

Mit gutem Gewissen fliegen?

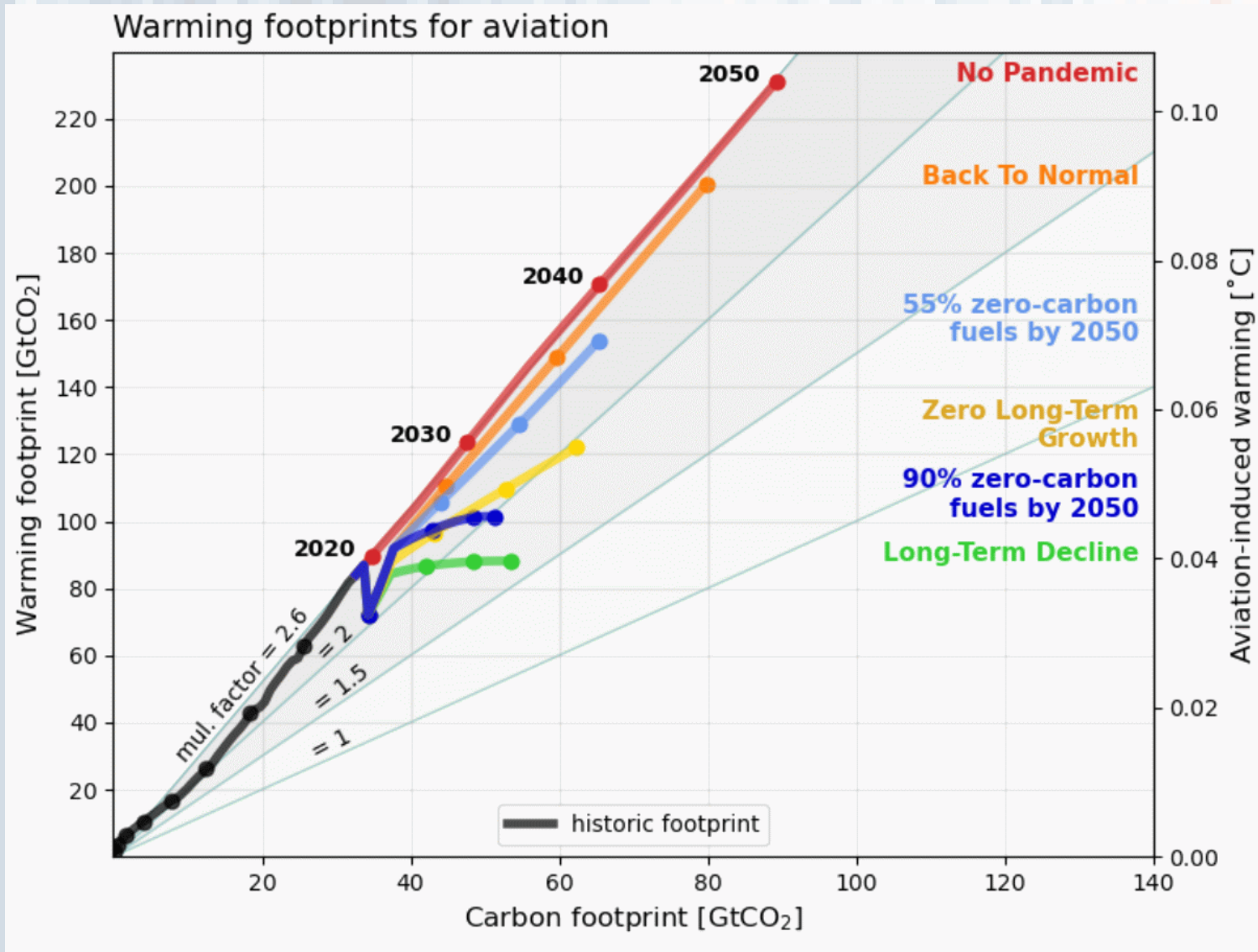
PD Dr. Volker Ossenkopf-Okada

Scientists for Future – Regionalgruppe Köln-Bonn



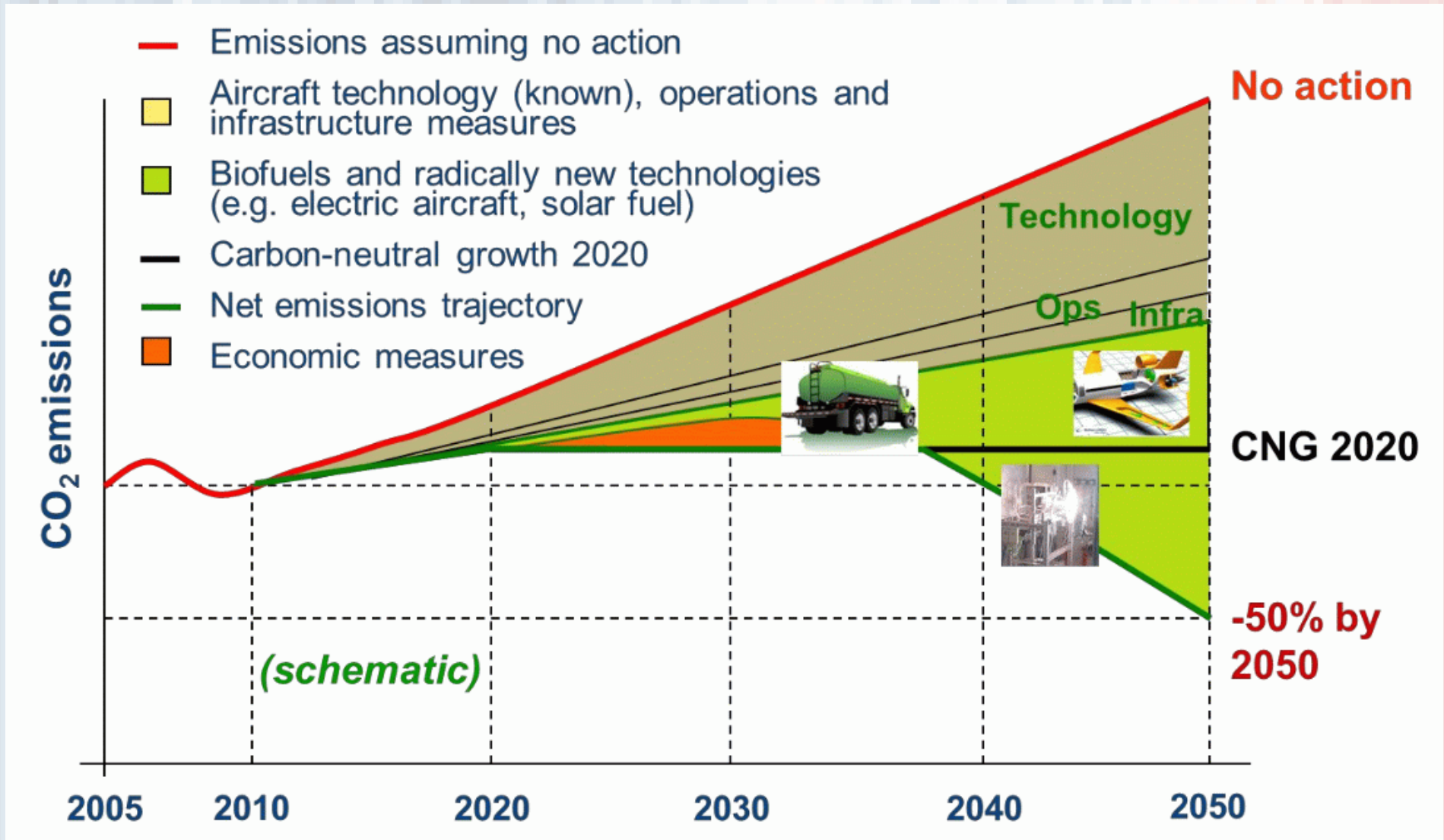
Fotos: Agnes Kreil /ETH

Klimawirkung



- Projektion bis 2050: Klöwer et al. (2021)

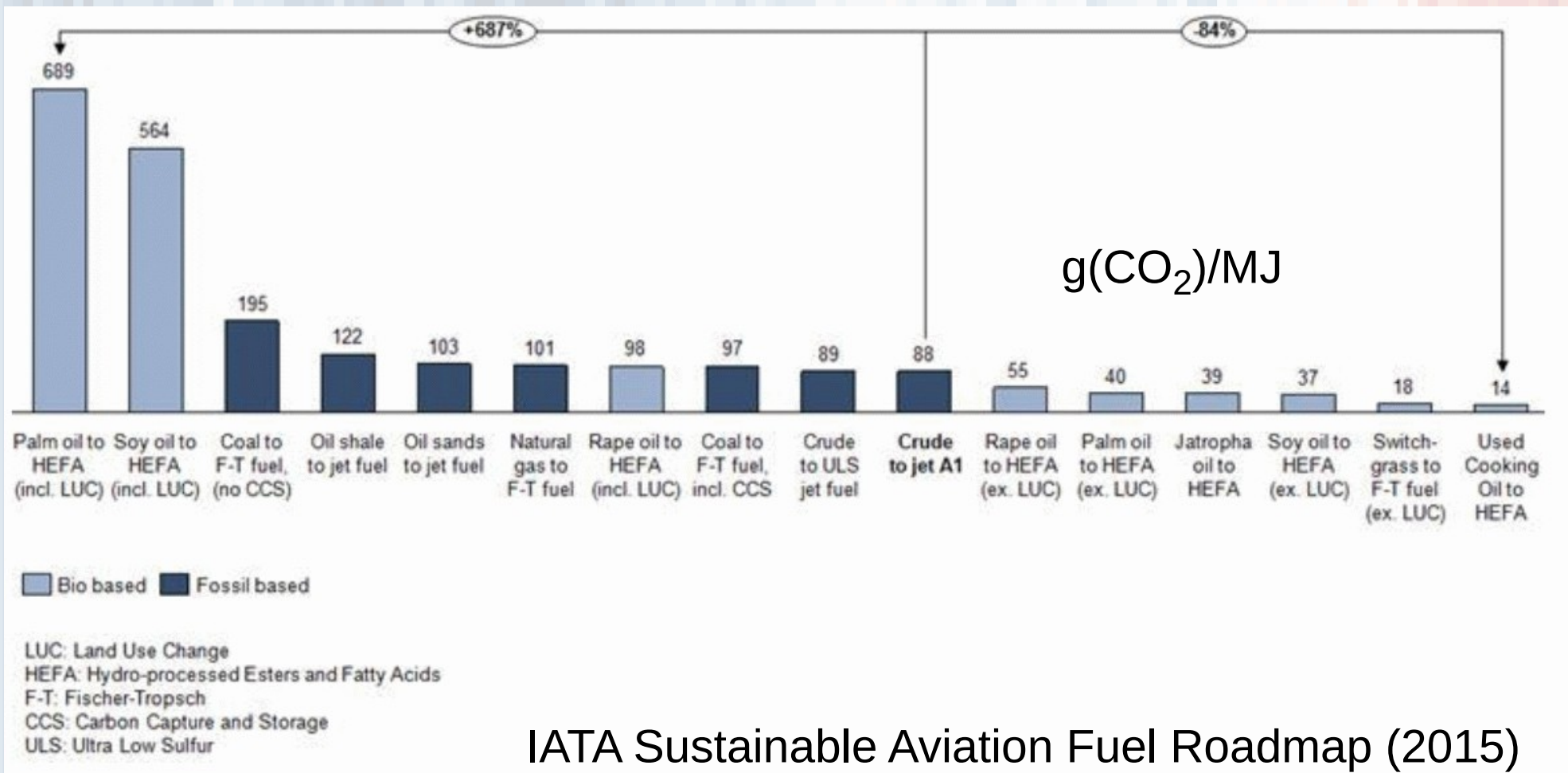
IATA-Pläne



- Halbierung bis 2050, Unrealistische Annahmen

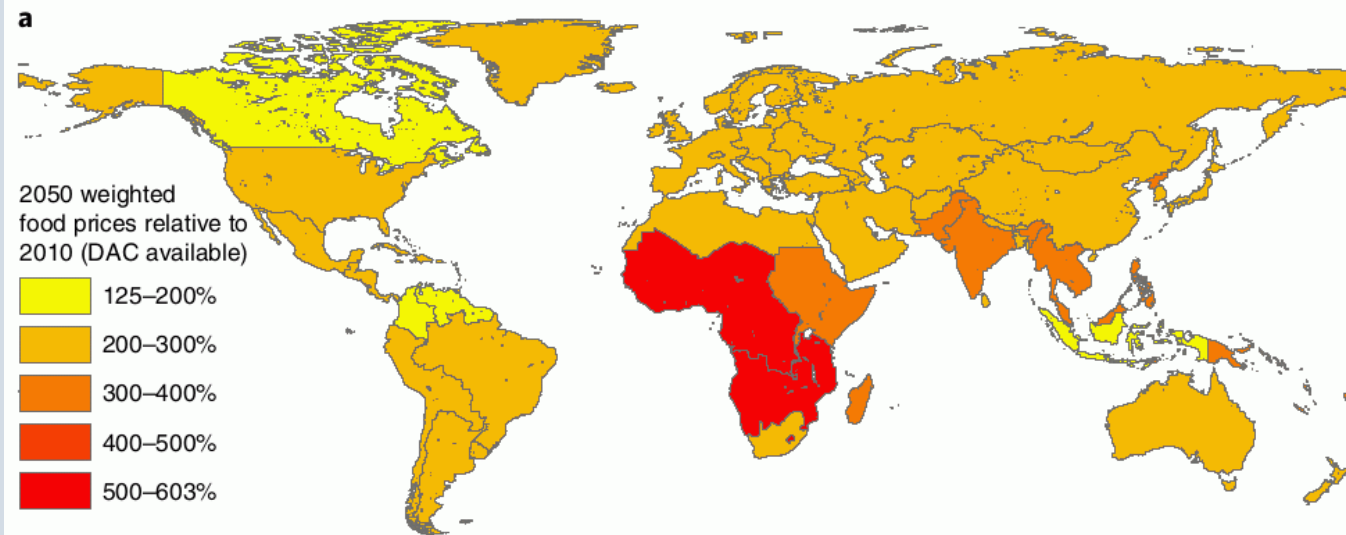
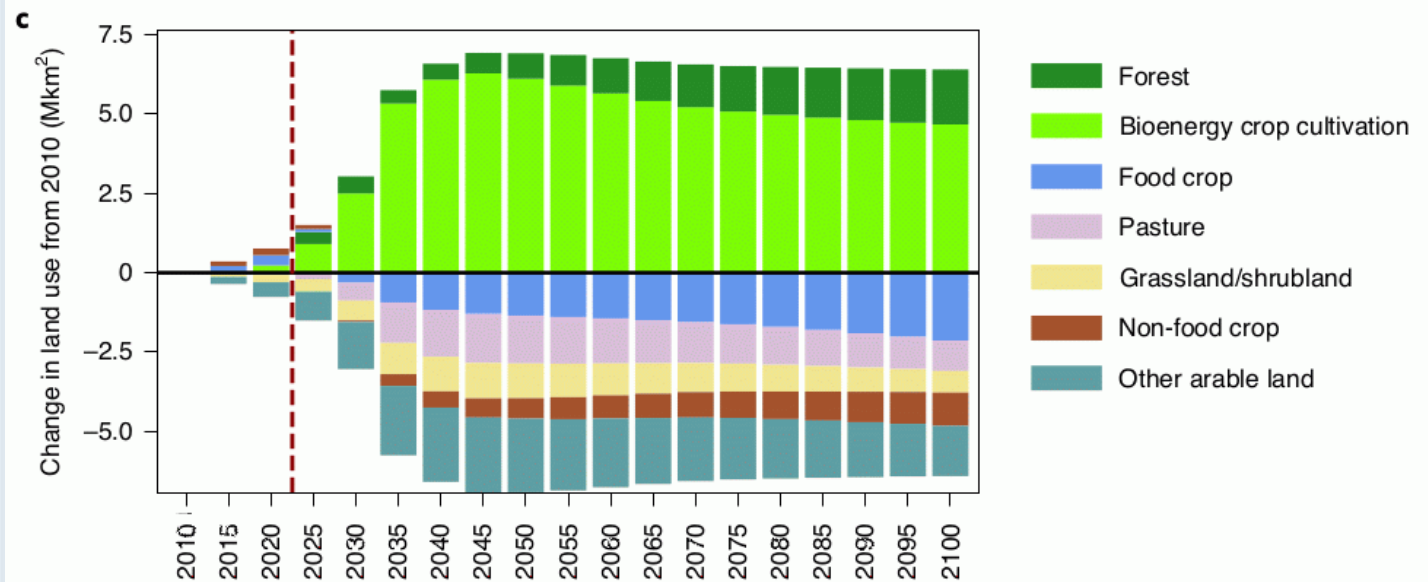
IATA-Pläne

- CO₂-Fußabdruck von Bio-Treibstoff und konventionellem Treibstoff



Platz für Bio-Treibstoff

- Konkurrenz mit Nahrungsmittelproduktion



Projektion beim Umstieg auf 1.5°-kompatiblen Pfad 2022 (Fuhrmann et al. 2020)

Grüner Treibstoff

- Wasserstoff-basiertes Fliegen: optimistisch 50% bis 2050

SYNHELION TECHNOLOGY

The solutions of Synhelion combine state-of-the-art solar tower systems with proprietary high-temperature thermochemical processes for the production of solar fuels.

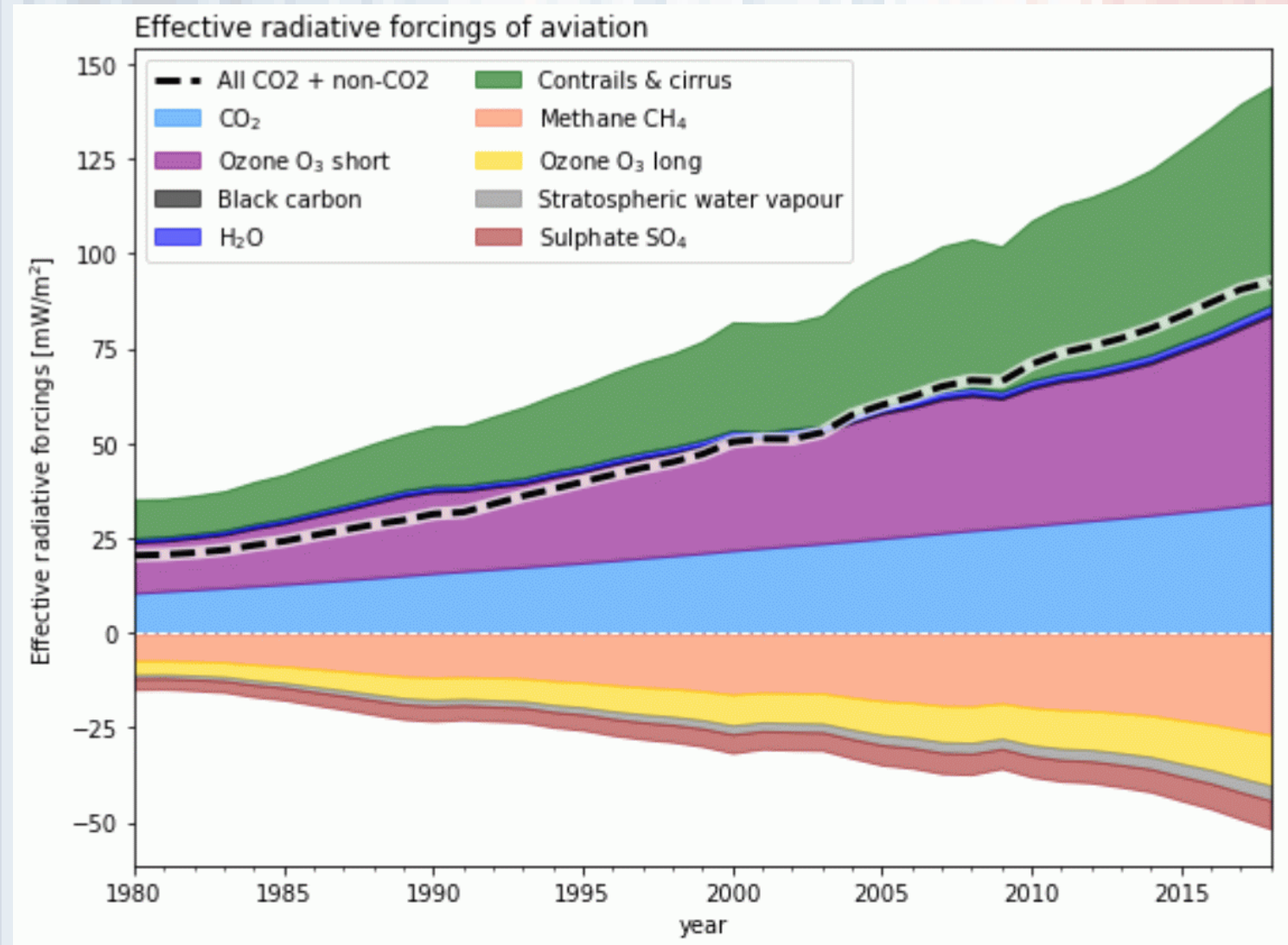
The diagram illustrates the Synhelion technology process. It features a central solar tower in a desert landscape, surrounded by a vast field of heliostats. The process flow is as follows:

- Air capture:** A blue arrow labeled "Air capture" points to a box containing CO_2 and H_2O .
- CH₄:** A grey arrow labeled "CH₄" points to the same box.
- SYNGAS:** A yellow arrow labeled "SYNGAS" points from the box to a white box containing "Gasoline", "Diesel", "Kerosene", and "Methanol".

The background image shows a large solar tower in a desert landscape, surrounded by a vast field of heliostats (mirrors) reflecting sunlight onto the tower.

Problem: mehr als CO₂

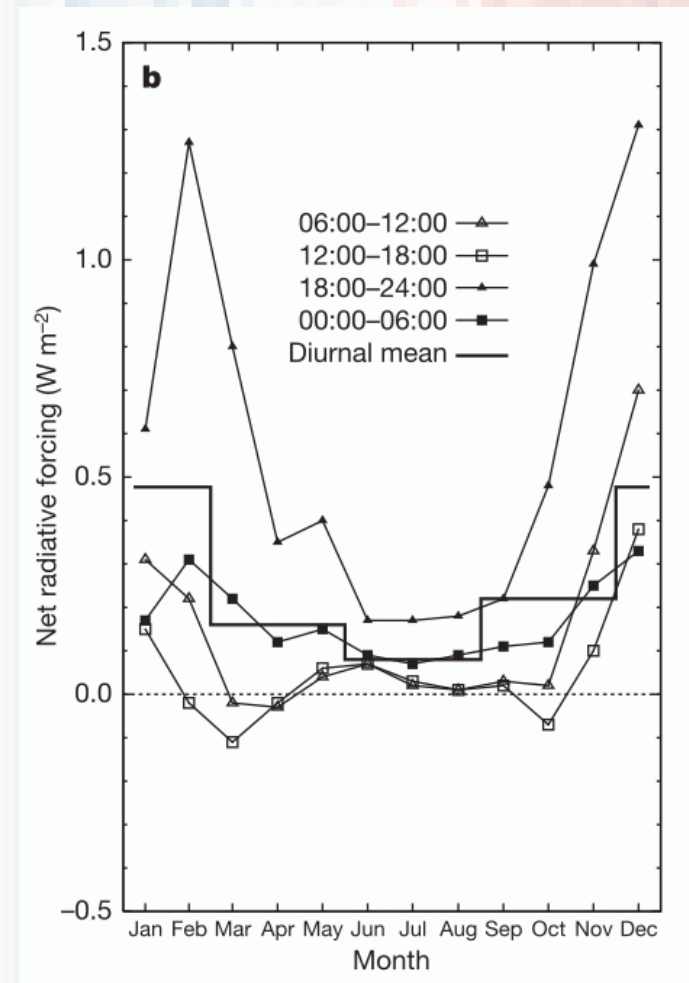
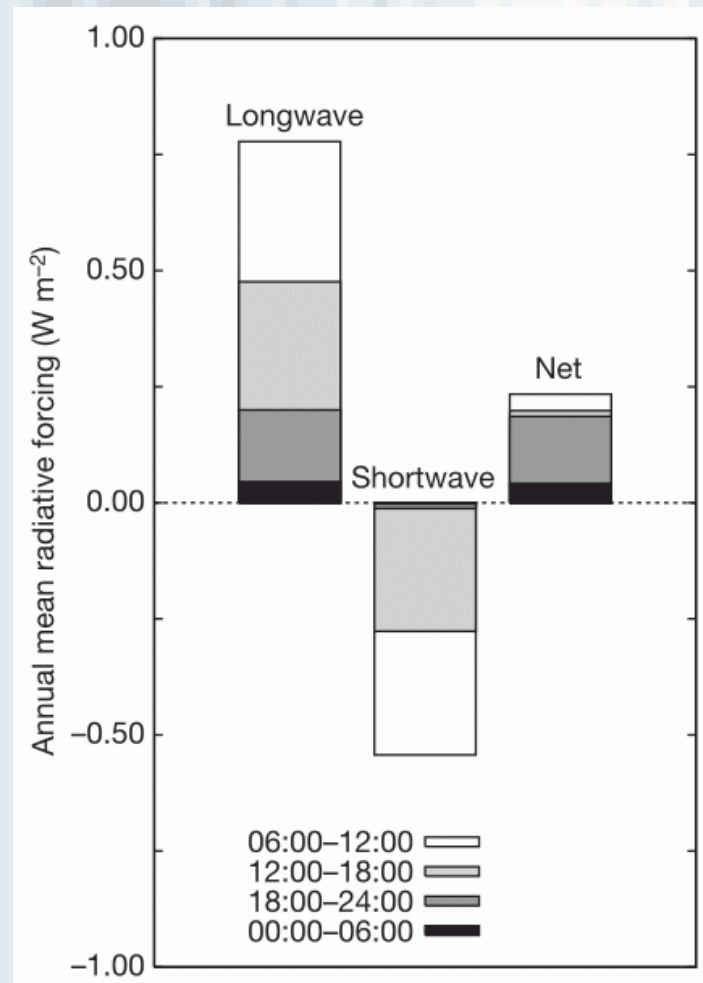
- Gesamtklimaeffekt ~2.6 mal höher als von CO₂ allein (Burkhardt et al. 2018)
- Erheblicher Beitrag von Contrails



Kloewer et al. (2021)

Contrails

- Starke Abhängigkeit von Reisezeit und Koordinaten
- Können im Sommer bzw. bei niedrigen Breiten sogar kühlen



Stuber et al. (2006)

Optionen

- Grünes Fliegen
 - Wasserstoffbasiert
 - teuer, noch nicht verfügbar
 - Contrail-minimierend
 - Nachmittags, im Sommer, nicht über Polarregionen
- Klimateffekt kompensieren
 - CO₂-Kompensation
 - Projekte zur CO₂-Einsparung
 - CO₂-Budgets reduzieren
 - Negative-Emissionen

CO₂-Kompensation

- Typische Preise:
25€/t(CO₂)

nachdenken • klimabewusst reisen



| von | - nach | Sitzklasse | Flugart | Flugzeugtyp |
|-------------------|----------------|------------|---------|-------------|
| Köln / Bonn (CGN) | - Cancun (CUN) | | | |

[Bearbeiten](#)

Ihr Flug - Klimawirkung der CO₂-effizientesten Airlines im Vergleich*

Für den CO₂-Vergleich von Airlines liegen atmosfair auf dieser Strecke keine ausreichenden Daten vor.

Ihr Klima-Fußabdruck[®]

| | |
|--|--------------------------|
| Klimawirkung | 5.395 kg CO ₂ |
| Kompensationsbetrag | 125 € |
| Detaillierte Emissionsdaten ausblenden ▲ | |
| Flugdistanz | 17.062 km |
| Maximale Flughöhe | 12.500 m |
| CO ₂ -Emissionen | 1.836 kg |
| Klimawirkung von Kondensstreifen, Ozonbildung usw | 3.558 kg |
| Kerosinverbrauch | 726 l |

Ihr Klima-Fußabdruck im Vergleich

Ihr Flug (pro Person)

5.395 kg



Berechnen



Kompensieren

Ihr Flug:

Von: Köln (DE), CGN nach: Cancun (MX), CUN , Hin- und Rückflug, Economy Class, ca. 17'000 km,

CO₂-Menge: 2.8 t

Typische Projekte

- Aufforstung
 - gleichzeitig Entwicklungshilfe



myclimate

Aufforstung

- Beispiel: Buchenwald
 - Typischer Zuwachs:
9m³/ha/a
 - 1m³ = 1.25t CO₂
→ 12t CO₂/ha/a
 - Dauerhaft speicherbar
max. 6t CO₂/ha/a

- Kompensationsbedarf:
 - Beispiel Flug Mallorca,
4 Personen: 2.77 t CO₂
→ 0.25-0.5 ha
 - CO₂ Deutschland: 900Mio t/a
→ 15fache Gesamtwaldfläche

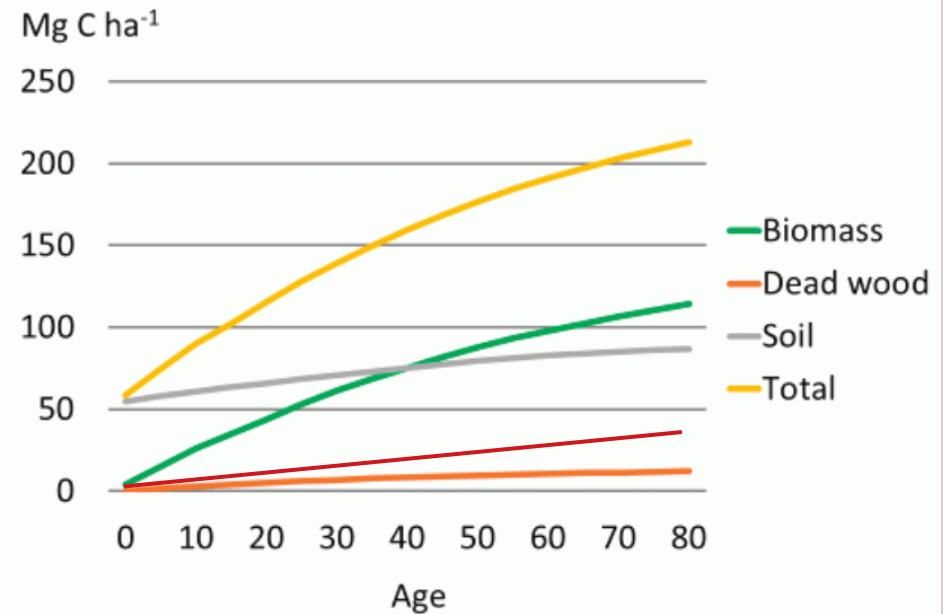


FIGURE 3.1 Changes in carbon stock from afforestation. (NAP-Report 2019)



(Bundesinformationszentrum Landwirtschaft 2019)

Nachhaltigkeit?

- Permanenz: Garantie der dauerhaften CO₂-Bindung



- Der Fortbestand des Waldes muss über mindestens 80 Jahre garantiert sein.

Permanenz?

- Auch in Deutschland nicht erfüllbar



- Zunehmende Dürre durch Klimawandel → Waldsterben

Seitenerfolge der Aufforstung

- Mehrgewinnstrategie:
 - Aufbau und Erhalt der Biodiversität der Region
 - lokale Bevölkerung und Behörden in die Projekte einbeziehen
 - Nutzen für lokale Bevölkerung



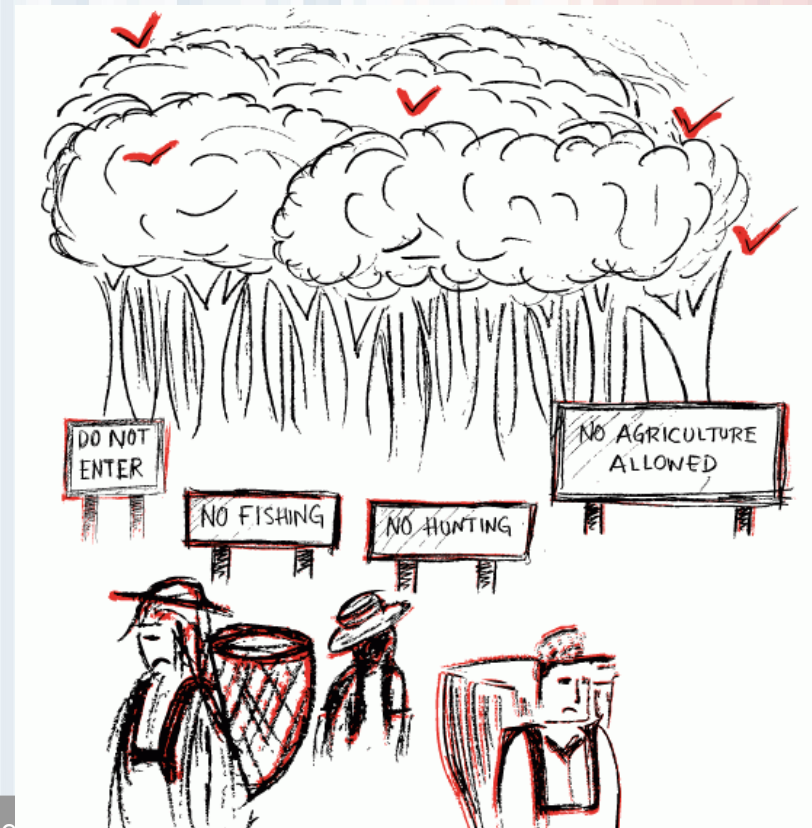
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
GOALS



myclimate

Seitenprobleme der Aufforstung

- Vorabfinanzierung ohne garantierten Erfolg
 - Permanenz im globalen Süden noch viel schwieriger
 - Rebound-Effekte → Abholzung woanders
 - Maßnahmen nicht zusätzlich, sondern nur extern finanziert (Additionalität)
- Menschenrechtsverletzungen bei Implementierung
 - Beispiel: Vertreibungen in Uganda (trotz “Gold-Standard”-Zertifizierung)



Andere typische Projekte

- Biogas-Anlagen

myclimate



- Einsparung von CO₂-Emissionen
 - Keine wirkliche CO₂-Bindung
- Nicht skalierbar



Typische Projekte

- Effiziente Kocher
 - Was passiert mit dem eingesparten Holz?
- Alles ökonomisch ohnehin sinnvoll:
 - Effizienter Einsatz des Geldes
 - Dauerhafte Nutzung?
 - Ohnehin geplant?



Oxford-Principles

- Zielgruppe: Nachhaltige Unternehmen und Investitionen
 - Netto-Null-Maßnahmen



- 1) Emissionen reduzieren, Kompensationen höchster Qualität wählen, Kompensationsstrategie regelmäßig aktualisieren
 - Priorisierung der Reduktion der eigenen Emissionen – Minimierung des Bedarf an Kompensationen von vornherein
 - Gewährleistung der Umweltintegrität – nur Kompensationen, die überprüfbar sind, ein geringes Risiko der Nichtadditionalität, der Umkehrung und unbeabsichtigter Folgen für Mensch und Umwelt haben.
 - Transparenz

Oxford-Principles

2) Umstellung auf Kompensation durch Kohlenstoffabbau

- Meiste heute verfügbare Kompensationen sind Emissionsminderungen – notwendig, aber nicht ausreichend
- Abbau von CO₂ direkt aus der Atmosphäre nötig
- Bis Mitte des Jahrhunderts 100% CO₂-Abbau notwendig

3) Umstellung auf langlebige Speicherung

4) Förderung der Entwicklung von Netto-Null-Methoden

- Markt braucht frühe Anwender, sektorspezifische Allianzen
- Langfristige Vereinbarungen
- Unterstützung der Wiederherstellung und des Schutzes eines breiten Spektrums natürlicher und naturnaher Ökosysteme



The Oxford Principles for Net Zero Aligned
Carbon Offsetting
September 2020

Alternative: ETS

- European Trading System
 - aktuell:
climate-company.de:
91.20€/t(CO₂)
 - Compensators.org:
99.88€/t(CO₂)
- Normale “Wertpapiere”
- Problem:
“Marktstabilitätsreserve”
erfordert Halten der
Zertifikate bis März 2023

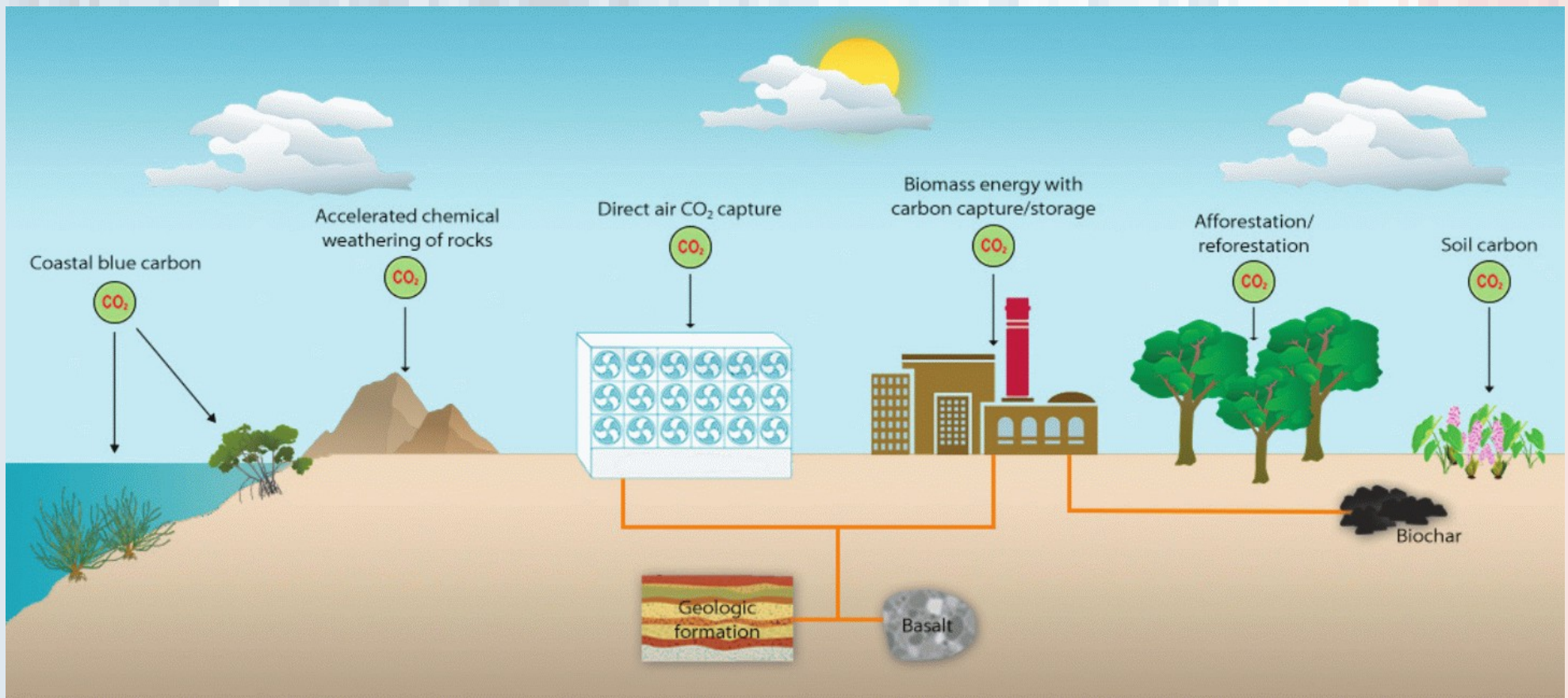
Compensators How it works About us Transparency Press

The smart way to offset your footprint.
Together we force European industries to
reduce their CO₂ emissions.

tons
about 1 hour
about 5 hours
about 1 day ago
Show

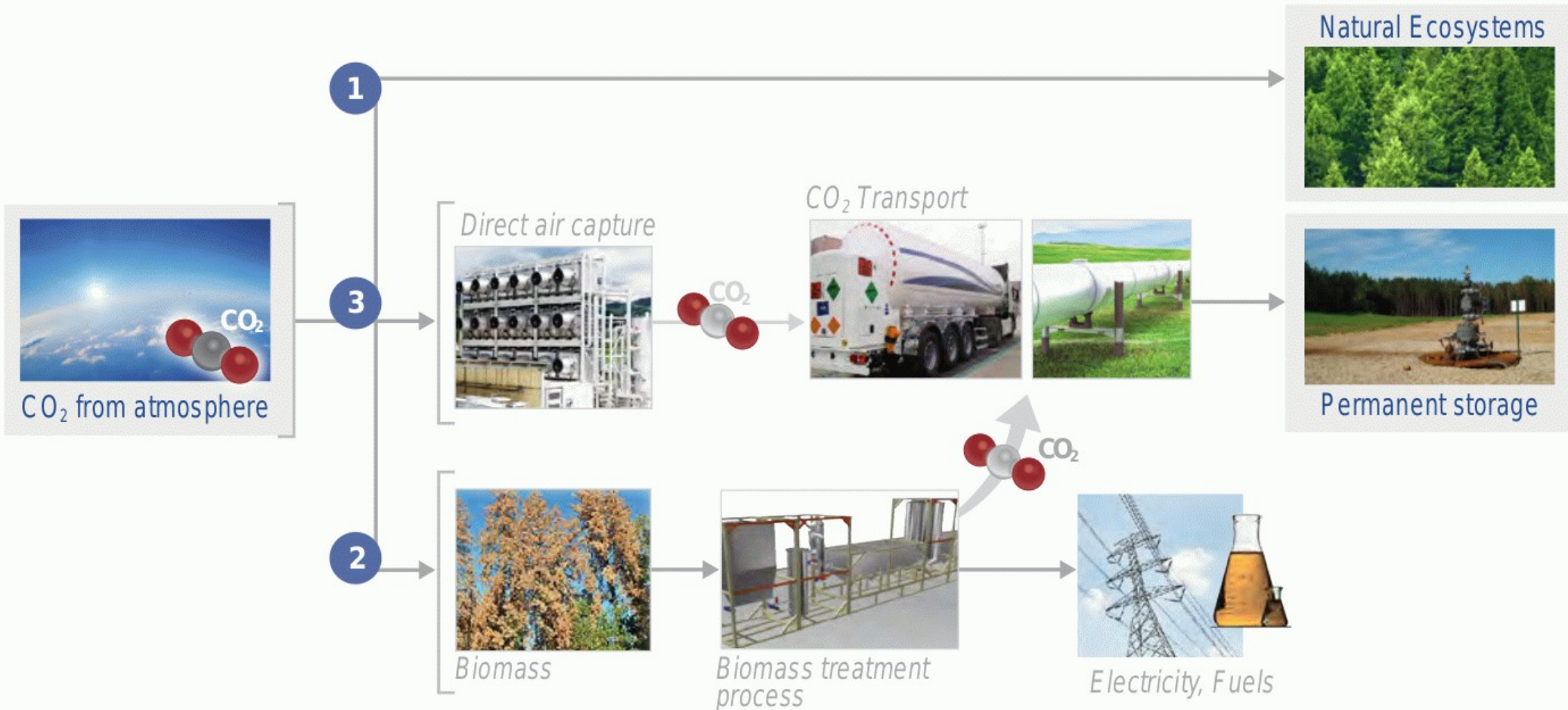
Wirkliche CO₂-Entfernung

- Viele Lösungen untersucht und getestet
 - Oft nur in Pilotprojekten implementiert



National Academies of Sciences report: “Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda (2019)” (NAP-Report 2019)

Prinzipielle Wege



Baker et al.: Getting to Neutral - Options for Negative Carbon Emissions in California (2020)

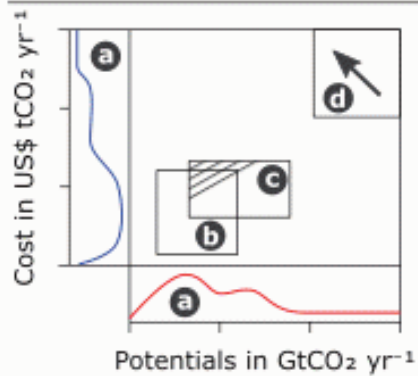
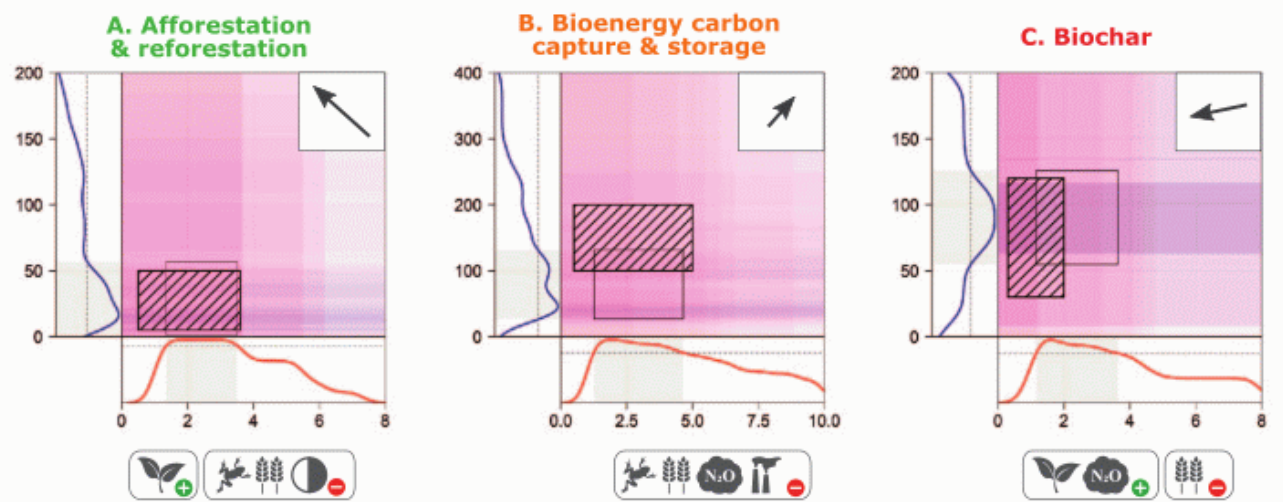
Einzigste skalierbare Lösung

- Beschleunigte Verwitterung
 - $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 2 \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{CaSiO}_3 + 2 \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 - Beschleunigt durch hohe Temperatur/hohe Oberfläche
- Einzige skalierbare Methode
 - In Ackerböden und im Küstengewässer anwendbar
 - Potential: $10^5 - 10^8 \text{ Gt}(\text{CO}_2)$



Travertine(CaCO_3)-Terassen an heißen Quellen in Oman, NAP-Report (2019)

Für und wider der verschiedenen Technologien

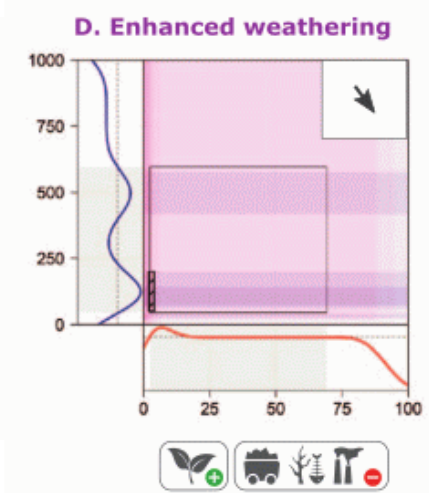


Sub-figures

- a** Distribution of literature cost & potential estimates in 2050 (axis scaled from 0 to 1)
- b** 25th-75th percentile of estimates
- c** Expert judgement of costs & potentials in 2050
- d** Expert judgement of cost & potential trends beyond 2050

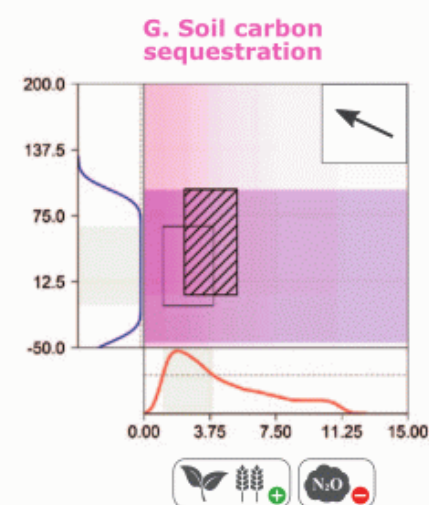
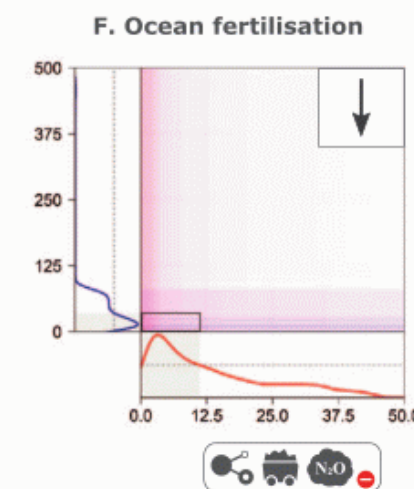
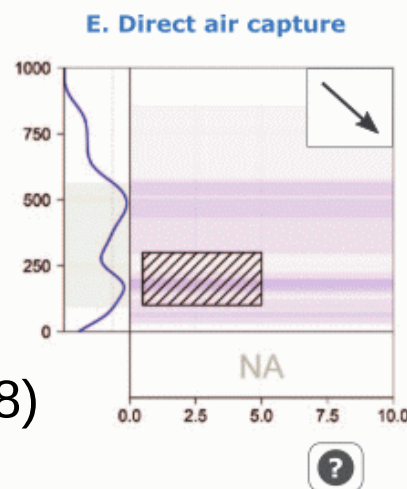
Side-effects
 (+ positive, - risk of negative)

- Air pollution (factory icon)
- Albedo (moon icon)
- Biodiversity (birds icon)
- Ecosystem changes (globe icon)
- Food security (wheat icon)
- Ground/water pollution (tree and water icon)
- Soil quality (leaf icon)
- Mining and extraction (truck icon)
- Trace GHGs (N₂O icon)



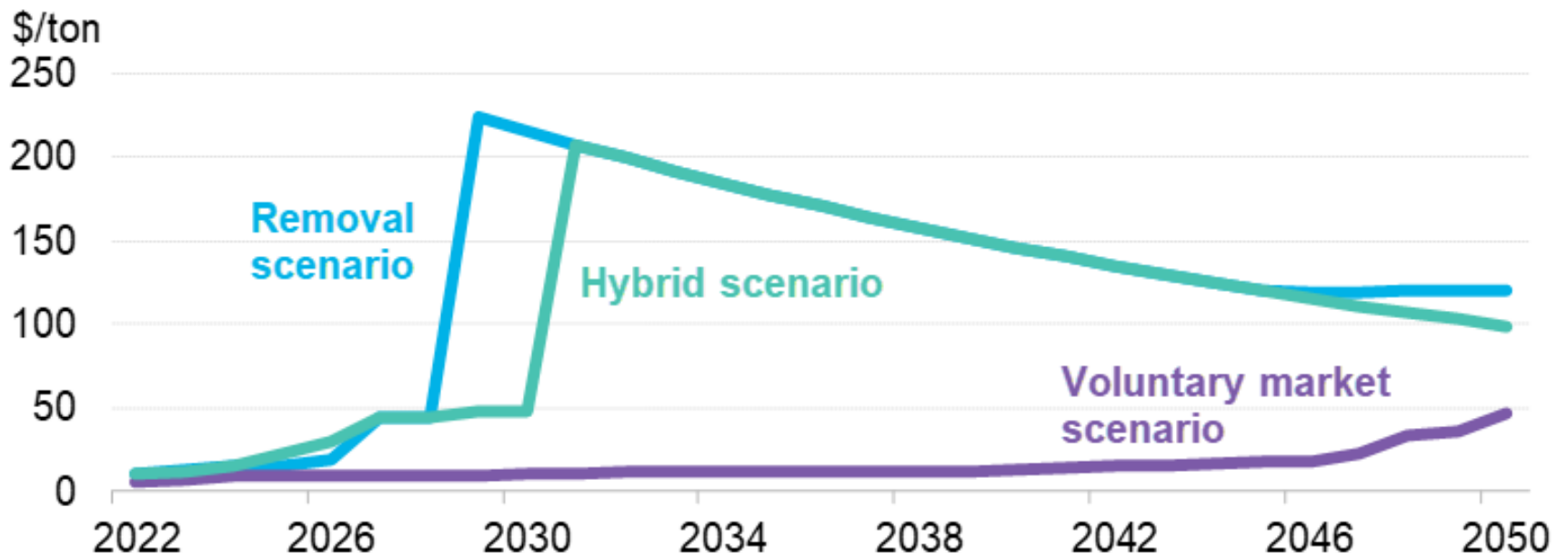
- CO₂-Emissionen vermeiden ist immer billiger
- Jede Technik hat negative Nebeneffekte

Fuss et al. (2018)



Politisch-marktwirtschaftlicher Ansatz

Figure 1: Carbon offset prices, by scenario



Source: BloombergNEF. Note: Chart shows forecasted prices, rather than actual prices.

Bloomberg NEF (2022)

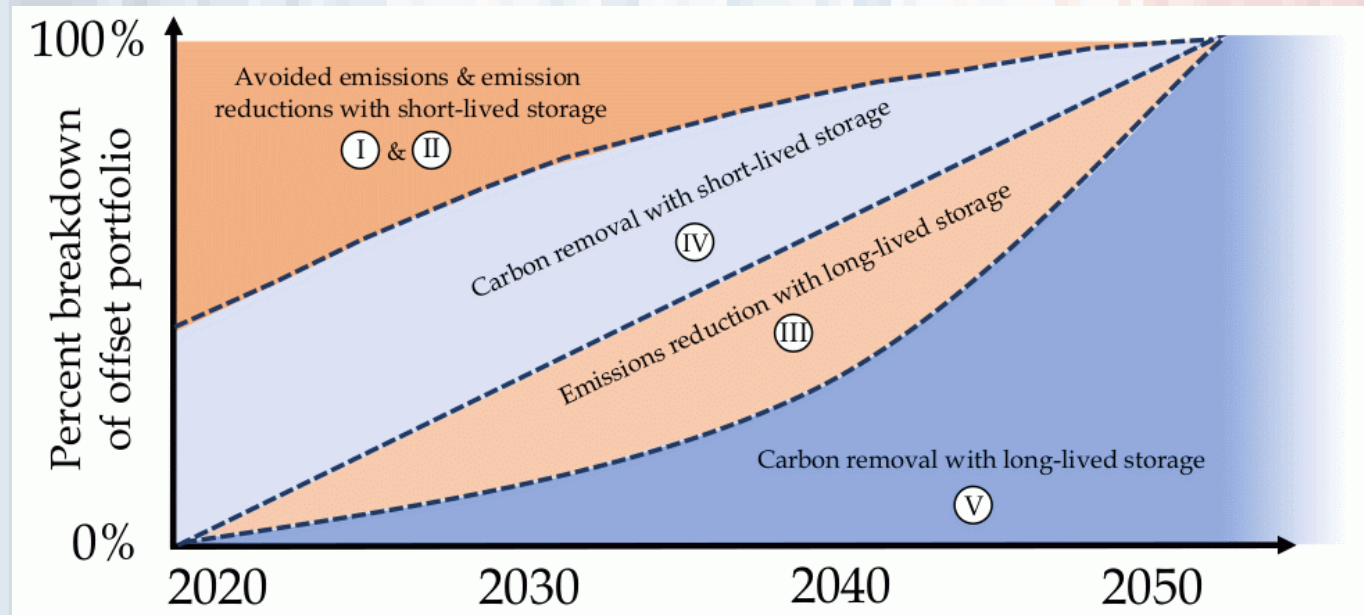
Oxford-Principles

Genereller Ansatz:

- Emissionen vermeiden, Kompensation nur durch hochwertige Maßnahmen, regelmäßig evaluieren und anpassen
- Langfristig auf CO₂-Entfernung setzen
- Dabei langfristige Speicherlösungen
- Entwicklung von Netto-Null-Technologien durch frühzeitige Investitionen fördern



The Oxford Principles for Net Zero Aligned Carbon Offsetting
September 2020



Schlussfolgerung

- Nicht nur CO₂ beachten
 - Flug: Köln-Cancun: 1.8t(CO₂), Klimawirkung wie 4.7t(CO₂)
- Sichere Kompensation derzeit durch Vermeidung:
 - 50-100€/t(CO₂)
- Zukünftige Kompensation durch CO₂-Entfernung:
 - 150-200€/t(CO₂)
- Auswirkung:
 - Flugpreis (Köln Cancun) aktuell: 900€
 - Mit Kompensation: 350€ (heute) - 900€ (Zukunft) teurer

Fragen ?

Referenzen

- Bach, L.T.; Gill, S.J.; Rickaby, R.E.M.; Gore, S.I.; Renforth, P.; 2019, CO₂ Removal With Enhanced Weathering and Ocean Alkalinity Enhancement: Potential Risks and Co-benefits for Marine Pelagic Ecosystems, *Frontiers in Climate*, 1, 7, doi: 10.3389/fclim.2019.00007
- Baker, S.E.; Stolaroff, J.K.; Peridas, G.; Pang, S.H.; Goldstein, H.M.; et al. 2019, Getting to Neutral: Options for Negative Carbon Emissions in California, Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL-TR-796100, https://www-gs.llnl.gov/content/assets/docs/energy/Getting_to_Neutral.pdf
- Shi, L.; Zhao, Y.; Matz, S.; Gottesfeld, S.; Setzler, B.P. ; Yan, Y.; 2022, A shorted membrane electrochemical cell powered by hydrogen to remove CO₂ from the air feed of hydroxide exchange membrane fuel cells, *Nature Energy*, <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00969-5>
- Barret, D.; 2020, Estimating, monitoring and minimizing the travel footprint associated with the development of the Athena X-ray Integral Field Unit: An on-line travel footprint calculator released to the science community, *Experimental Astronomy*, 49, 183, <https://doi.org/10.1007/s10686-020-09659-8>
- Burkhardt, U.; Bock, L.; Bier, A.; 2018, Mitigating the contrail cirrus climate impact by reducing aircraft soot number emissions, *Climate and Atmospheric Science* 1, 37; doi:10.1038/s41612-018-0046-4
- Fuhrmann, J.; McJeon, H.; Patel, P.; Doney, S.C.; Shobe, W.M.; Clarens, A.F.; 2020, Food–energy–water implications of negative emissions technologies in a +1.5°C future, *Nature Climate Change*, <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0876-z>

Referenzen

- Fuss, S.; Lamb, W.F.; Callaghan, M.W.; Hilaire, J.; Creutzig, F., et al; 2018, Negative emission - Part 2: Costs, potentials and side effects, *Environ. Res. Lett.* 13, 063002, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9f>
- International Air Transport Association (IATA), 2015, IATA Sustainable Aviation Fuel Roadmap, ISBN 978-92-9252-704-4
- Keith, D.W.; Holmes, G.; St. Angelo, D., Heidel, K.; 2018; A Process for Capturing CO₂ from the Atmosphere, *Joule* 2, 1573, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.05.006>
- Kreil, A.S., 2021, Reducing the climate impact associated with air travel: Shifting perspectives within and beyond Academia, PhD thesis, ETH Zürich, <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000519412>
- Lal, R. 2015, *Der große Kohlenstoffspeicher*, in: *Bodenatlas 2015*, eds. Chemnitz, C. Weigelt, J., p. 16, <https://www.iass-potsdam.de/de/Publikationen/bodenatlas>
- Lefebvre, D.; Goglio, P.; Williams, A.; Manning, D.A.C.; de Azevedo; A.C. et al.; 2019, Assessing the potential of soil carbonation and enhanced weathering through Life Cycle Assessment: A case study for Sao Paulo State, Brazil, *Journal of Cleaner Production*, 233, 468, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.099>
- Klöwer, M.; Hopkins, D.; Allen, M.; Higham, J.; 2020, *Nature*, Vol 583, 16 July 2020, 356, <https://doi.org/10.5282/zenodo.3553784>
- Klöwer, M.; Allen, M.R.; Lee D.S.; Proud, S.R.; Gallagher, L.; Skowron, A. 2021, Quantifying aviation's contribution to global warming, *Environmental Research Letters*, Volume 16, Number 10, *Environ. Res. Lett.* 16, 104027, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac286e>

Referenzen

- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; 2019. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda. Washington, DC: The National Academies Press. ISBN 978-0-309-48452-7, doi: <https://doi.org/10.17226/25259>.
- Stuber, N.; Forster, P.; Rädcl, G.; Shine, K.; 2006, The importance of the diurnal and annual cycle of air traffic for contrail radiative forcing, Nature, Vol 441, 15 June 2006, doi:10.1038/nature04877
- Wilkerson, J.T.; Jacobson, M.Z.; Malwitz, A.; Balasubramanian, S.; Wayson, R. et al. 2010, Analysis of emission data from global commercial aviation: 2004 and 2006, Atmos. Chem. Phys., 10, 6391, doi:10.5194/acp-10-6391-2010