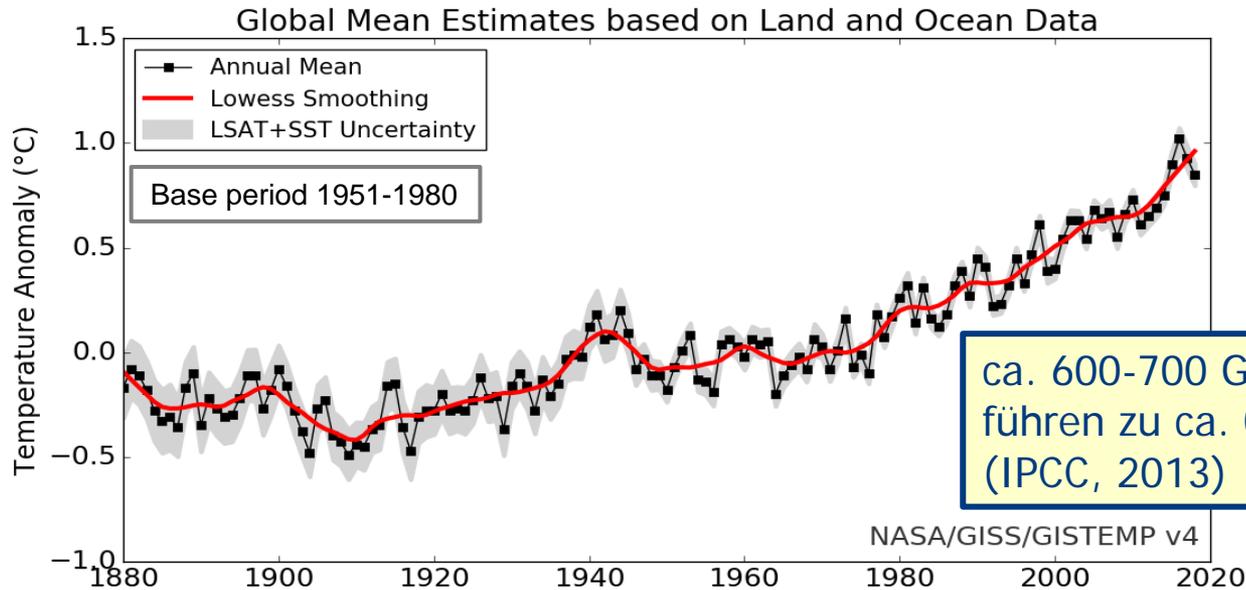
CO₂ Budget



ca. 600-700 Gt CO₂ Emissionen
führen zu ca. 0,5°C Erwärmung
(IPCC, 2013)

Publikumsabfrage!

Gegenwärtige globale CO₂ Emissionen: etwas über 40 Gt(CO₂)
Emissionen in 2030, *wenn* alle NDCs* tatsächlich erreicht werden?



Gegenwärtige globale CO₂ Emissionen: etwas über 40 Gt(CO₂)/Jahr

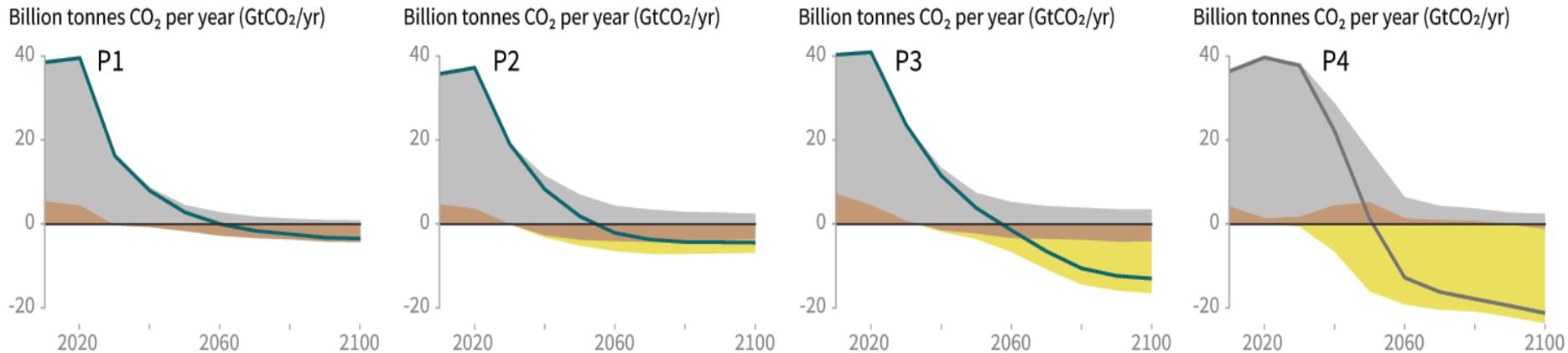
Emissionen in 2030, *wenn* alle NDCs* tatsächlich erreicht werden?
~40 – 50 Gt(CO₂)/Jahr

Ausgangspunkt: ~650 Gt(CO₂) pro 0,5°C (und ~1°C seit 2015):

- in ~15 Jahren globale Erwärmung um 1,5°C (um ~2030)
- in ~30 Jahren globale Erwärmung um 2°C (vgl. vor ~2050)

Breakdown of contributions to global net CO₂ emissions in four illustrative model pathways

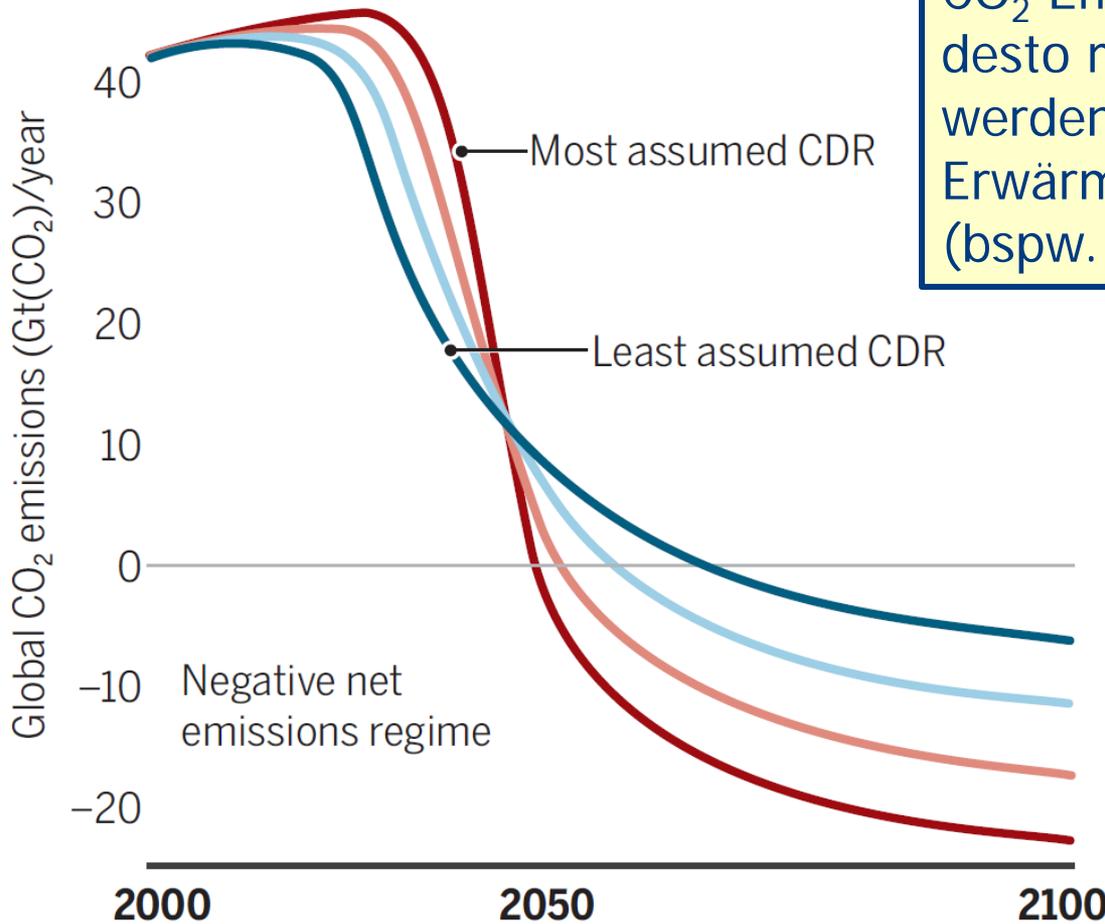
● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS



Aus dem IPCC Sonderbericht zu **1,5°C** (2018)

➔ ALLE Szenarien schließen "negative Emissionen" schon ab 2030 ein, manche in enormen Mengen schon ab 2040...

Illustrative CO₂ emissions scenarios



Je länger wir warten, um CO₂ Emissionen zu reduzieren, desto mehr CO₂ müsste entfernt werden, um die globale Erwärmung einzugrenzen (bspw. deutlich unter 2°C)!!

CLIMATE CHANGE *Promises and perils of the Paris Agreement* A truly democratic global climate politics is needed

By Mark G. Lawrence^{1*} and Stefan Schäfer^{2,3,4*}

In recent decades, climate change has increasingly been framed as a problem of the global mean temperature. This is reflected in the 2015 Paris Agreement's goal to keep the global mean surface temperature well below 2°C above the pre-industrial mean and, if possible, to limit the increase to 1.5°C. However, as temperatures continue to rise, these goals are quickly becoming less plausible. Climate science, politics, and activism thus stand to lose a familiar framing device. At the same time, the Paris Agreement has moved climate politics away from a decade-long commitment to centrally negotiated, legally binding emission reduction targets by introducing a democratic innovation: Under the Paris Agreement, member states decide individually, in the form of nationally determined contributions (NDCs), what actions they will commit to taking toward the common goal of climate risk reduction. This institutional innovation offers a much-needed source of democratic renewal for global climate politics.

An important component of the global mean temperature framing is the concept of emission budgets, which is based on the finding that the anticipated increase in global mean surface temperature is roughly proportional to the cumulative CO₂ emissions since pre-industrial times (1). According to climate model calculations (2), to have even a 50% probability of staying under 1.5°C global net CO₂ emissions would have to decrease by ~5% per year, starting now; this is in stark contrast to the average global increase of nearly 2% per year over the past several decades. Keeping global warming below 2°C would require a reduction of CO₂ emissions by ~3% per year (1,3).

Such a rapid decrease of CO₂ emissions would require extensive societal, industrial, technological, and other transformations. Yet such global transformations are not collectively reflected in the current NDCs. To date, 185 countries have signed the agree-

ment, and 183 have submitted NDCs. Even if all these countries were to fulfil their NDCs, global CO₂ emissions would stay about the same or even increase slightly until at least 2030 (4, 5). This means that the cumulative emissions budget consistent with 1.5°C global warming is likely to be exhausted by about 2030. With an uncertainty of about ±10 years, the budget could already be exhausted now, or at best we may have until about 2040 (6). This situation is made even more acute by the possibility that some countries will not meet their NDCs and that others such as the United States may end up pulling out altogether.

As greenhouse gas emissions and global temperatures continue to rise, scenario models, which scientifically underwrite

tion and bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) (2, 7). Although it is possible to reduce or even eliminate the reliance on CDR in scenarios, this requires assuming even more extensive global transformations than are already assumed in combination with CDR, including low-meat diets, less CO₂-intensive transport, and less intensive use of heating, cooling, and domestic appliances (8, 9). The less extensive and less rapid these assumed transformations are, the more modelers must involve CDR to meet ambitious temperature goals, resulting in net negative CO₂ emissions later in the century (see the figure).

Several proposed CDR techniques may eventually be capable of removing several hundred gigatons of CO₂ by the end of this



Achieving ambitious global temperature goals appears increasingly implausible, but the Paris Agreement, agreed in 2015, nevertheless offers hope by promising a more democratic climate politics.

confidence in the achievability of the Paris temperature goals, must rely on increasingly unrealistic assumptions about the future transformations that would be needed. This includes a problematic reliance on future technologies that are either hypothetical or would need to be implemented at unprecedented scales. Such technologies include renewable energies, new mobility structures, and laboratory-based agriculture. They also include proposed techniques (see the figure) to remove CO₂ from the atmosphere at climate-relevant scales, known as carbon dioxide removal (CDR) or negative emissions technologies. CDR is now a standard aspect of calculations of how to keep global mean temperature rise in check and is nearly ubiquitously included in scenario models, normally through an assumed combination of massive affor-

estment (3, 10, 11). However, investigating, testing, and developing any of the techniques up to a climate-relevant scale would take decades, and large-scale use might not even be feasible because of scientific, technical, and societal constraints (3, 22). Furthermore, although the introduction of CDR into the overall energy system might eventually help drive energy prices down and accelerate the transition to renewables, this is projected to not occur until later in the century (13).

Thus, CDR cannot be relied on to contribute substantially to limiting global warming over the next several decades, which is the timescale relevant for achieving the Paris Agreement temperature goals. Some scenarios compensate for longer timescales until net negative emissions become possible by allowing for an "overshoot" of CO₂ and associated global mean temperature that is

¹Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), Potsdam, Germany; ²Institute for Environmental Science and Geography, University of Potsdam, Potsdam, Germany; ³Program in Science, Technology and Society, Harvard University, Cambridge, MA, USA; ⁴Institute for Science, Innovation and Society (ISIS), University of Oxford, Oxford, UK. Correspondence: lawrence@iass.potsdam.de; stefan.schaefer@iass.potsdam.de

Wie?!?

REVIEW ARTICLE

DOI: 10.1038/s41467-018-05938-3

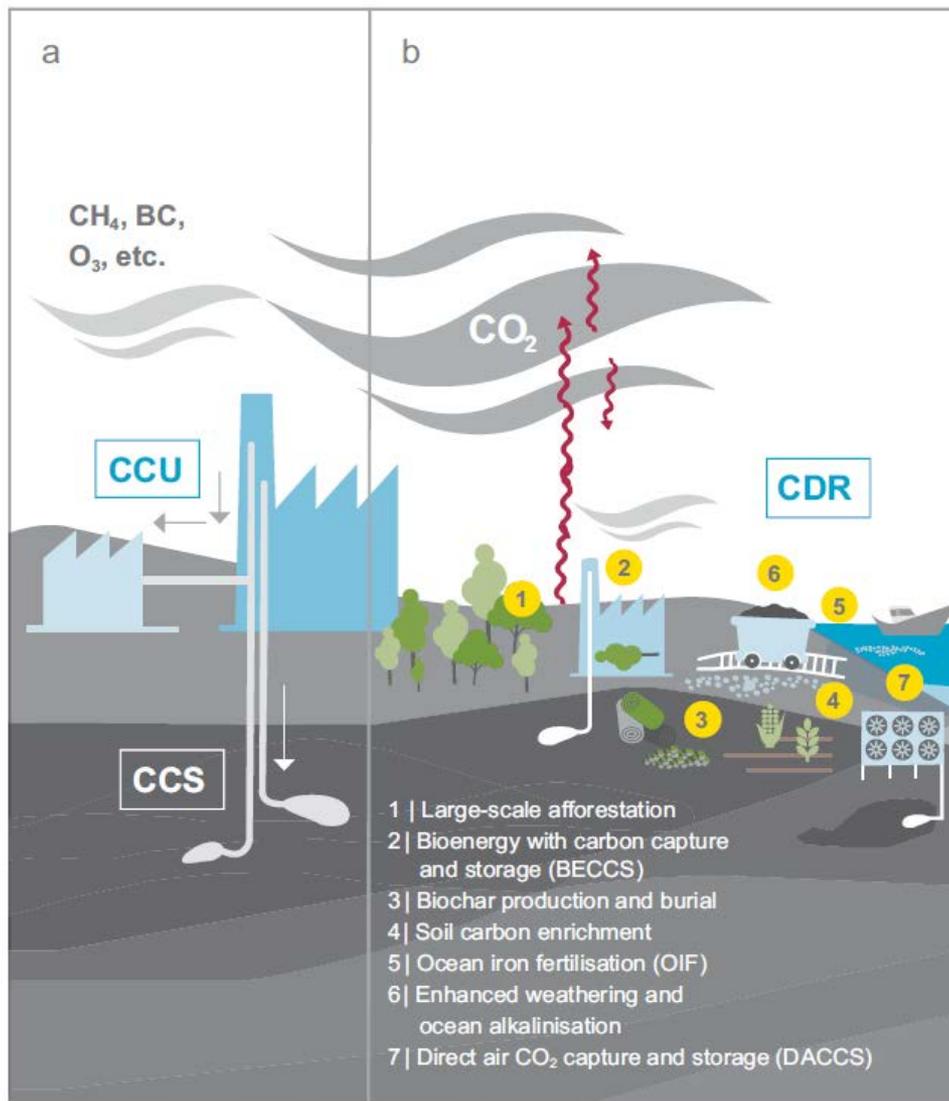
OPEN

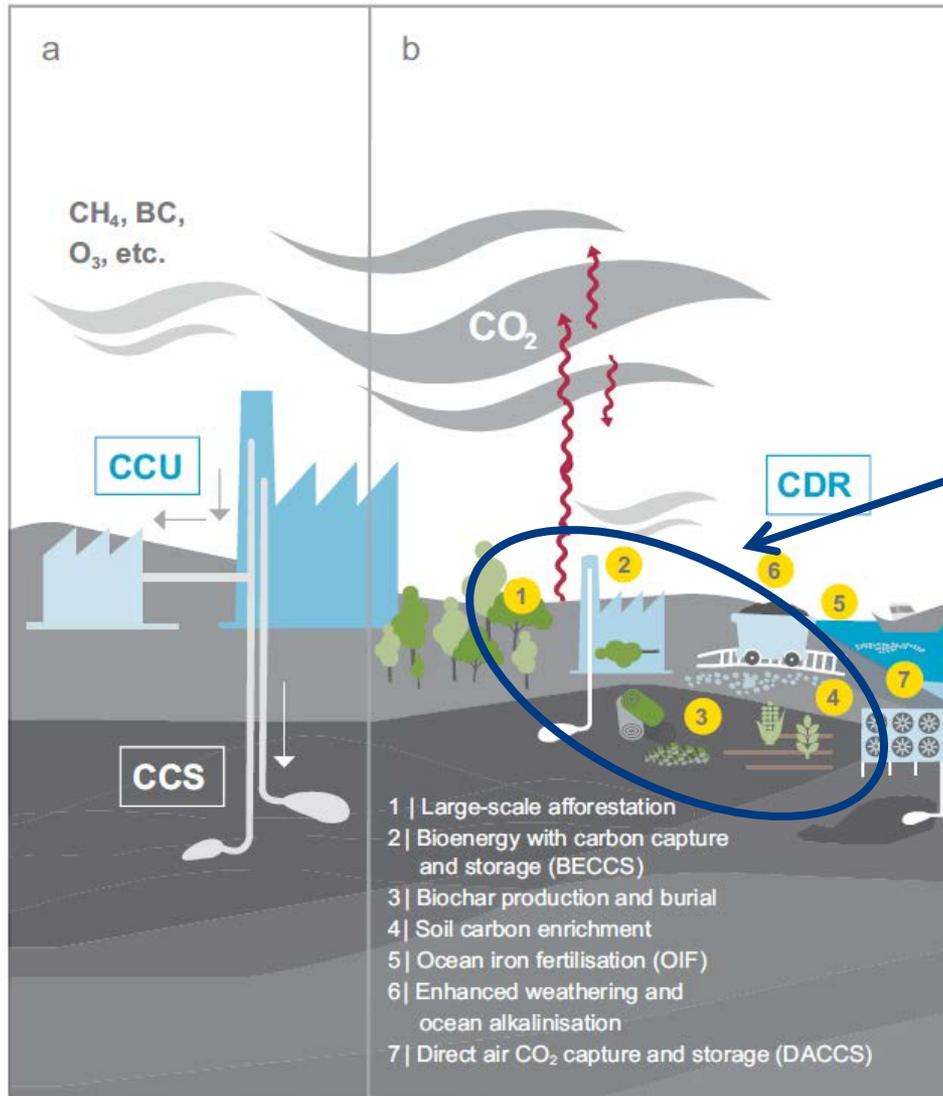
Evaluating climate geoengineering proposals in the context of the Paris Agreement temperature goals

Mark G. Lawrence ^{1,2}, Stefan Schäfer ^{1,3}, Helene Muri ^{4,5}, Vivian Scott ⁶,
Andreas Oschlies ⁷, Naomi E. Vaughan ⁸, Olivier Boucher ⁹,
Hauke Schmidt ¹⁰, Jim Haywood ^{11,12} & Jürgen Scheffran ¹³

Current mitigation efforts and existing future commitments are inadequate to accomplish the Paris Agreement temperature goals. In light of this, research and debate are intensifying on the possibilities of additionally employing proposed climate geoengineering technologies, either through atmospheric carbon dioxide removal or farther-reaching interventions altering the Earth's radiative energy budget. Although research indicates that several techniques may eventually have the physical potential to contribute to limiting climate change, all are in early stages of development, involve substantial uncertainties and risks, and raise ethical and governance dilemmas. Based on present knowledge, climate geoengineering techniques cannot be relied on to significantly contribute to meeting the Paris Agreement temperature goals.

Ideen zur Entfernung von Kohlendioxid (CDR)



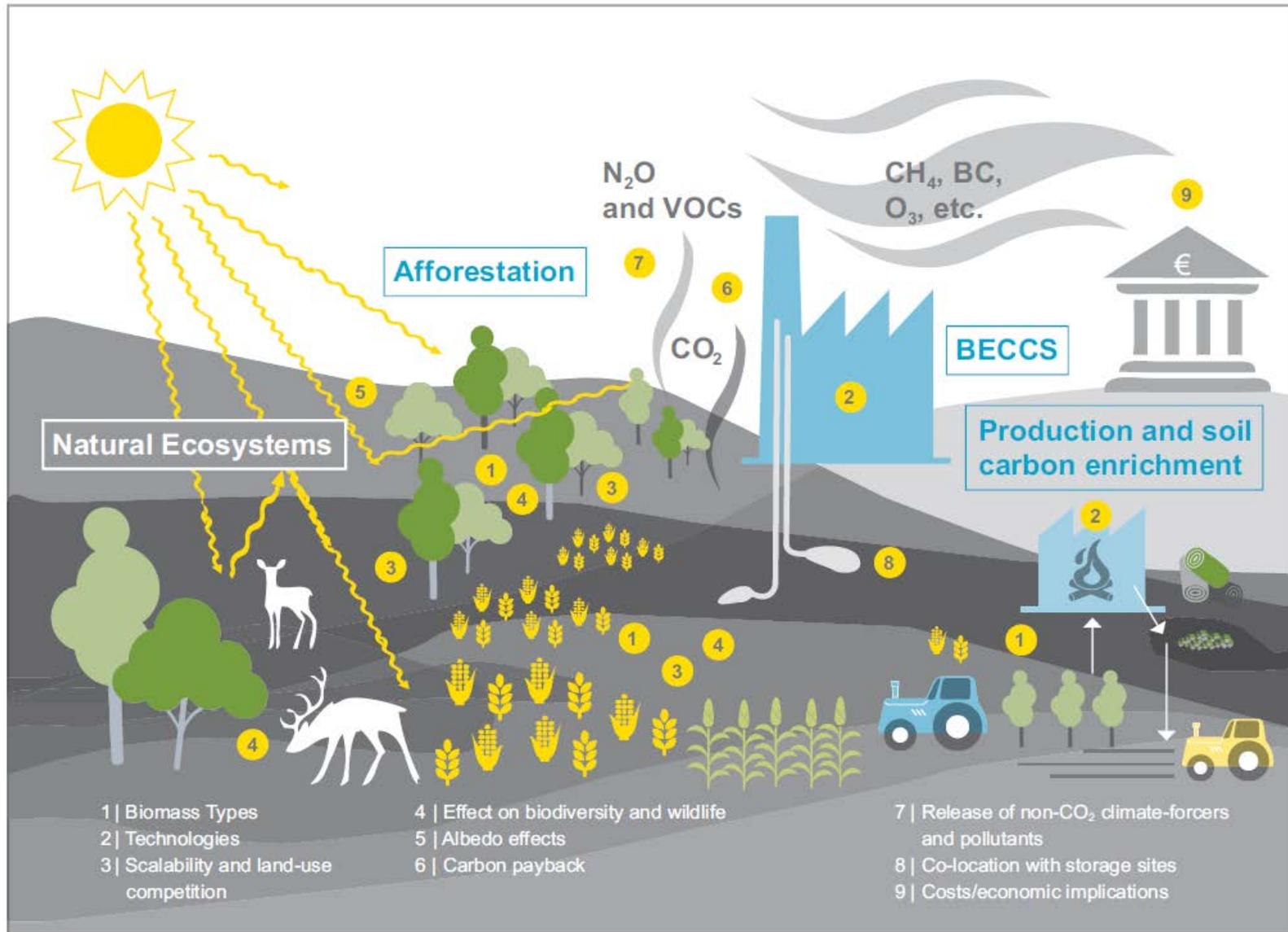


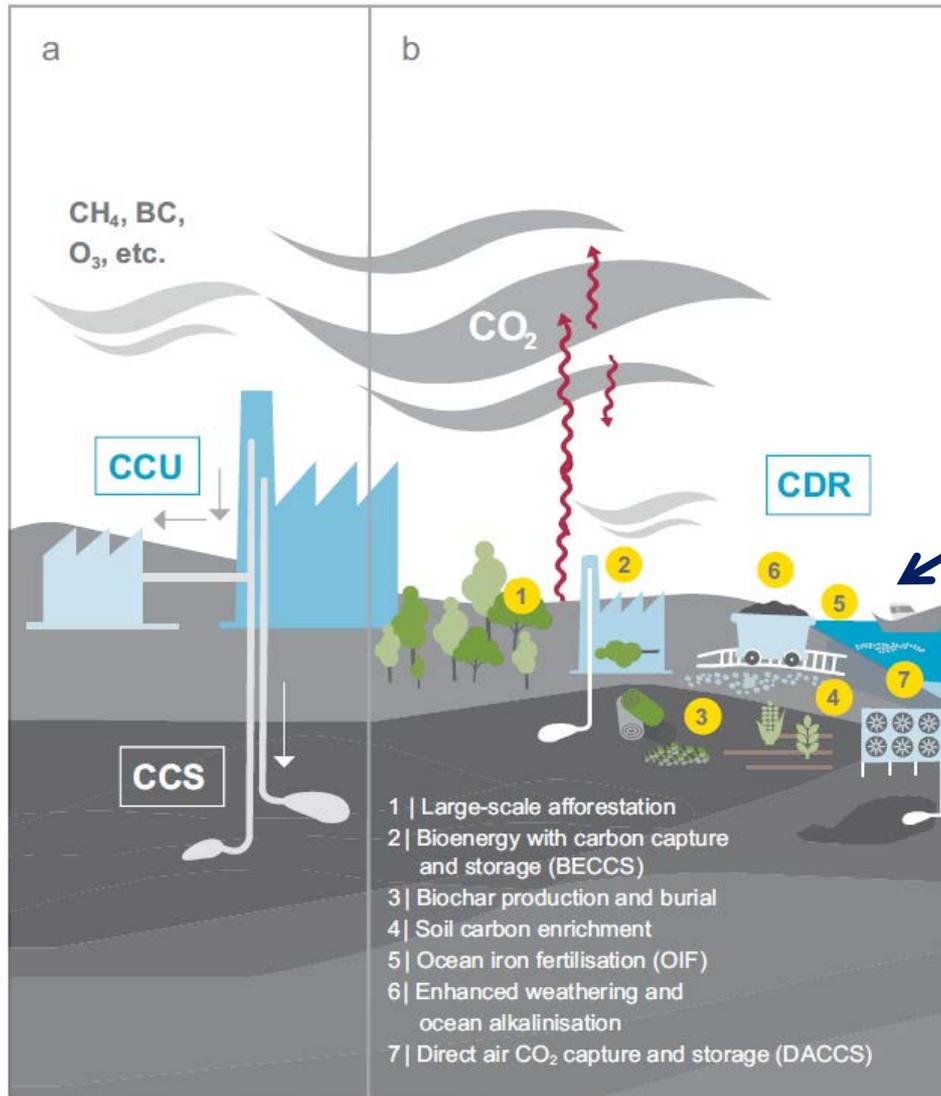
Verfahren mit terrestrischer Biomasse:

Potential zur CO₂ Entfernung
(bis 2100, basierend auf aktueller Literatur)

- (1) Großflächige (Wieder-) Aufforstung:
~ 100 – 500 Gt(CO₂)
- (2) BECCS: Bioenergie mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung:
~ 600 – 700 Gt(CO₂)
- (3) Biokohle Produktion und Vergrabung:
~ 200 Gt(CO₂)
- (4) Erdanreicherung mit Kohlenstoff:
~ 200 Gt(CO₂)

Verfahren mit terrestrischer Biomasse: Herausforderungen

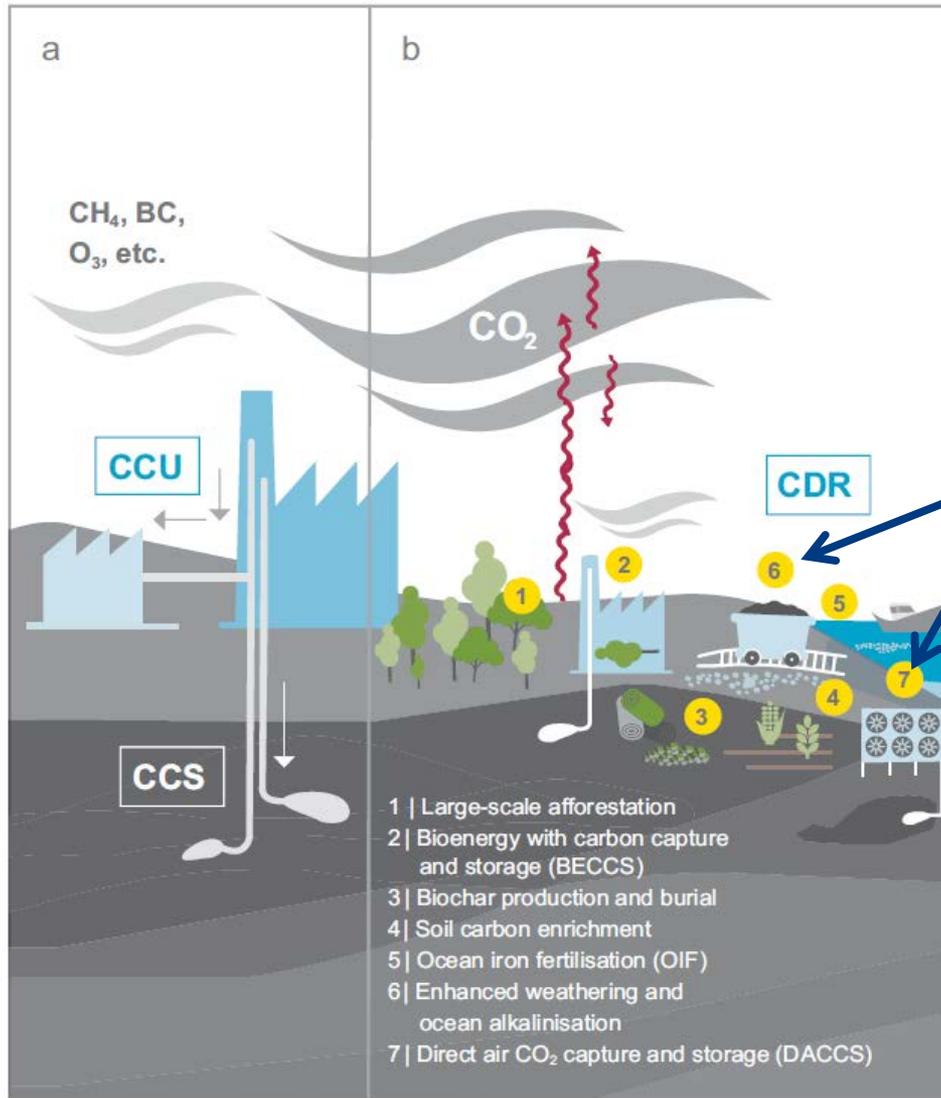




Maritime Eisendüngung

Potential zur CO₂ Entfernung:
< 400 Gt(CO₂)

- Mehrere Studien seit 1990
- Hauptprobleme:
 - Störung der Meeresbiologie
 - Atmosphärische Nebenwirkungen (z.B. N₂O Produktion)
- Governance-Ansätze am weitesten entwickelt
- Beitrag sehr unwahrscheinlich im Rahmen des Pariser Abkommens



Abiotische (chemische) Verfahren

Potential zur CO₂ Entfernung:
> 1000 Gt(CO₂)

Herausforderungen:

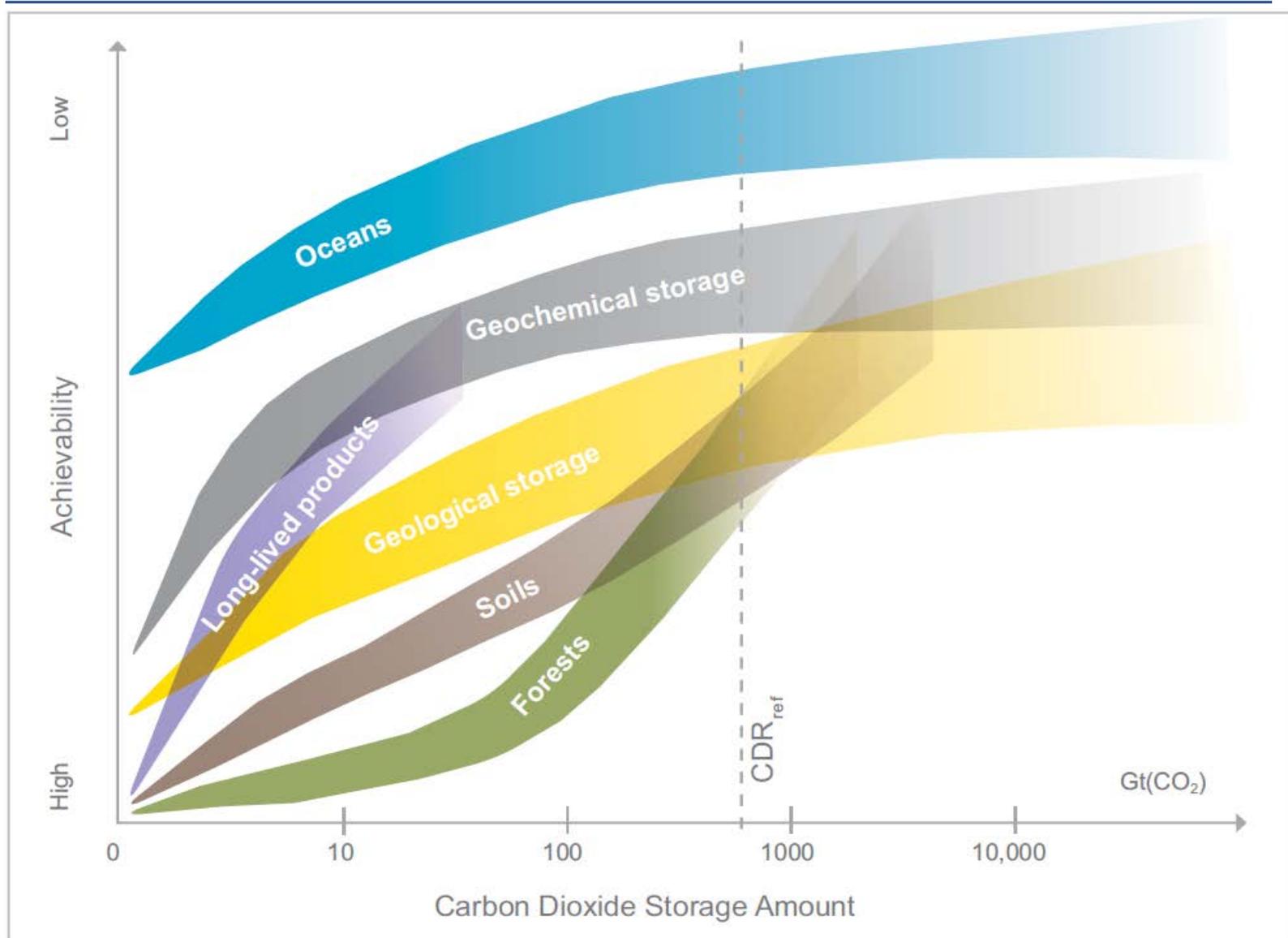
(6) Erhöhte Verwitterung und Alkalisierung der Ozeane

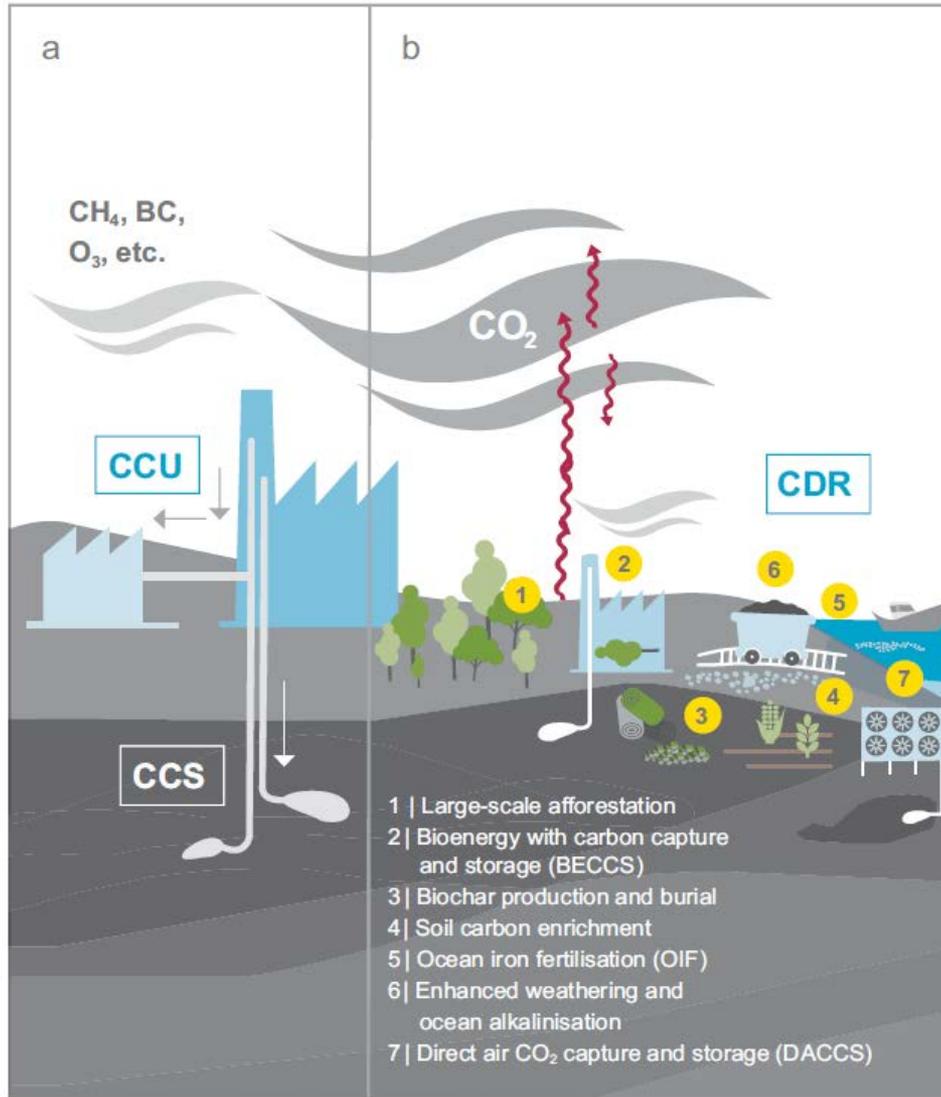
- Ressourcenbedarf (vergleichbar mit derzeitigem Bergbau)
- Sichere Entsorgung / Lagerung der verwitterten Produkte
- Auswirkungen auf den terrestrischen und maritimen Lebensraum

(7) Kohlenstoffbindung und -speicherung aus der Atmosphäre (DACCS)

- Technologische Entwicklung (Effizienz)
- Energie- und CO₂-Transportbedarf
- Wirtschaftlich unterlegen gegenüber CCS oder CCU von Punktquellen

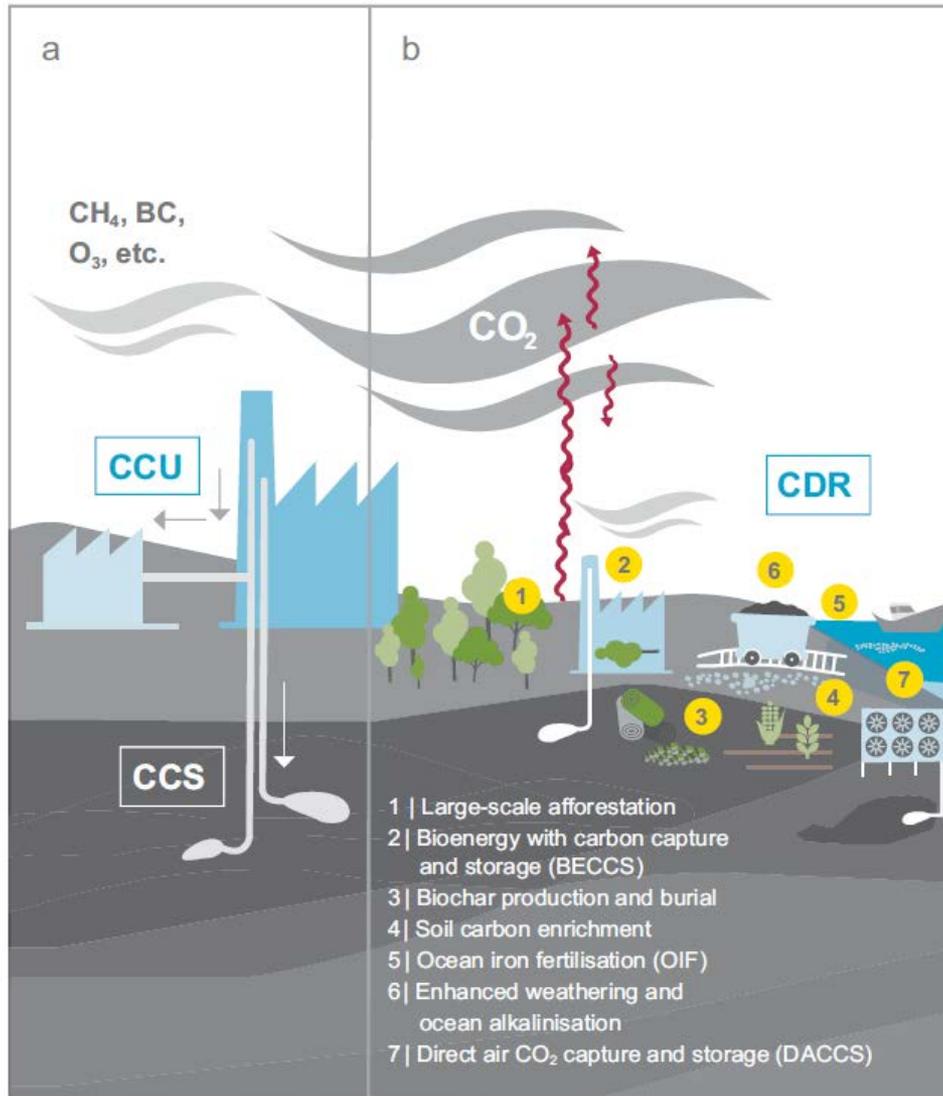
CDR Gesamtspeicherkapazitäten





CDR Hauptbefunde:

- Einige vorgeschlagene Techniken könnten bis 2100 mehrere hundert Gt(CO₂) entfernen, aber...
- umfangreiche Infrastruktur- und Energieanforderungen
- teuer (voraussichtlich ca. \$100/ton CO₂)
- erhebliche Unsicherheiten und Nebenwirkungen (ökologisch sowie sozial)
- Klimarelevante CO₂ Reduktion wahrscheinlich erst nach ~2050



**Dies führt natürlich
zur Frage:
Können wir nicht etwas
anderes tun?**

**... Gibt es nicht
irgendeine
"schnelle Lösung"???**

Gibt es nicht irgendeine "schnelle Lösungen"???



Wikimedia Commons



Wikimedia Commons



Pixabay Jacqueline macou



Wikimedia Commons



iStockphoto



Wikimedia Commons
midnightcomm

NEUE DIÄTPILLEN
Präparate & Kombinationen für beschleunigten Fettabbau

- Schneller Diätterfolg
- Fettabbau ohne Muskelverlust
- verminderter Appetit
- erhöhte Stoffwechselrate
- Mehr Energie für Sport und Beruf
- Dosierungen, Neben- & Wechselwirkungen
- Präparate & Preise

Klaus Arndt



SCHLANK IM SCHLAF

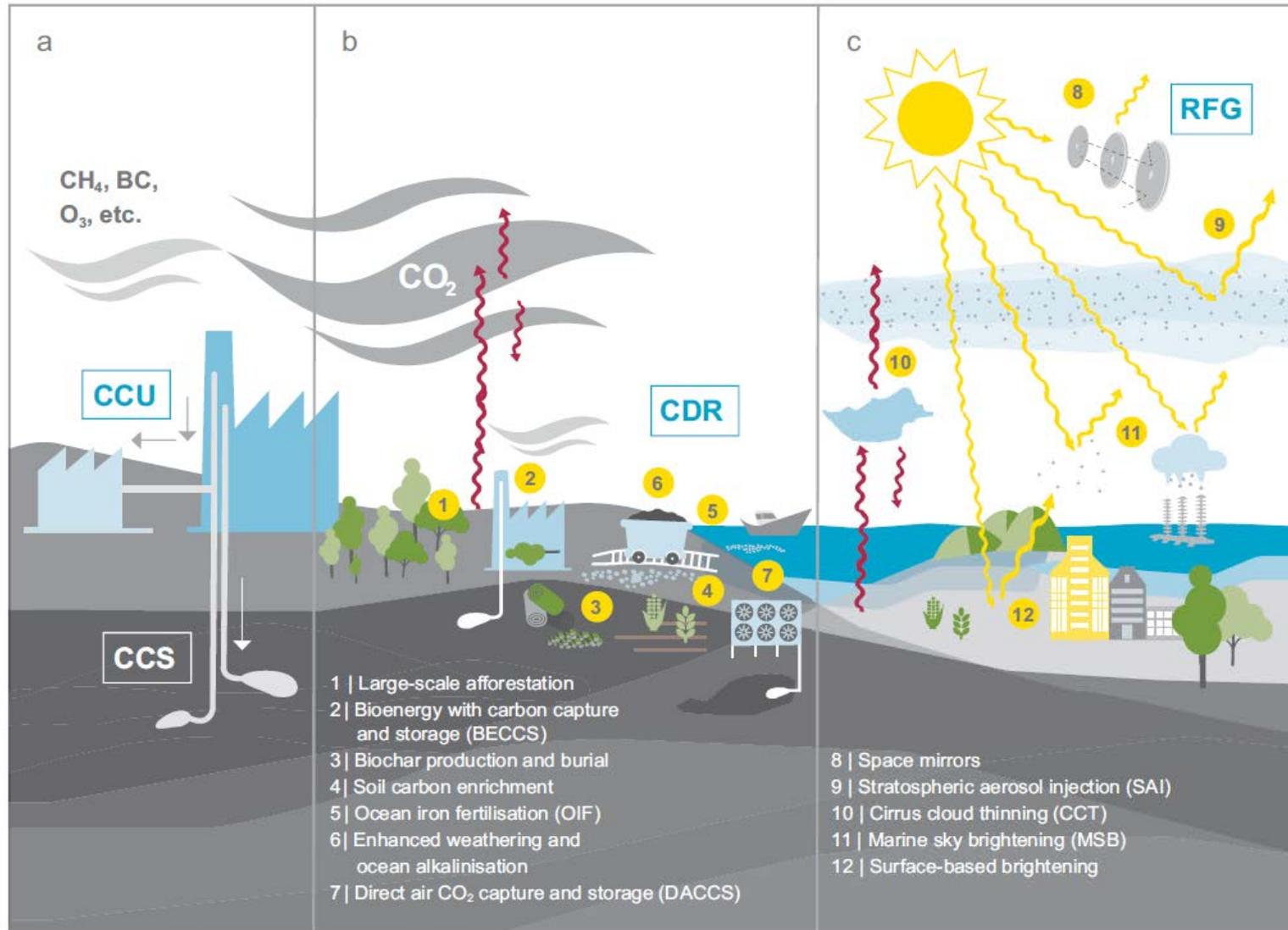
Pixabay\Clker-Free-Vector-Images



Pixabay/skeeze

Wikimedia Commons



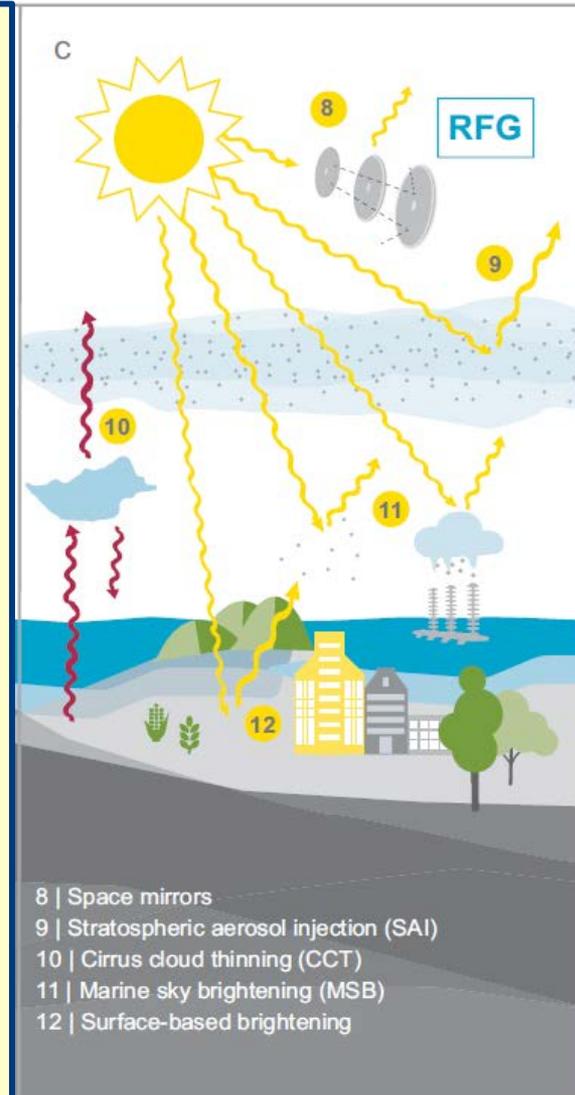


Aktueller Wissensstand:

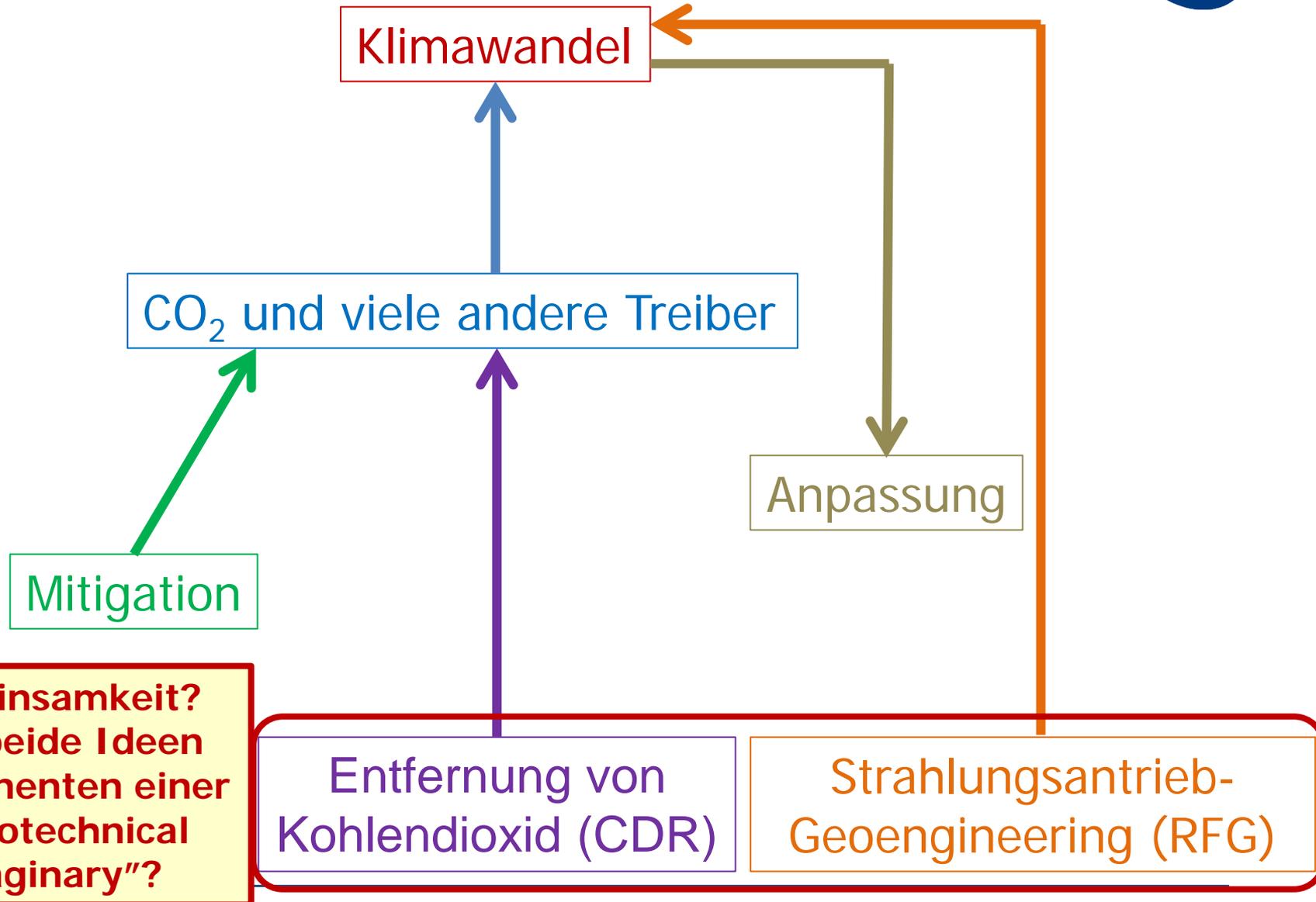
- Einige Techniken *könnten* den Planeten schnell abkühlen
- Möglicherweise geringe Kosten (< 100 Mrd €/Jahr)

aber....:

- Viele Unsicherheiten: Technologie, Effektivität, Nebenwirkungen
 - Unterschiedliche regionale Auswirkungen auf Temperatur und Niederschlag erwartet
 - Ablenkung von anderen Auswirkungen durch erhöhtes CO₂ (z.B. Versauerung der Meere)
 - Zahlreiche ethische Bedenken, schwierige Governance
- ➔ wesentlicher Beitrag – wenn überhaupt – erst nach 2050 wahrscheinlich, d.h. zu spät, um zur *Einhaltung* des 2°C Ziels wesentlich beizutragen (...nur ggf. nach einem "Überschießen")



→ Häufig zusammengefasst als
"Klima-(Geo-)Engineering" oder "Geoengineering"



Ist das alles „Techno-Optimismus“???

Oder eine „beruhigende Lüge“ ???

**Wissenschaft
gegenüber
alternativen Fakten!**

**Nutzungsrechte für Bild sind in
Bearbeitung**

Welche Rolle haben Wissenschaftler*innen?

- Bereitstellung von *Informationen* über *Wirkungen* und *Nebenwirkungen* (analog: Medizin)
- Tiefe Sorge um:
 - verfrühte, hochriskante Implementierung
 - “Moral Hazard” bzw. “Mitigation Deterrence”, “Slippery Slope”, usw.
- Viele schwierige Fragen: Technologie, Auswirkungen, Nebenwirkungen, Wahrnehmung, Ethik, Governance ...
- Notwendigkeit von Kooperationen (IASS Ansatz):
Verschiedene wissenschaftliche Disziplinen (Klimawissenschaft + Politikwissenschaft + Umweltpsychologie + Ethik + Recht + ...) zusammen mit Politikern, Umweltaktivisten, Industrievertretern und anderen wichtigen Akteuren



- Wie gut würden die verschiedenen Techniken unter Realbedingungen auf klimarelevanten Skalen funktionieren?
- Dürfen wir eine „Lieblingsumwelt“ kreieren? Wenn ja, dann auf welcher Skala? Und inwieweit dürfen Andere beeinflusst werden?
- Dürfen wir – oder sollen wir – und was passiert wenn wir es...
 - ...diskutieren?
 - ...erforschen?
 - ...ausprobieren?
 - ...als „Notplan“ einsetzen wollen?
 - ...als unvermeidbare Zukunft erwarten?
- Wer darf entscheiden? ...auf welcher Informationsbasis?
- Wer könnte das national/global regulieren? („Wer kontrolliert das Thermostat“?!)

CO₂ Bilanz:

- Wir haben nicht viel Zeit ...und die notwendigen Veränderungen wären riesig

CO₂ Entfernung:

- Potential mehrere Hundert Gt(CO₂) bis 2100 zu entfernen, aber...
- Kostenintensiv, extensiver Infrastruktur- und Energiebedarf
- Lange Zeiträume, erhebliche Unsicherheiten und mögliche Nebenwirkungen
- Klimarelevanter Einsatz vor ca. 2050 sehr unwahrscheinlich

Strahlungsantrieb-Geoengineering:

- *Könnte* den Planeten möglicherweise schnell und günstig abkühlen, aber...
- Große Unsicherheiten: Technologie, Effektivität, Nebenwirkungen
- Große Herausforderungen bzgl. Ethik und Governance



Comfreak/Pixabay