

Willkommen
Welcome
Bienvenue

Mining the Atmosphere

Mitgliederversammlung GLP Thurgau
21. August 2025

Dr. Peter Richner
peter.richner@empa.ch

1

← Volksabstimmungen

Volksabstimmung vom 18. Juni 2023

OECD/G20-Mindestbesteuerung

Klima- und Innovationsgesetz

Am 18. Juni 2023 haben die Schweizer Stimmberechtigten über das Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (indirekter Gegenvorschlag zur Gletscher-Initiative) abgestimmt.

Ja 59.07%

Art. 3 Ziel der Verminderung von Treibhausgasemissionen und der Anwendung von Negativemissionstechnologien

¹ Der Bund sorgt dafür, dass die Wirkung der in der Schweiz anfallenden von Menschen verursachten Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 Null beträgt (Netto-Null-Ziel), indem:

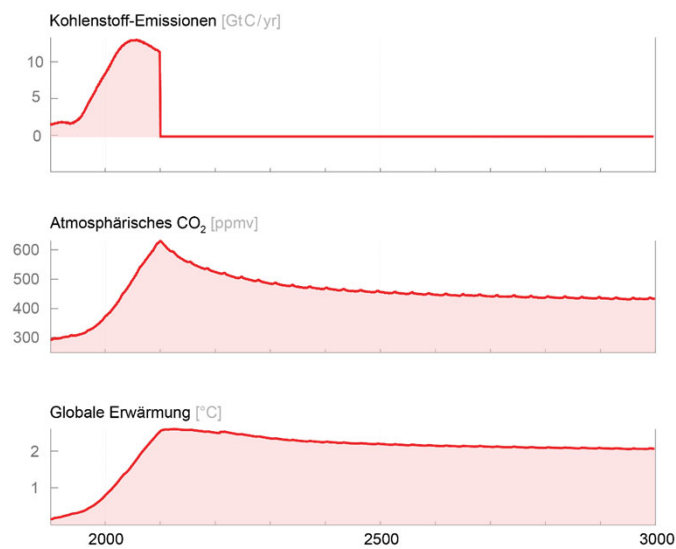
- a. die Treibhausgasemissionen so weit möglich vermindert werden; und
- b. die Wirkung der verbleibenden Treibhausgasemissionen durch die Anwendung von Negativemissionstechnologien in der Schweiz und im Ausland ausgeglichen wird.

² Nach dem Jahr 2050 muss die durch die Anwendung von Negativemissionstechnologien entfernte und gespeicherte Menge an CO₂ die verbleibenden Treibhausgasemissionen übertreffen.

2

Unsere CO₂-Emissionen

Altlasten für die Zukunft



Solomon et al. 2009

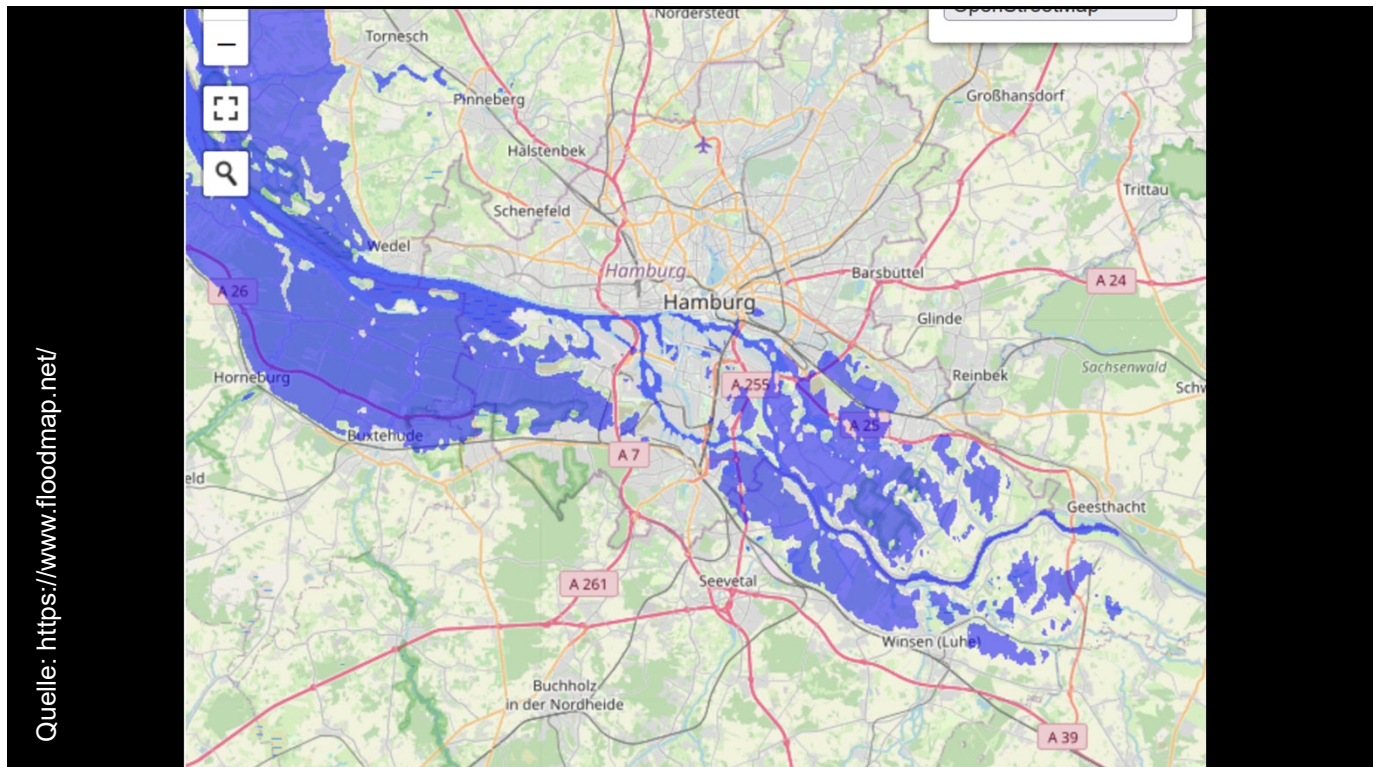
3

Ist das ein Problem?

4

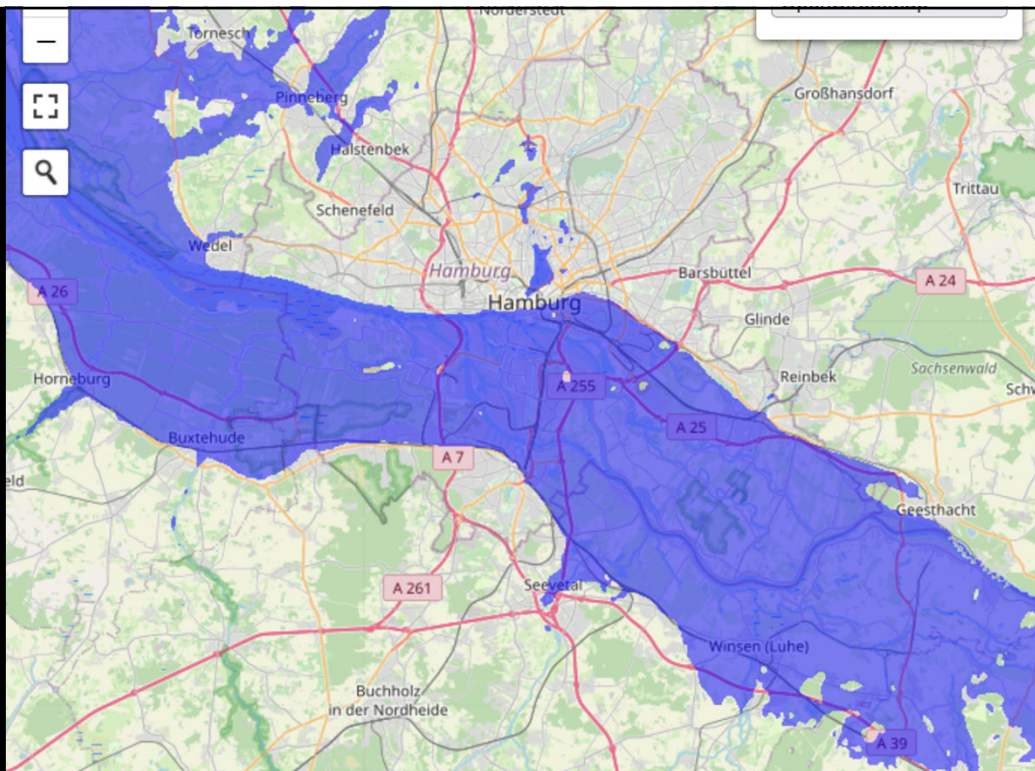
Eismasse von Grönland $\approx$ Meeresspiegelanstieg von 7 m

5



6

Quelle: <https://www.floodmap.net/>



7

Wallis 21. Juni 2024

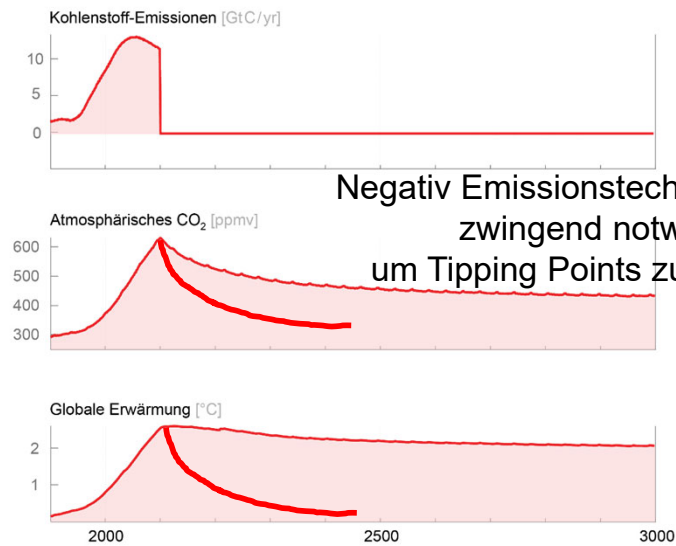


+1°C = + 7% Wasser in der Atmosphäre

8

Unsere CO₂-Emissionen

Altlasten für die Zukunft

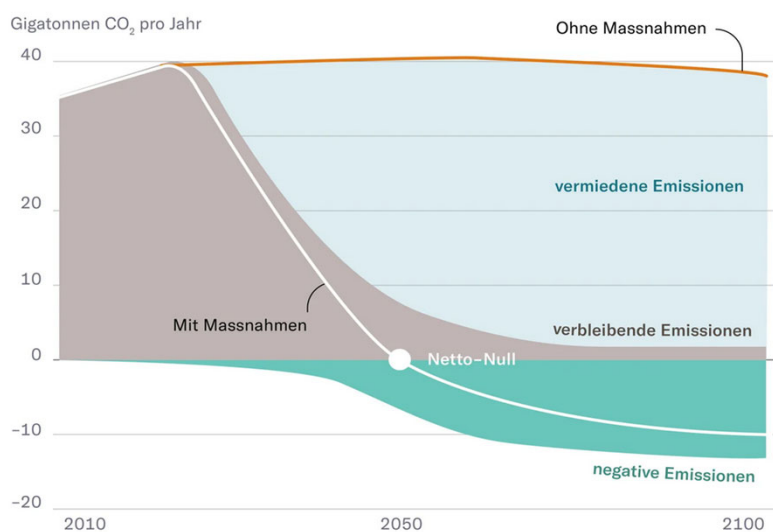


Negativ Emissionstechnologien sind
zwingend notwendig
um Tipping Points zu vermeiden

Solomon et al. 2009

9

Netto Null ist nur der Anfang



**CO₂ so weit wie
möglich reduzieren**

**Energiesystem
decarbonisieren**

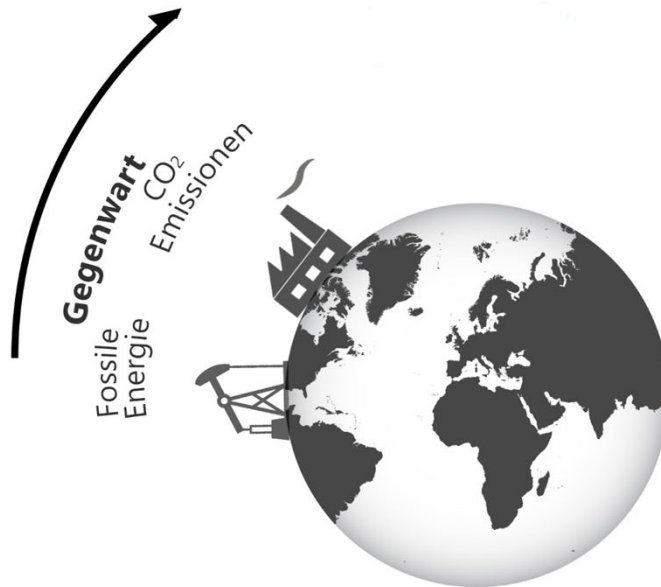
**Unvermeidbare
Emissionen neutralisieren**

**CO₂ aus der
Atmosphäre entfernen**

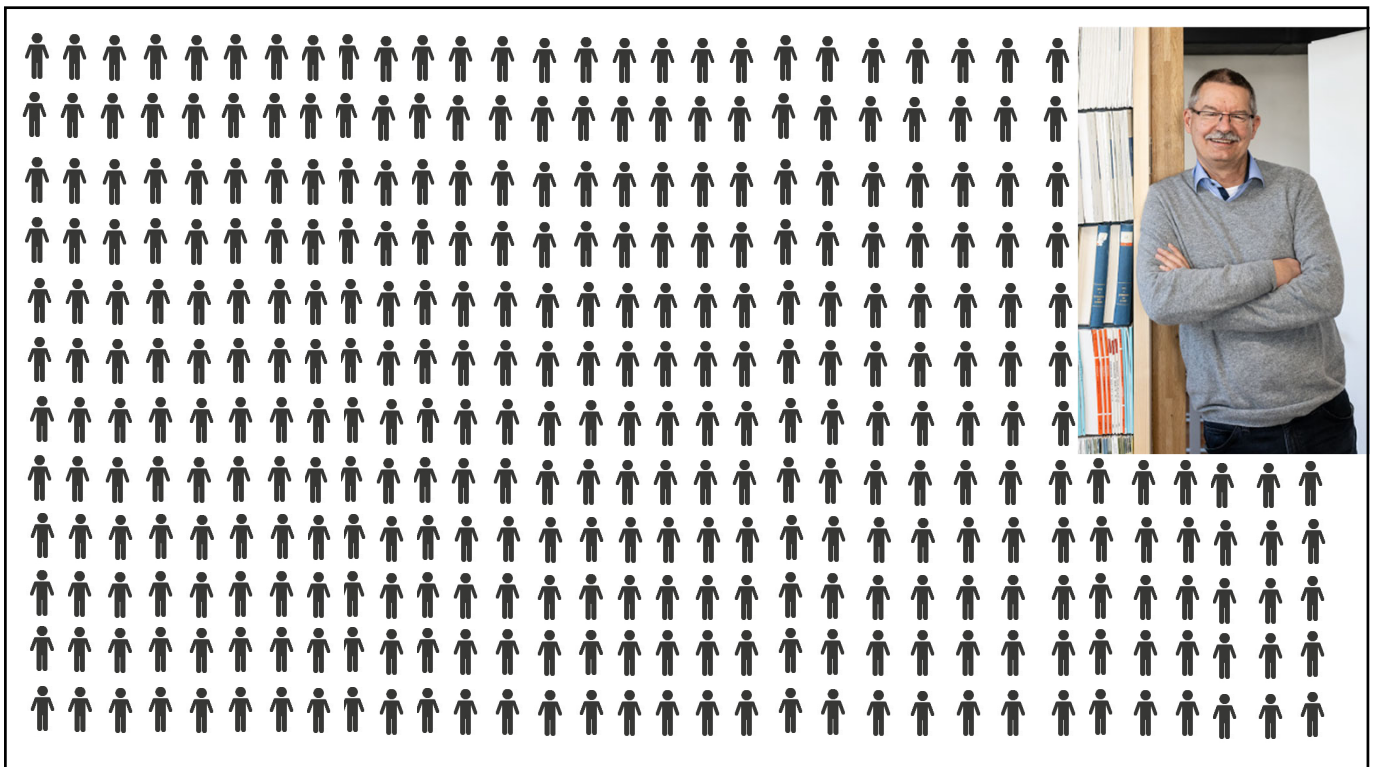
**Negative Emissionen
realisieren**

Quelle: IPCC, NZZ

10



11

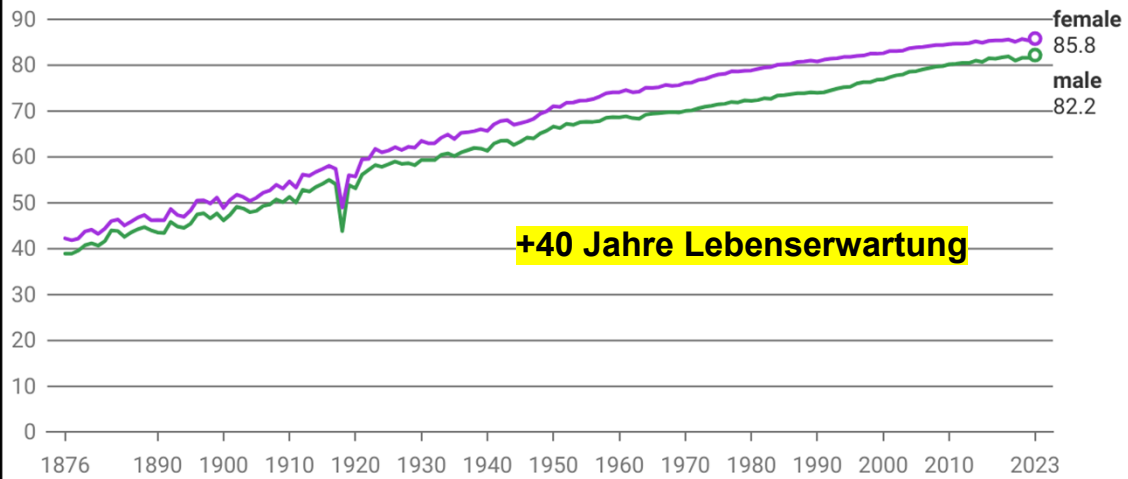


12

Lebenserwartung bei der Geburt in der Schweiz

By sex

In years



Data as on: 05.06.2024

Source: FSO – BEVNAT, ESPOP, STATPOP

gr-e-01.04.02.03.08-su

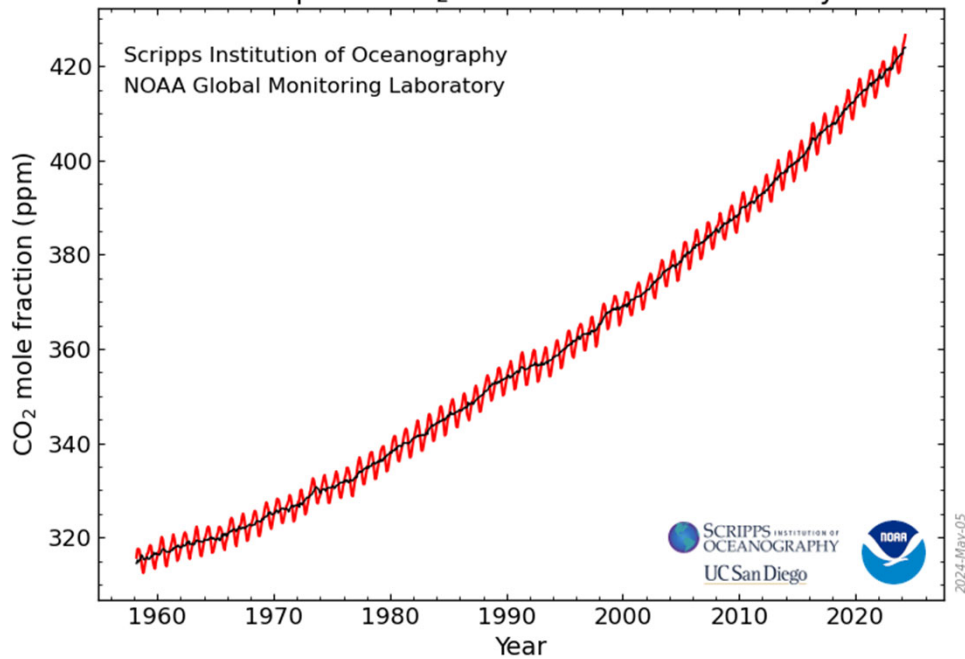
© FSO 2024

13

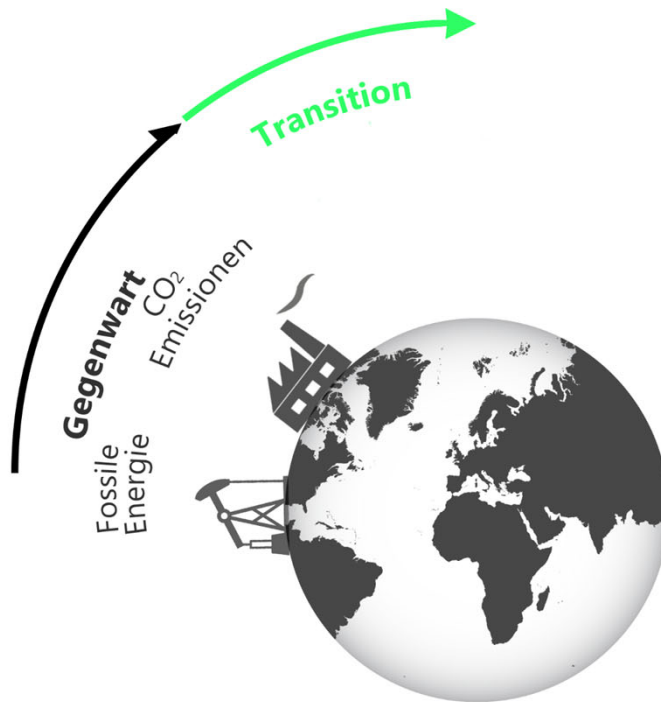
Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory

Empa
Materials Science and Technology

Quelle: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/data.html>



14



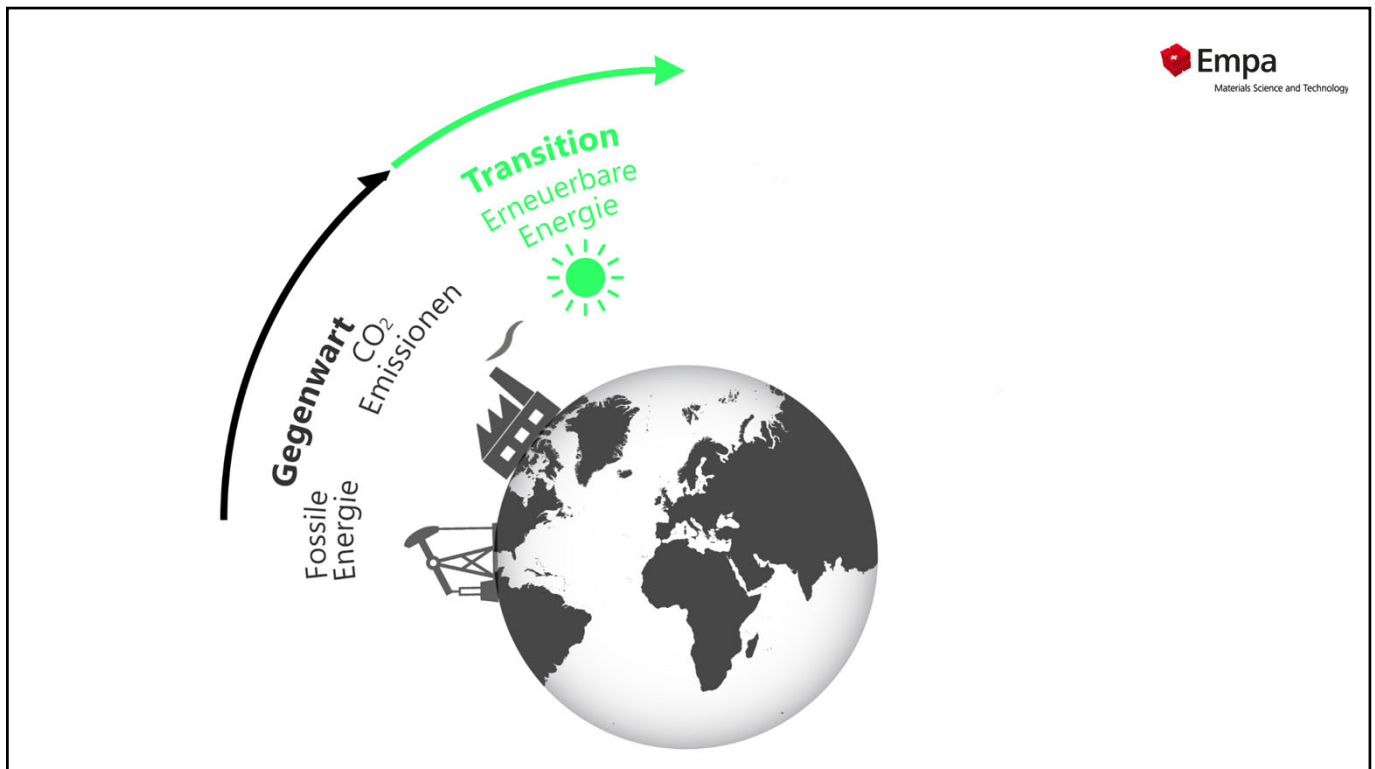
15

"Die Steinzeit ist nicht aus Mangel an Steinen zu Ende gegangen."

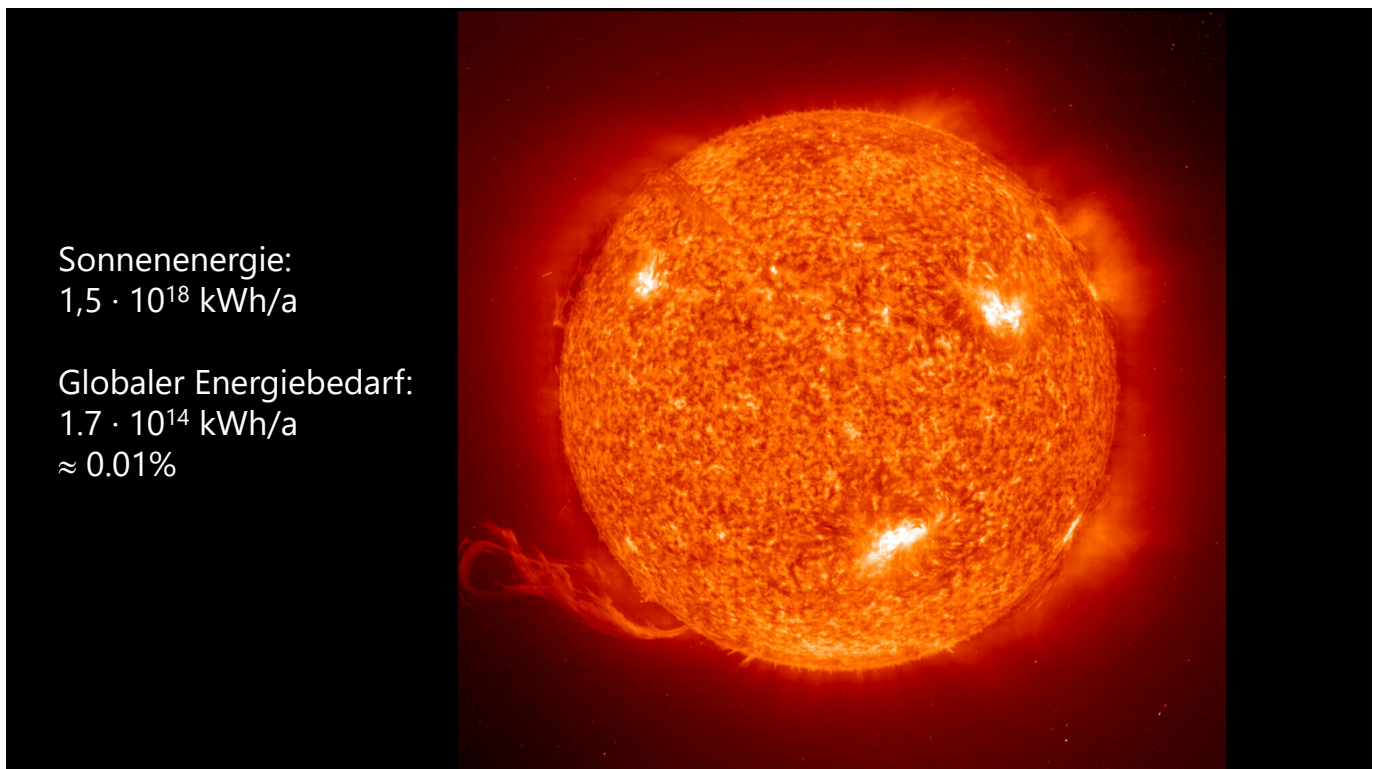
Ahmed Zaki Yamani, 1973
Saudischer Ölminister



16



17



18

Ausbau von PV im Sonnengürtel der Erde

- Oman plant die Installation von 4 GW PV bis 2030 (500 MW schon in Betrieb)
- Gestehungskosten: **1-2 Rp/kWh**

Oman kicks off tender for 500 MW of PV

The Omani authorities aim to develop a 500 MW solar project in Ibri, in northwestern Oman, where other PV facilities are located.

JANUARY 9, 2024 EMILIANO BELLINI

MARKETS UTILITY SCALE PV OMAN



Sterling and Wilson Solar built this 125 MWp project in Oman

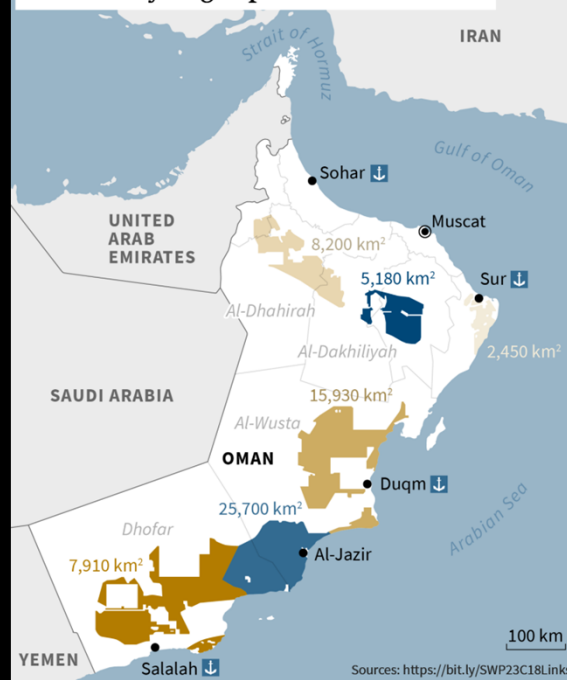
Image: Sterling and Wilson Solar

Share [f](#) [t](#) [in](#) [v](#) [e](#)

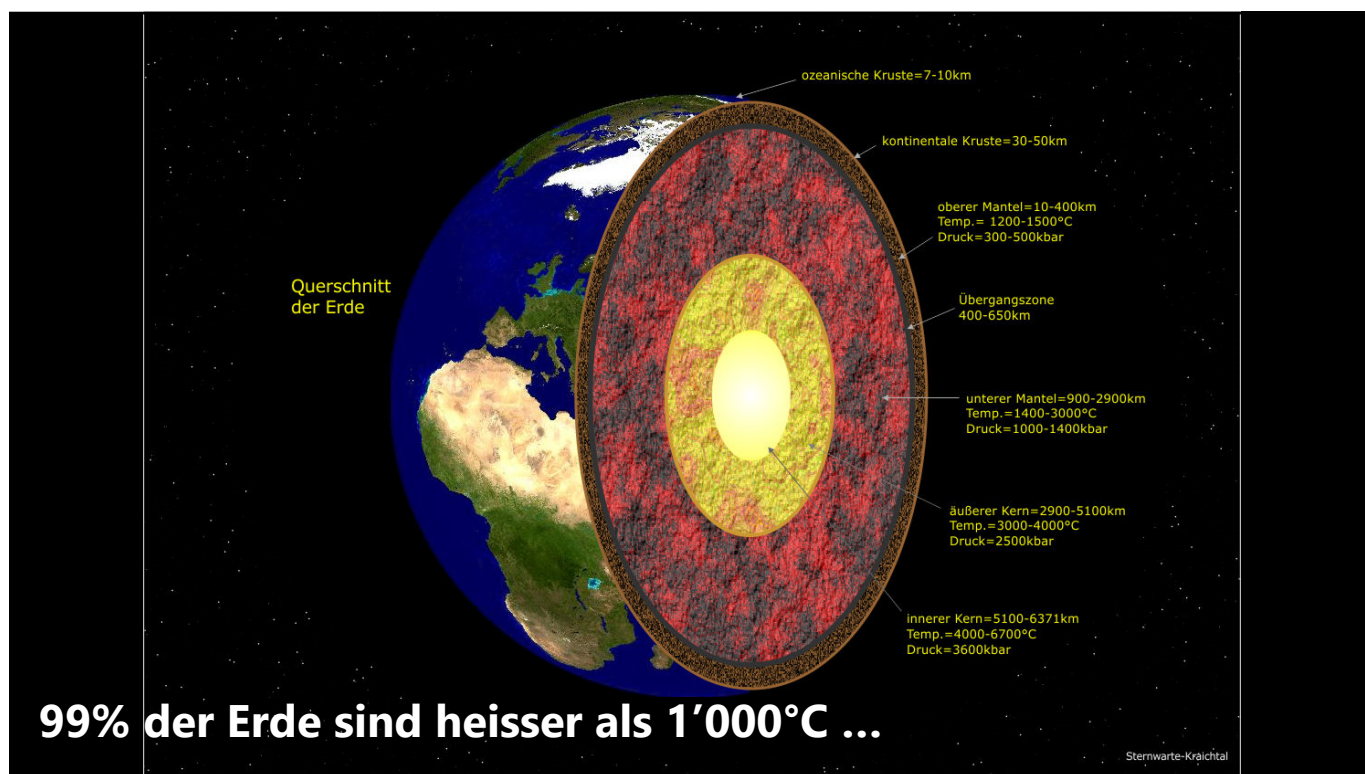
Oman Power and Water Procurement Co. (OPWPC) has launched a [tender](#) to select independent power producers (IPP) to build a 500 MW solar park.

19

Map of Oman with ports and designated areas for hydrogen production



20

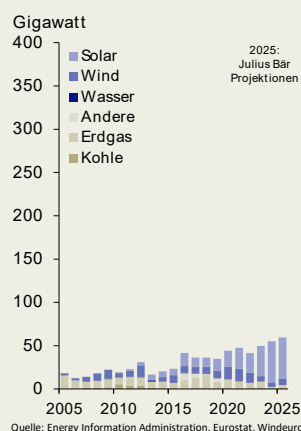


21

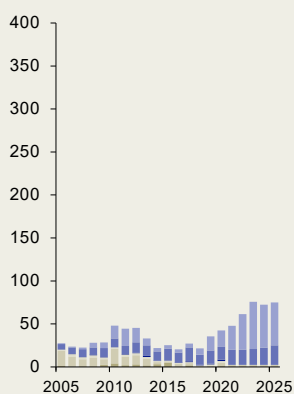
Erneuerbare Energien

Innovation, skalierte Produktion, die Energiekrise und die Politik führen erst zum Boom ...

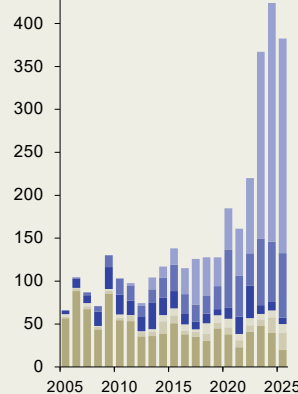
Kraftwerkbau: USA



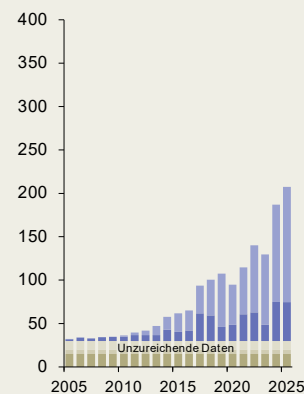
... Europa



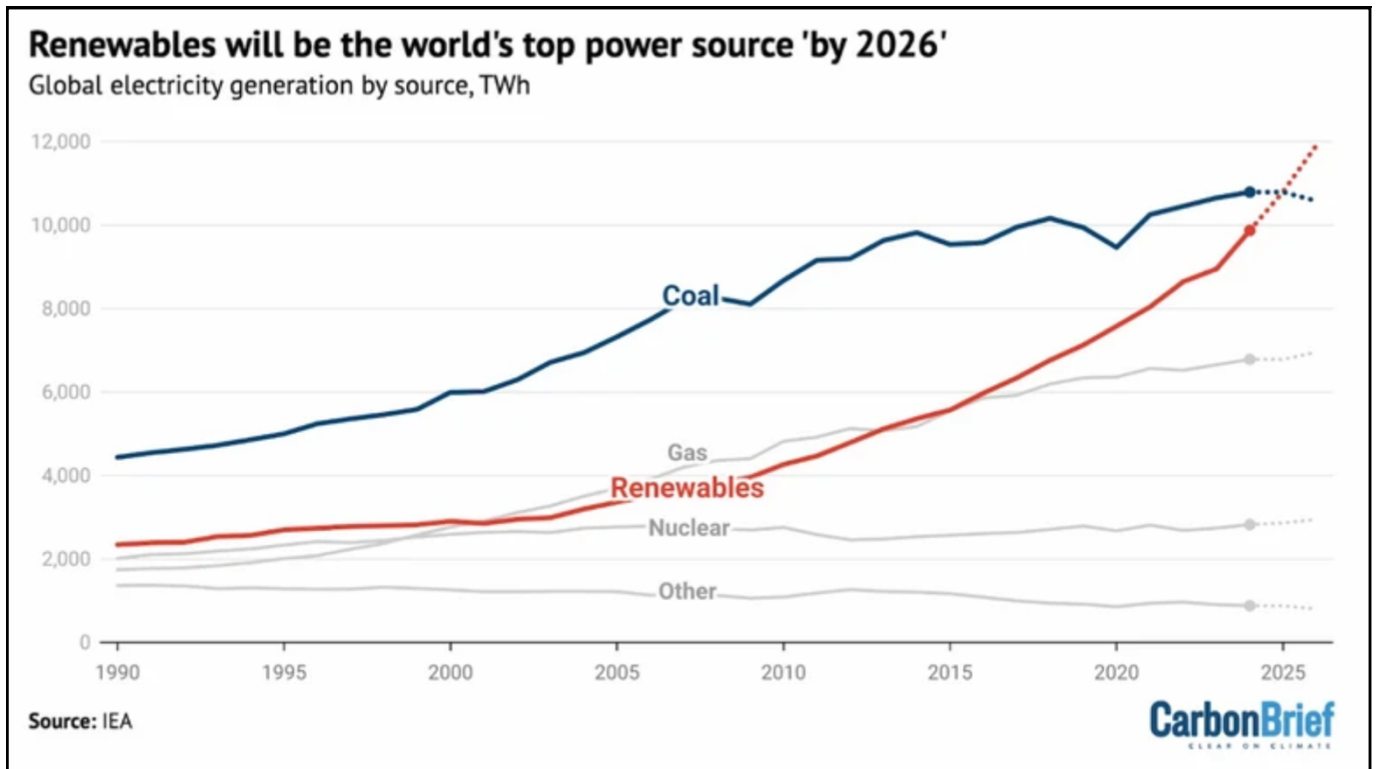
... China



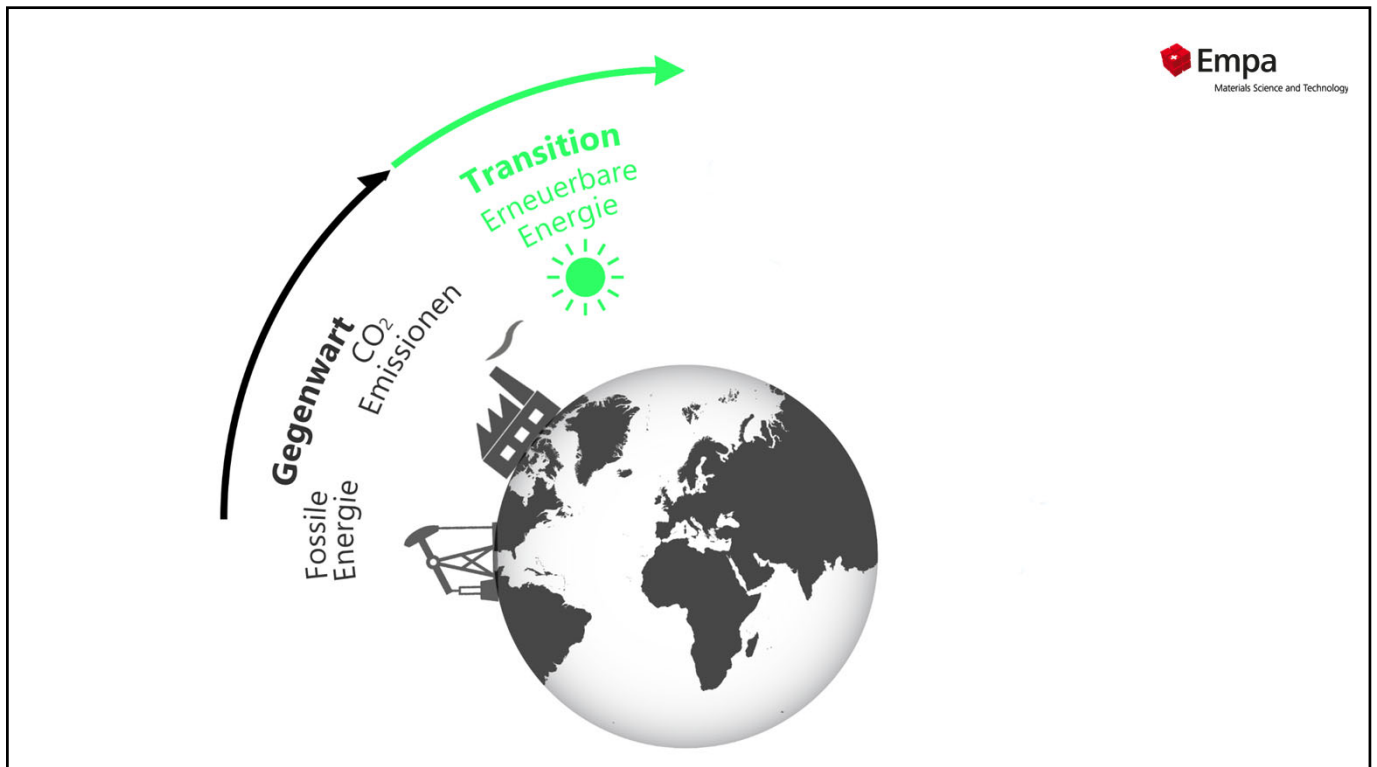
... Rest der Welt



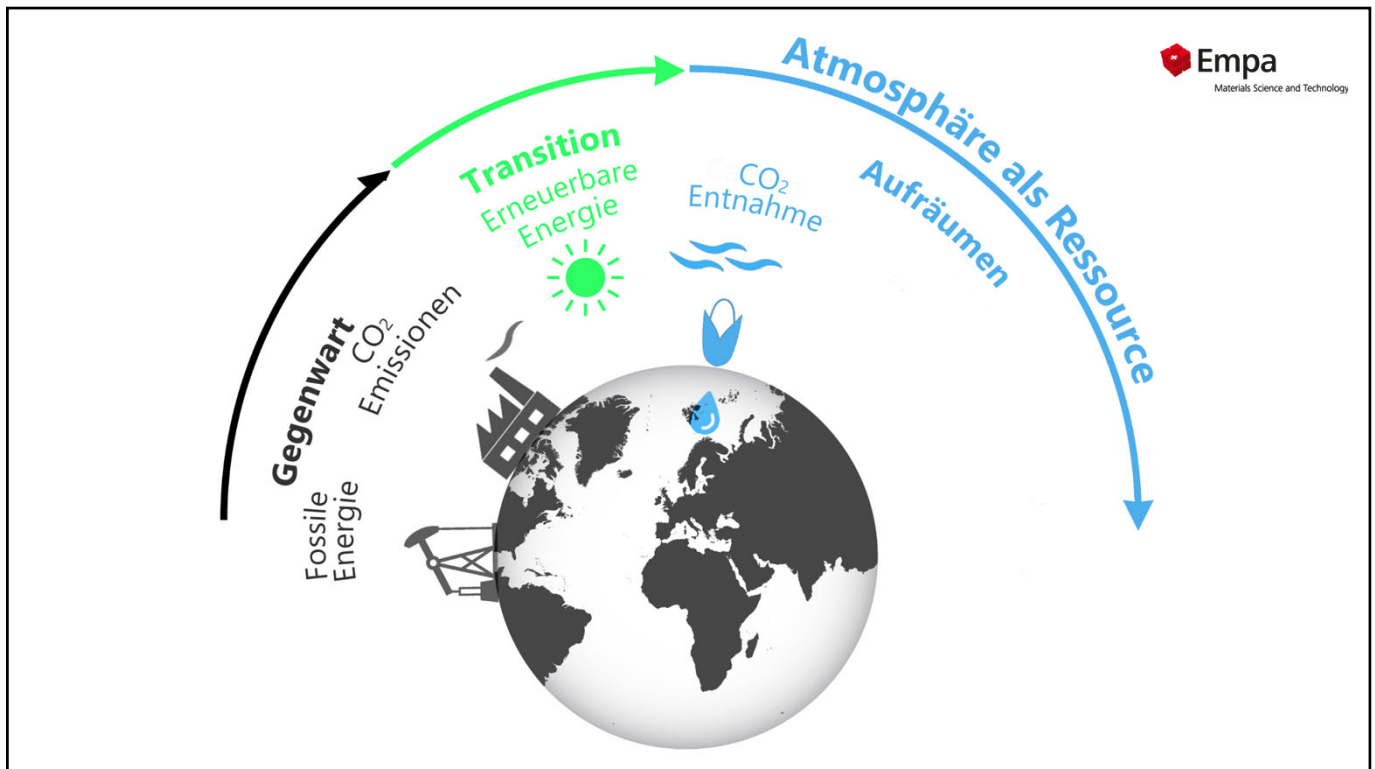
22



23



24

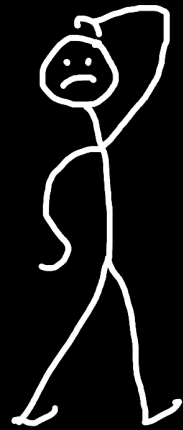


25

Quellen für die CO₂ Entnahme

The slide shows three images illustrating sources for CO₂ removal: a large industrial facility with multiple cylindrical storage tanks, a large blue ocean wave, and a dense forest of tall trees.

26



**Und wer soll das
bezahlen?**

27

Atmosphäre

1'280 Gt CO₂ 1850-2022

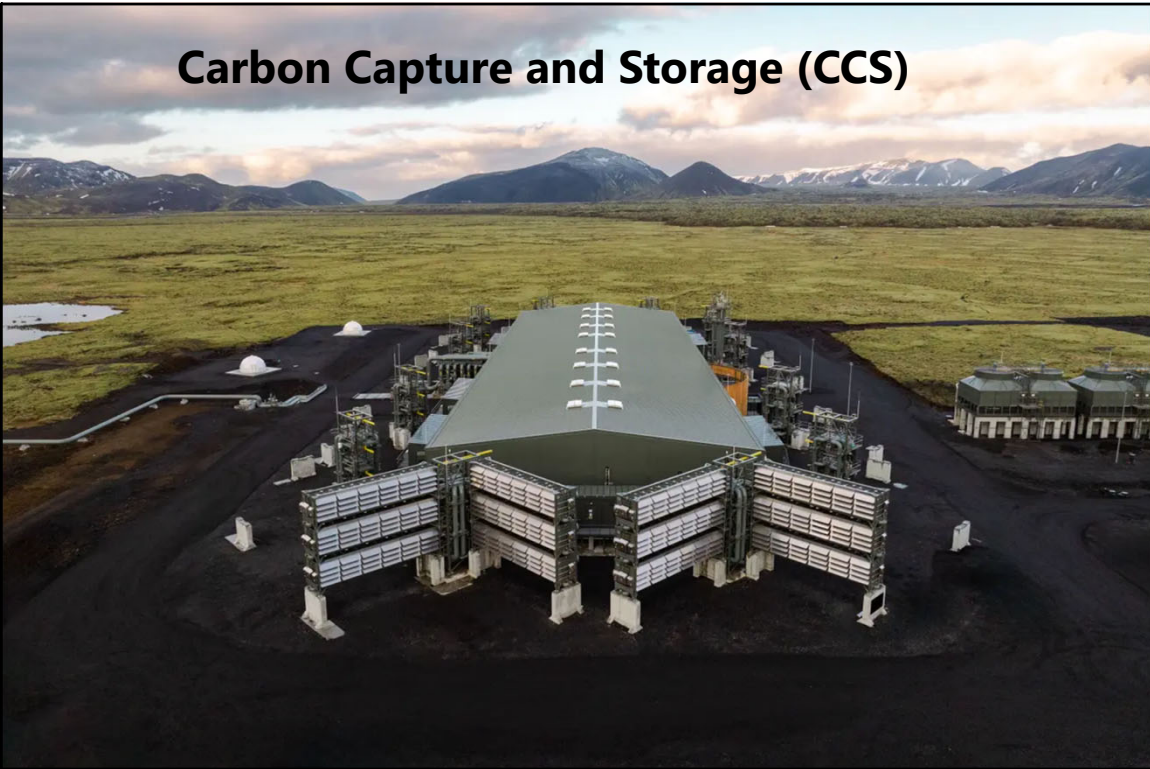
ca. 600 Gt CO₂ müssen
zurückgeholt werden



28

Carbon Capture and Storage (CCS)

Mammoth-Anlage von Climeworks in Island



29

Atmosphäre

1'280 Gt CO₂ 1850-2022

Ca. 600 Gt CO₂ müssen
zurückgeholt werden

Kosten Climeworks

ca. CHF 600/t



30

Sondermülldeponie Kölliken

664'000 t kontaminiertes
und entferntes Material

Gesamtkosten 850 Mio

CHF 1'280/t



31

Sondermülldeponie Bonfol

175'000 t kontaminiertes
und entferntes Material

Gesamtkosten 380 Mio

CHF 2'170/t



32

Atmosphäre

1'280 Gt CO₂ 1850-2022

Ca. 600 Gt CO₂ müssen
zurückgeholt werden

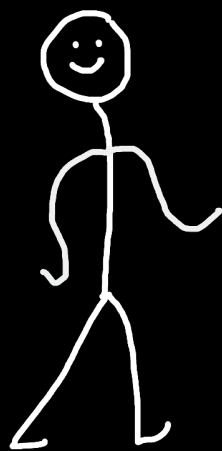
Kosten Climeworks

ca. CHF 600/t

**≈ CHF 360 Bio.
bzw. CHF 2.1 Bio/a über 170 Jahre**



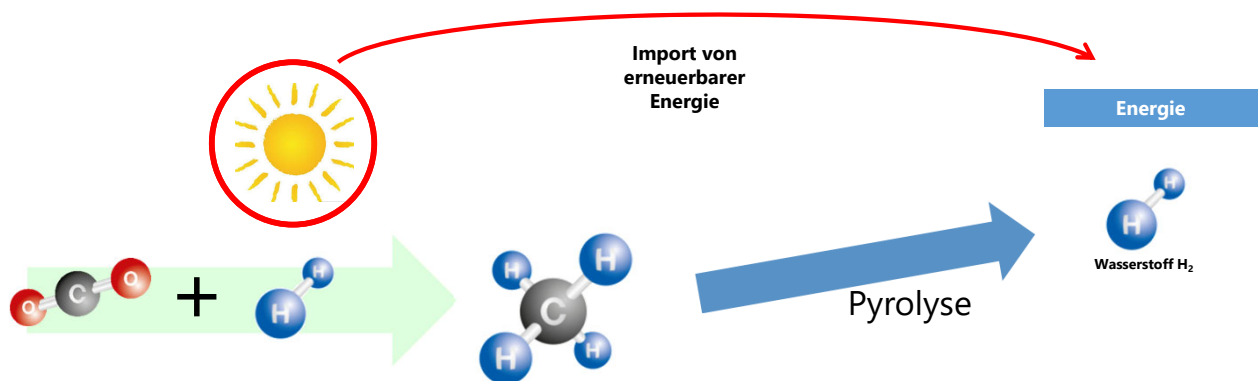
33



Added Value generieren!

34

Carbon Capture and Use



35

Deckung der CH-Winterstromlücke von 8 TWh

- 1.5 TWh in einem LNG-Tanker mit 250'000 m³
- 50% Verlust bei Pyrolyse -> 25 Tanker um 8 TWh Winterstrom zu importieren



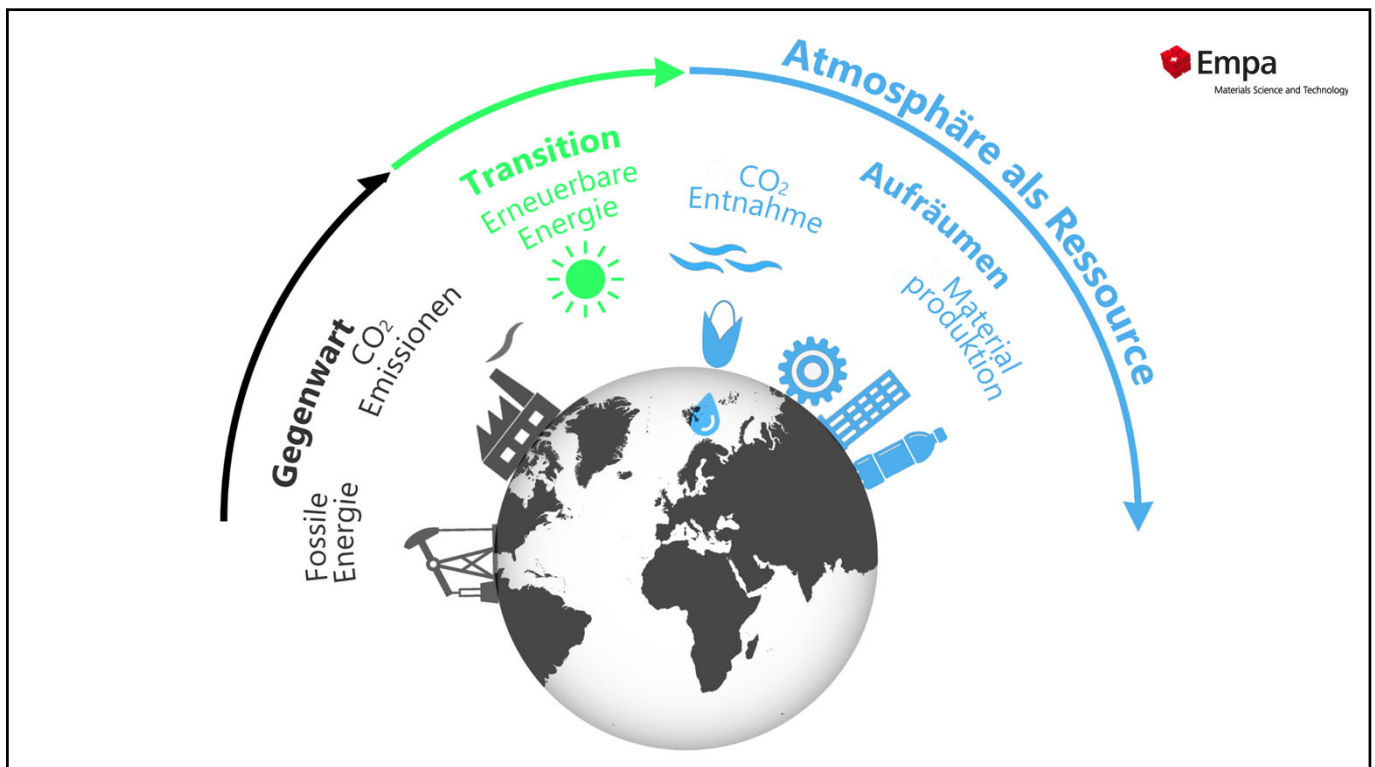
36

Deckung der CH-Winterstromlücke von 8 TWh

- 1.5 TWh in einem LNG-Tanker mit 250'000 m³
- 50% Verlust bei Pyrolyse -> 25 Tanker um 8 TWh Winterstrom zu importieren
(heute: ca. 90 Tanker Rohöl)

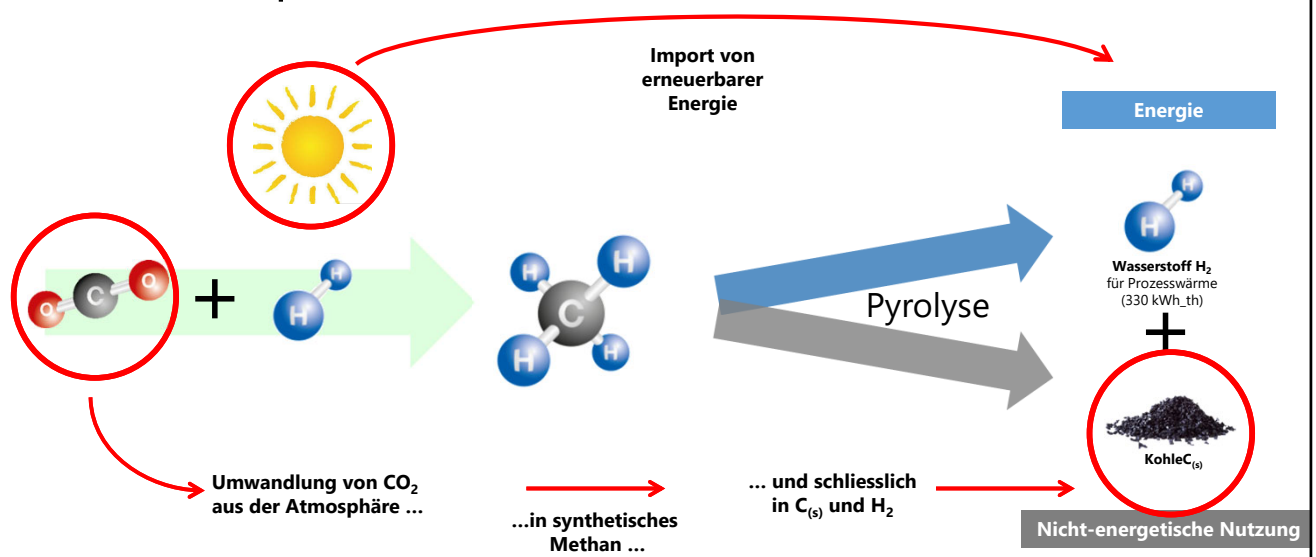


37



38

Carbon Capture and Use



39

Article

Global human-made mass exceeds all living biomass

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>

Received: 1 November 2019

Accepted: 9 October 2020

Published online: 9 December 2020

Check for updates

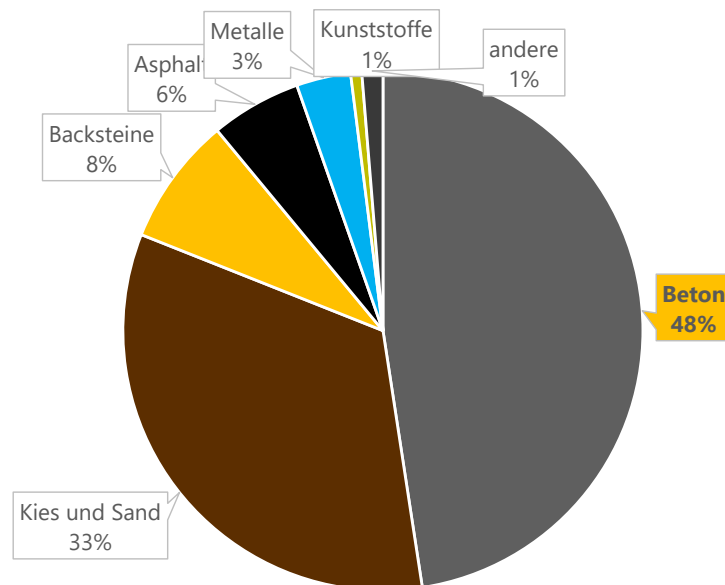
Emily Elhacham¹, Liad Ben-Uri¹, Jonathan Grozovski¹, Yinon M. Bar-On¹ & Ron Milo¹✉

Humanity has become a dominant force in shaping the face of Earth^{1–9}. An emerging question is how the overall material output of human activities compares to the overall natural biomass. Here we quantify the human-made mass, referred to as ‘anthropogenic mass’, and compare it to the overall living biomass on Earth, which currently equals approximately 1.1 teratonnes^{10,11}. We find that Earth is exactly at the crossover point; in the year 2020 (± 6), the anthropogenic mass, which has recently doubled roughly every 20 years, will surpass all global living biomass. On average, for each person on the globe, anthropogenic mass equal to more than his or her bodyweight is produced every week. This quantification of the human enterprise gives a mass-based quantitative and symbolic characterization of the human-induced epoch of the Anthropocene.

Quelle: Elhacham, E. et al. Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature* **588**, 442–444 (2020)

40

Zusammensetzung menschengemachter Materialien



41

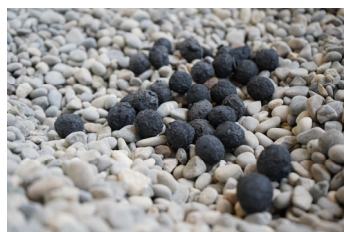
CO₂-negativer Beton – mehr als ein Traum

Kohlenstoffpulver



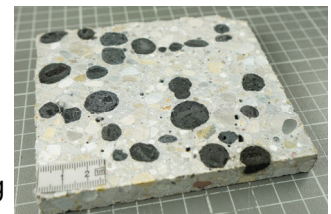
Granulierung
mit Zement

Leichte Gesteinskörnung



1/4
C-Gesteinskörnung

Leichtbeton



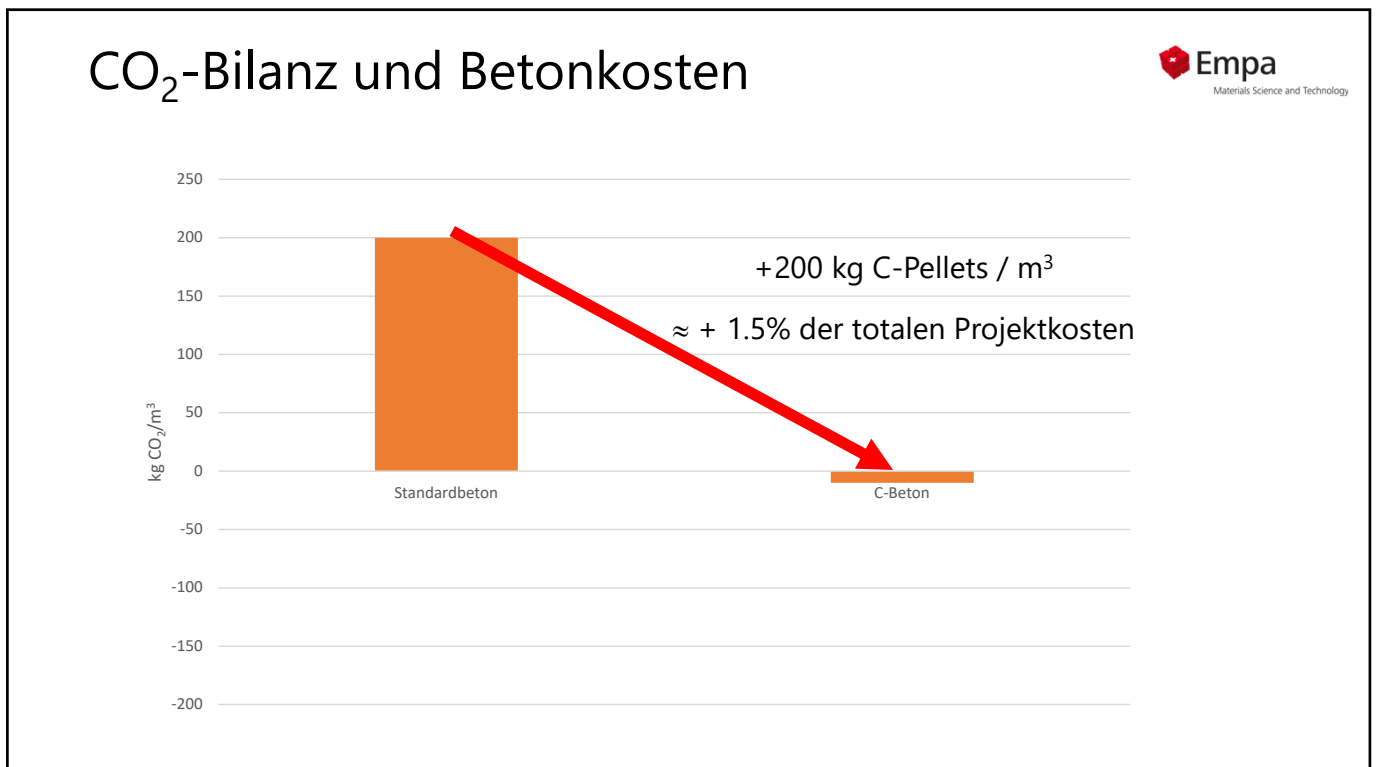
Festigkeitsklasse C30/37

Wyrzykowski, Lura et. al., J. of Cleaner Production, 434 (2024)

42

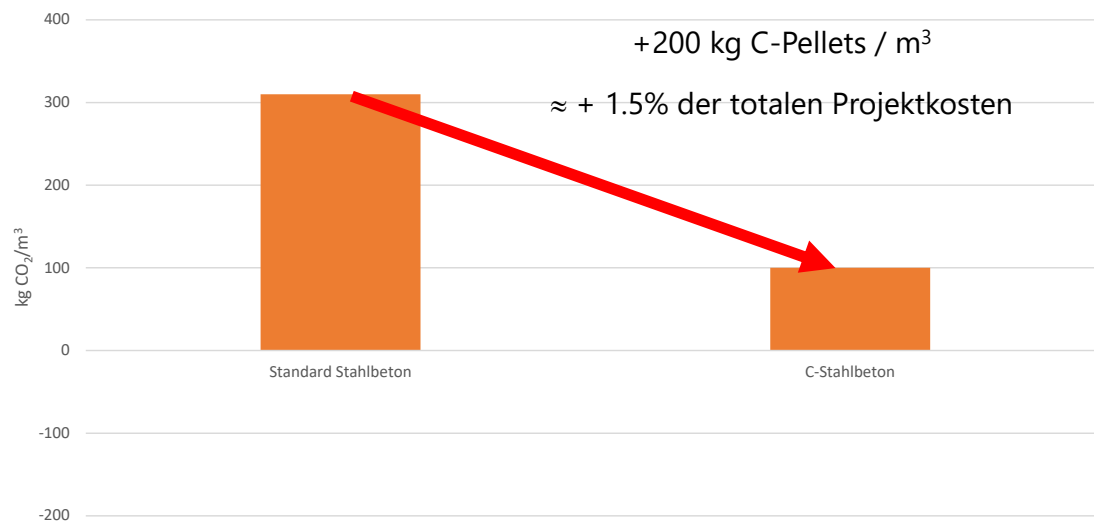


43



44

CO₂-Bilanz und Stahlbetonkosten



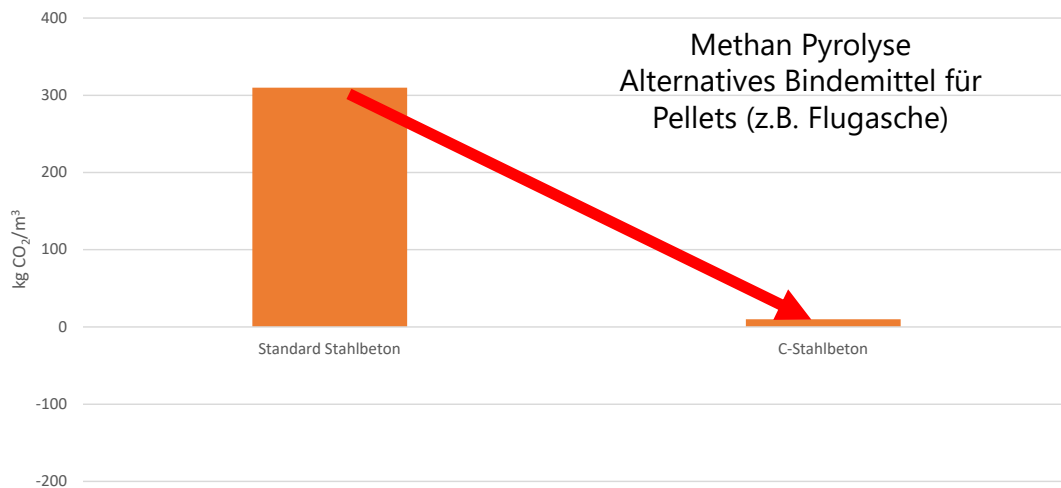
45

Zusätzliches Potential

- | | | |
|---|----|--|
| ■ Erhöhung des C-Gehalts in den Pellets
(C aus Methanpyrolyse) | -> | mehr C/m ³ |
| | -> | bessere mech.
Kennwerte |
| ■ Anderes Bindemittel für die Pellets | -> | kleinerer CO ₂
Footprint |

46

CO₂-Bilanz und Stahlbetonkosten



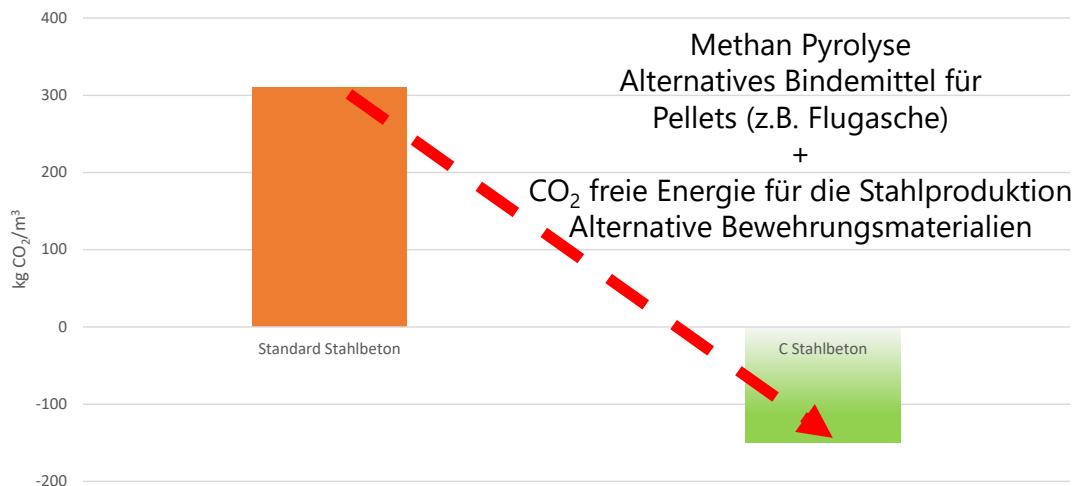
47

Zusätzliches Potential

- | | | |
|---|----|-------------------------------------|
| ■ Erhöhung des C-Gehalts in den Pellets
(C aus Methanpyrolyse) | -> | mehr C/m ³ |
| | -> | bessere mech. Kennwerte |
| ■ Anderes Bindemittel für die Pellets | -> | kleinerer CO ₂ Footprint |
| ■ Decarbonisierung der Energie für die Stahlproduktion | -> | kleinerer CO ₂ Footprint |
| und/oder | | |
| ■ Alternative Bewehrungsmaterialien
(z.B. Basalt) | -> | kleinerer CO ₂ Footprint |

48

CO₂-Bilanz und Stahlbetonkosten



49

Beton als permanente Kohlenstoffsенке

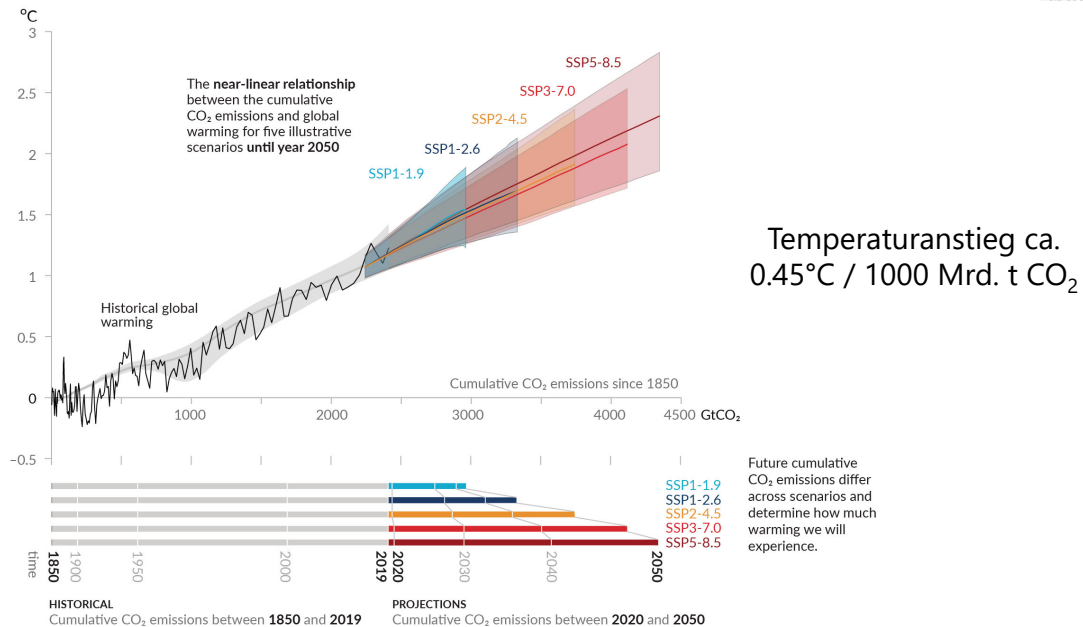
Senkenpotential

- Globaler Betonbedarf ca. 35 Mrd t/a
- 10% m/m C im Beton 3.5 Mrd t C bzw. 13 Mrd t CO₂

50

Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850–1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



Quelle:

Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC

51

Beton als permanente Kohlenstoffsенке

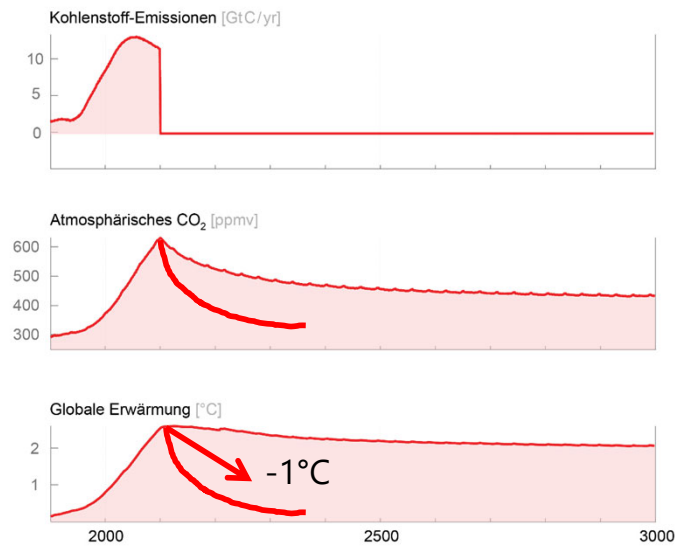
Senkenpotential

- Globaler Betonbedarf ca. 35 Mrd t/a
- 10% m/m C im Beton 3.5 Mrd t C bzw. 13 Mrd t CO₂
- Temperaturreduktion
 - 0.006°C / a
 - 0.06°C / Dekade
 - 0.6°C / Jahrhundert
 - **1°C in 170 Jahren**

52

Unsere CO₂-Emissionen

Altlasten für die Zukunft



Solomon et al. 2009

53

**Und welche
Rolle spielt
der Holzbau?**

Ferienhäuser in Leis
P. Zumthor



54

Potential Holzbau: Netto Null ermöglichen

- Als CO₂-armer Baustoff kann er massgeblich dazu beitragen, dass wir uns Richtung Netto Null bewegen
- Je mehr Holz langfristig im Bauwerk eingelagert ist, umso besser, wir kaufen uns damit Zeit

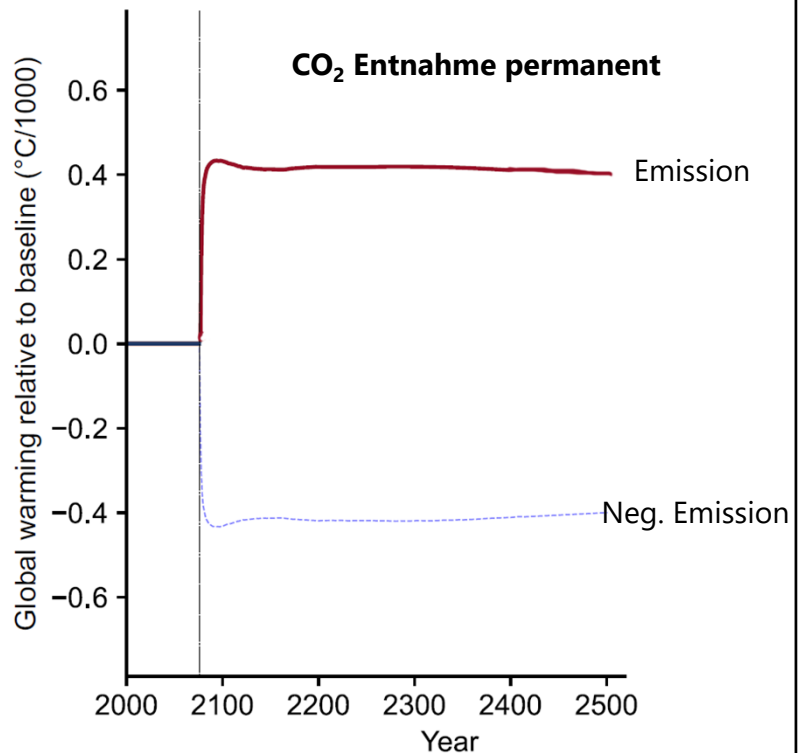


55

Negative Emissionen: was muss erfüllt sein?

Ziel:

mit 1 t NET wird 1 t CO₂
kompensiert



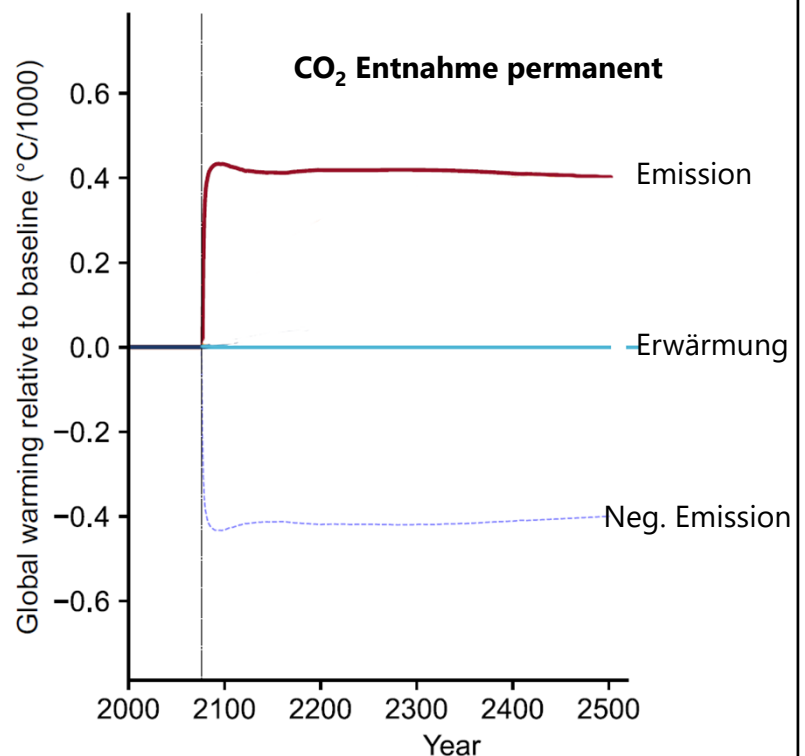
Quelle: C. Brunner, Z. Hausfather, R. Knutti (2024)

56

Negative Emissionen: was muss erfüllt sein?

Ziel:

mit 1 t NET wird 1 t CO₂
kompensiert



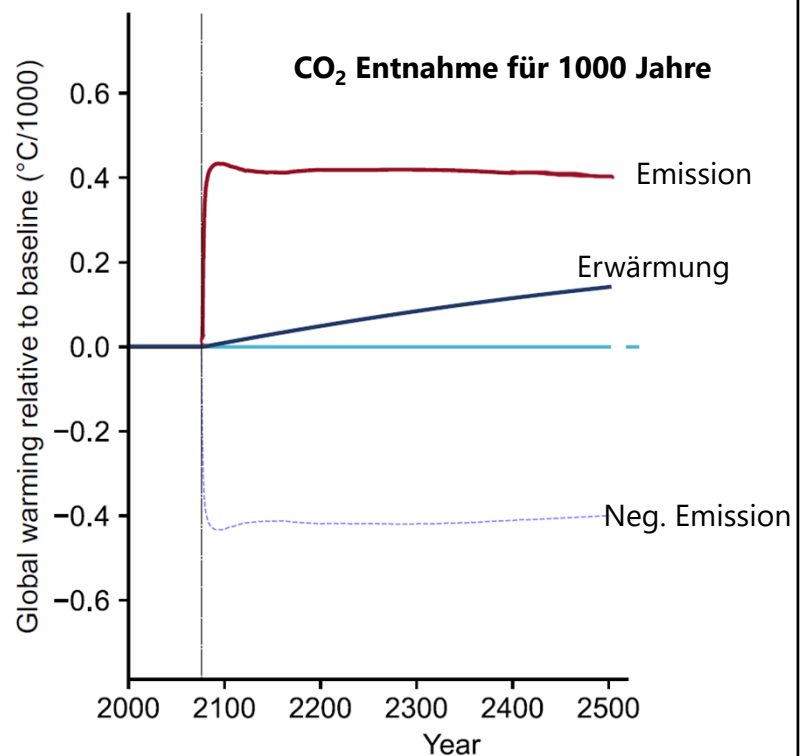
Quelle: C. Brunner, Z. Hausfather, R. Knutti (2024)

57

Negative Emissionen: was muss erfüllt sein?

Ziel:

mit 1 t NET wird 1 t CO₂
kompensiert



Quelle: C. Brunner, Z. Hausfather, R. Knutti (2024)

58

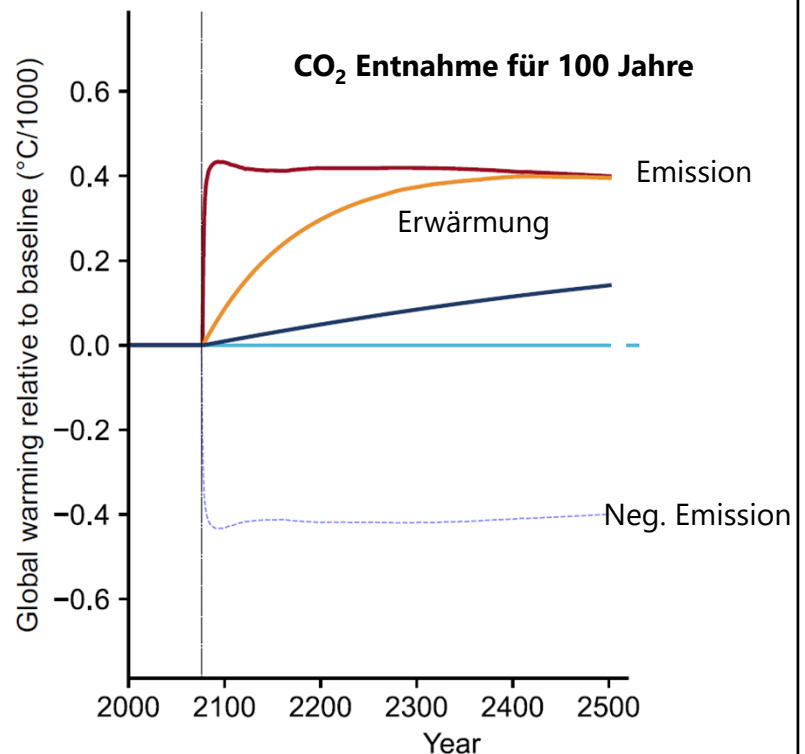
Negative Emissionen: was muss erfüllt sein?

Ziel:

mit 1 t NET wird 1 t CO₂
Kompensiert

Fakt:

Dazu muss das CO₂
mindestens während
1'000 Jahren von der
Atmosphäre fern
gehalten werden



Quelle: C. Brunner, Z. Hausfather, R. Knutti (2024)

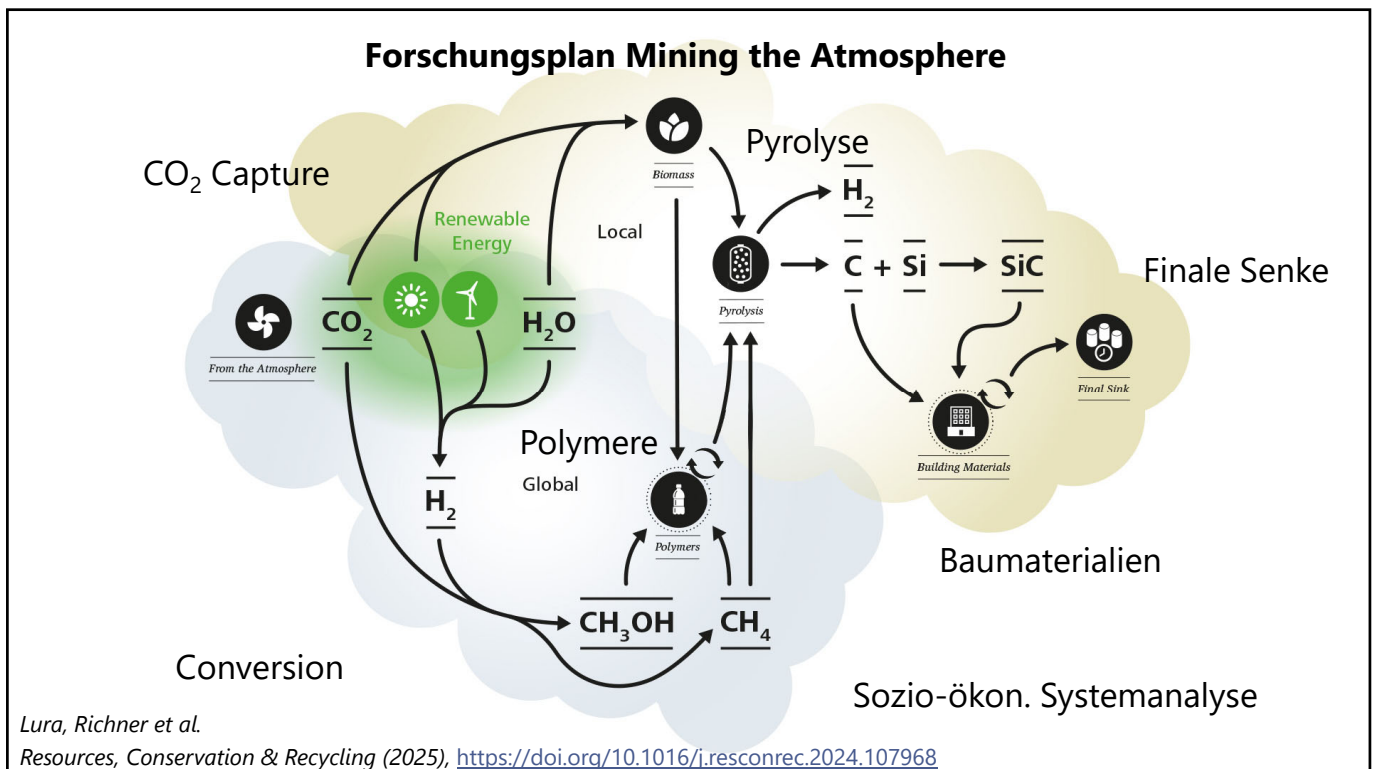
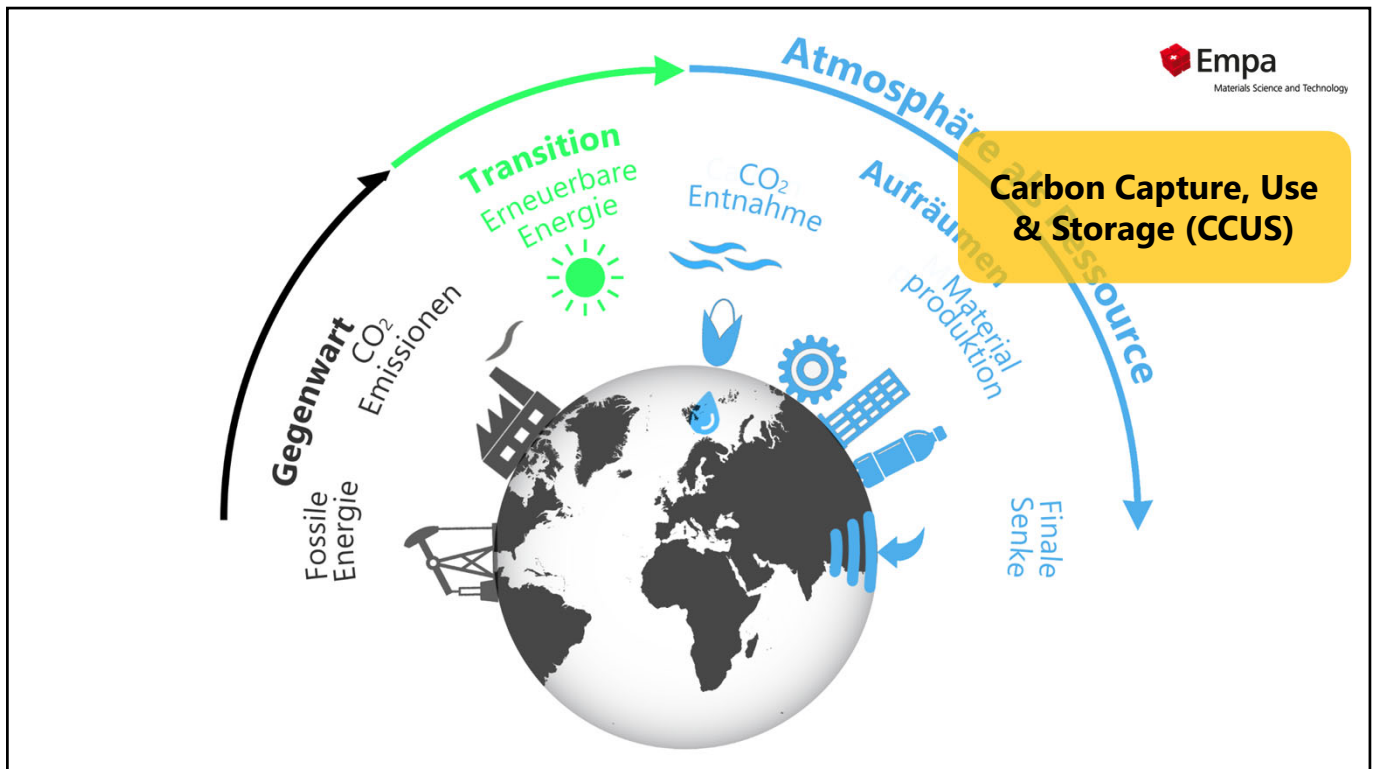
59

Potential Holzbau: langfristig Biomasse für NET bereitstellen



- Schritt 1: Holz möglichst lange im Kreislauf halten
- Schritt 2: am Ende der Lebensdauer entweder verbrennen in Kombination mit CO₂-Capture und anschliessender Speicherung oder Pyrolyse gemäss MtA-Konzept

60



Wir schaffen das nur im Team –
Sind Sie dabei?



63

Vision Mining the Atmosphere



Wir entwickeln Materialien und Prozesse um die Transition
von einer CO₂-emittierenden zu einer CO₂-bindenden
Gesellschaft zu fördern.

64