

Willkommen
Welcome
Bienvenue

Bauen mit CO₂ aus der Atmosphäre

Tech for NetZero Briefing
9. September 2026

Dr. Peter Richner
Co-Leiter Climate Solutions Hub
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%

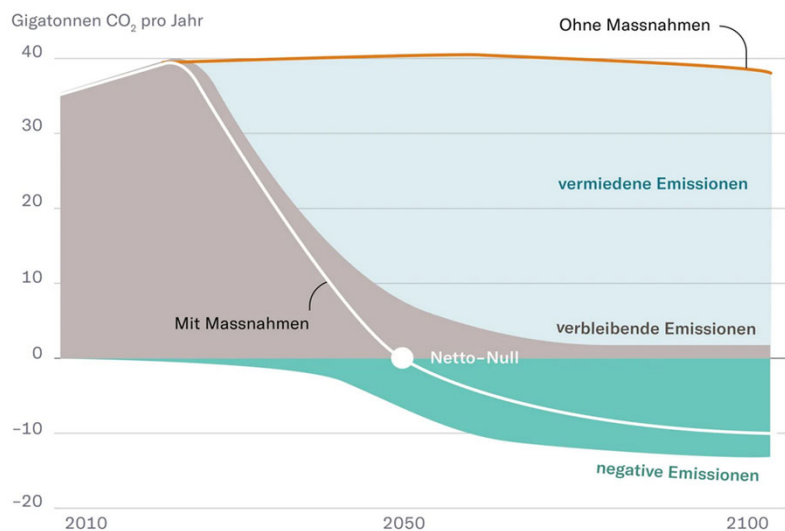
Art. 3 Ziel der Verminderung von Treibhausgasemissionen und der Anwendung von Negativemissionstechnologien

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



Quelle: IPCC, NZZ

1

CO₂ so weit wie möglich reduzieren

Energiesystem decarbonisieren

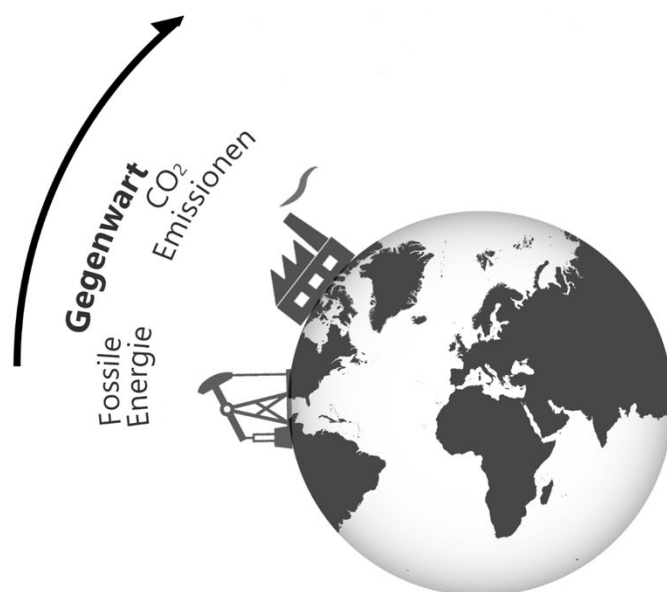
Unvermeidbare Emissionen neutralisieren

2

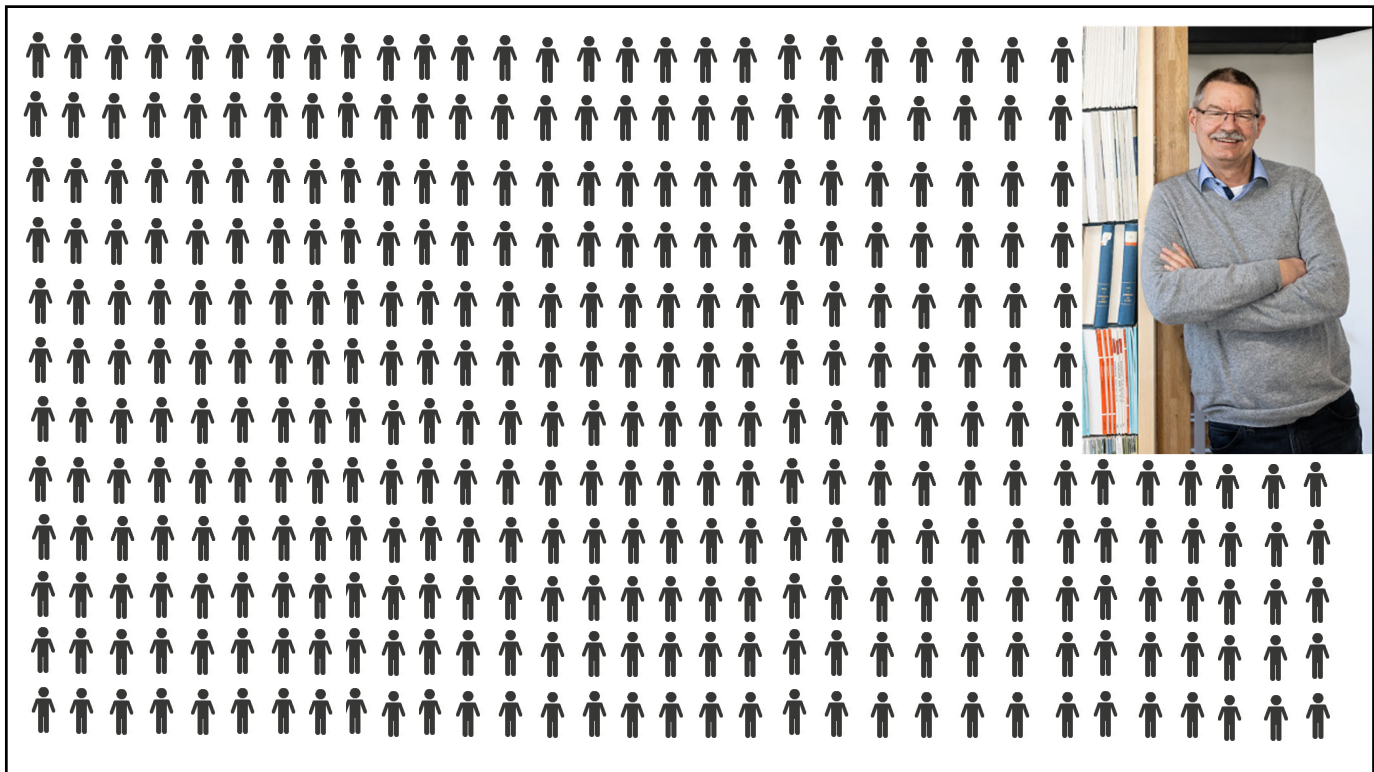
CO₂ aus der Atmosphäre entfernen

Negative Emissionen realisieren

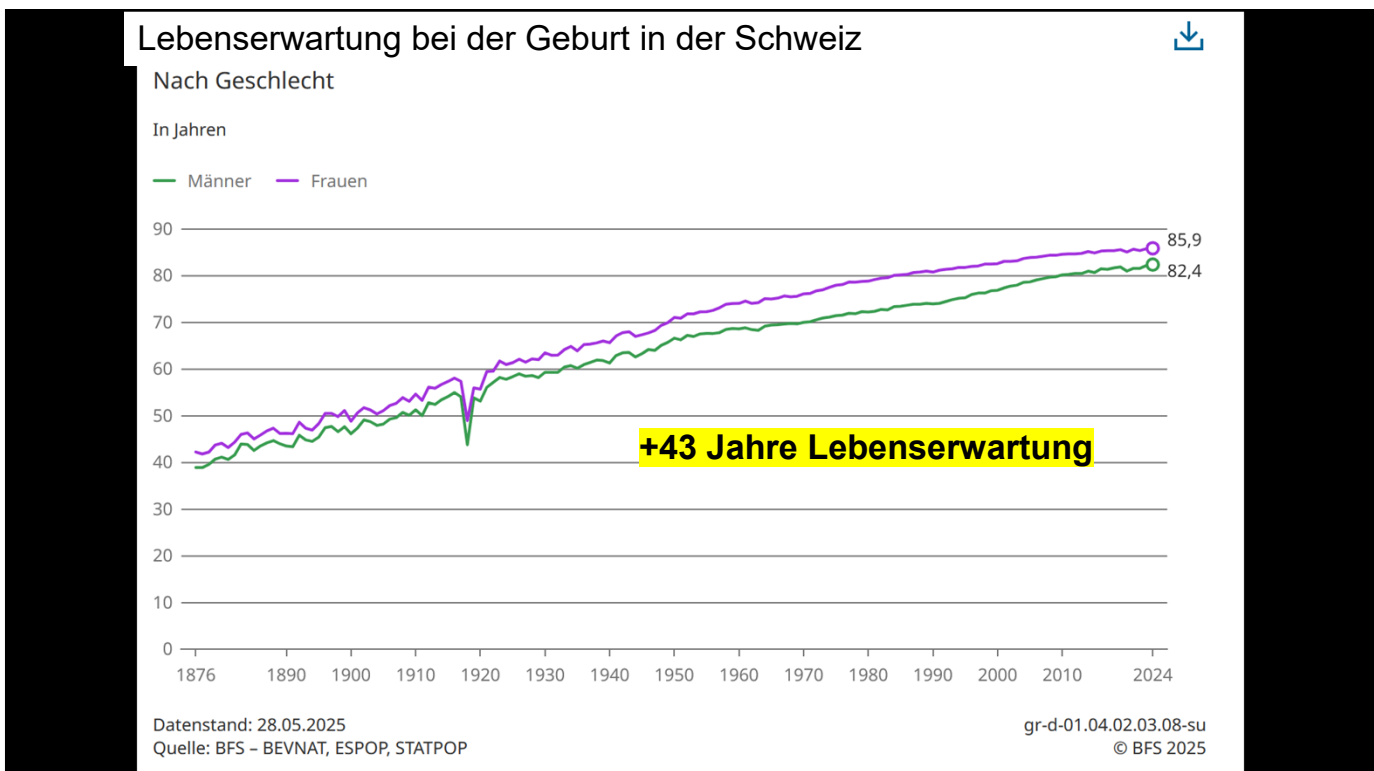
3



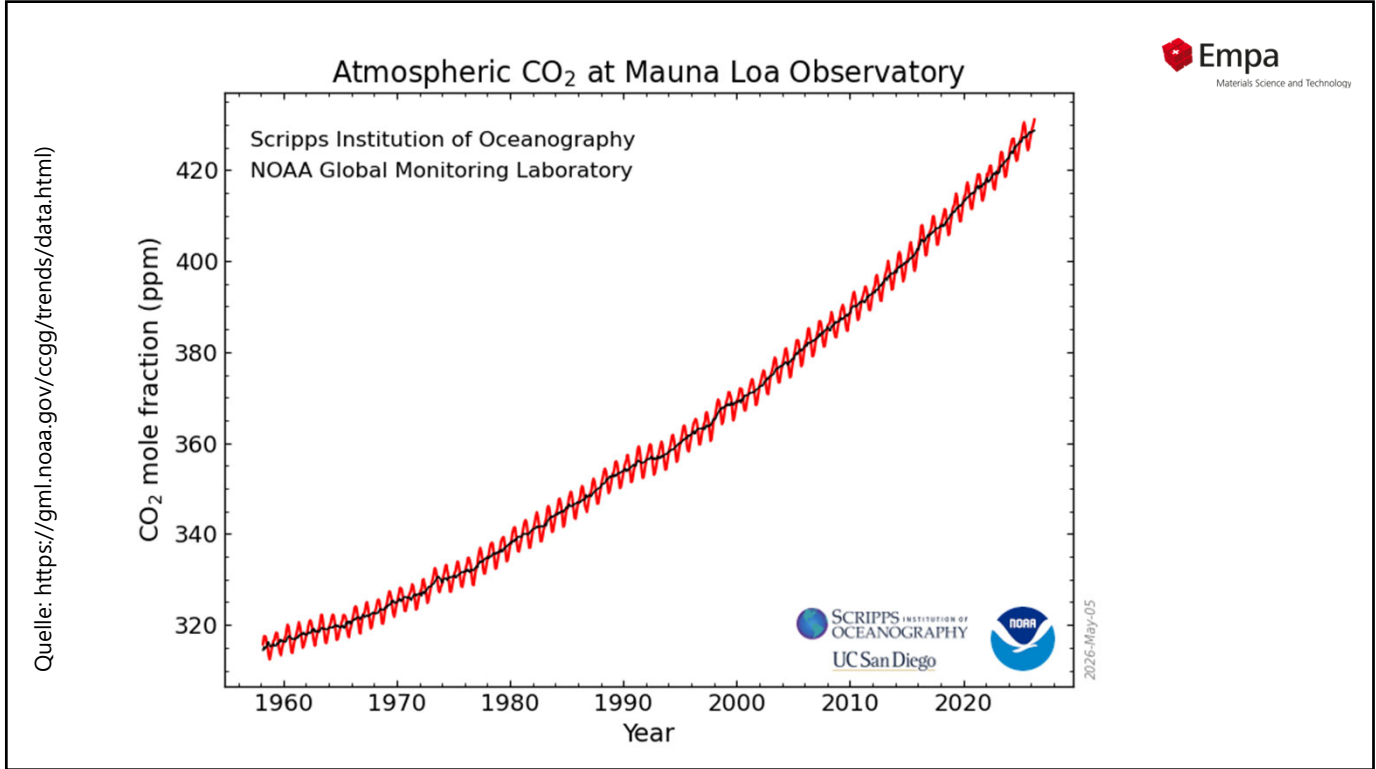
4



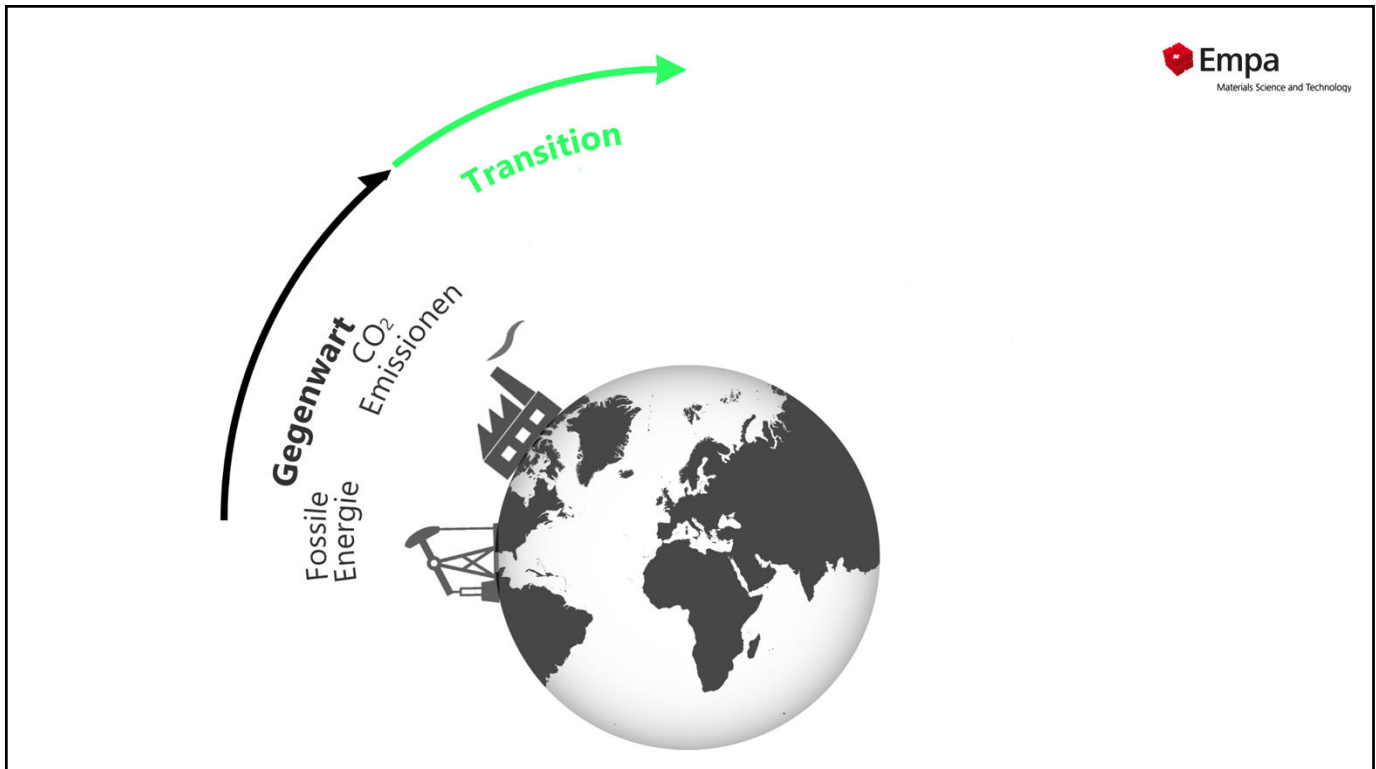
5



6



7



8

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

Ahmed Zaki Yamani, 1973
Saudischer Ölminister

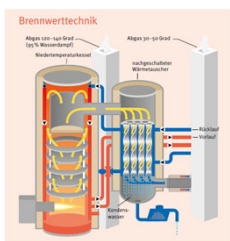


9

Effizienz auf Steroiden: Elektrifizierung



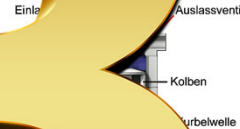
■ Wärme



Wirkungsgrad

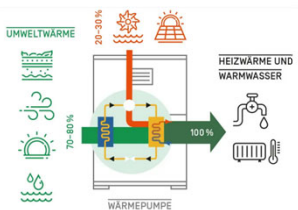
Brennwertkessel: **99%**

■ Mechanische Arbeit



Wirkungsgrad

Benzinmotor: **~30%**



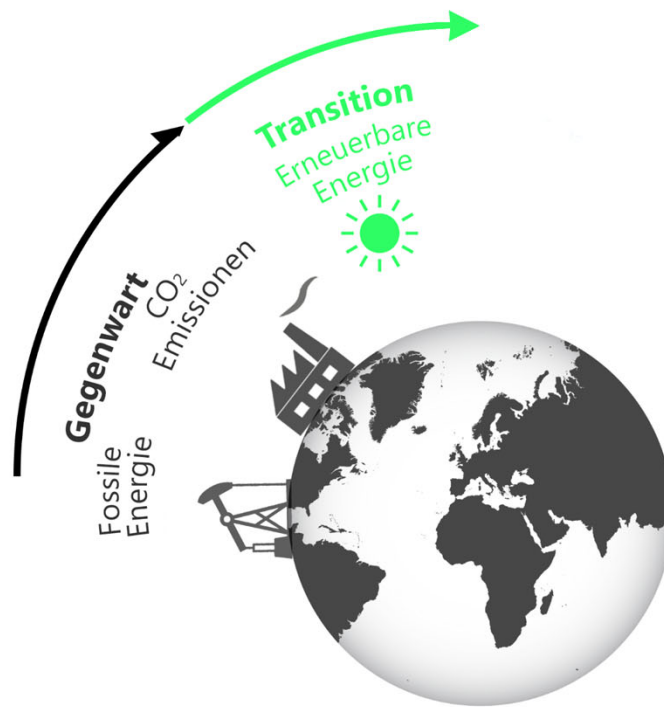
Luft-Wasser
Wärmepumpe

Elektromotor **90%**
(plus Rekuperations-
möglichkeit)

Quellen: Avenergy und energieschweiz

Quellen: auto schweiz und energieschweiz

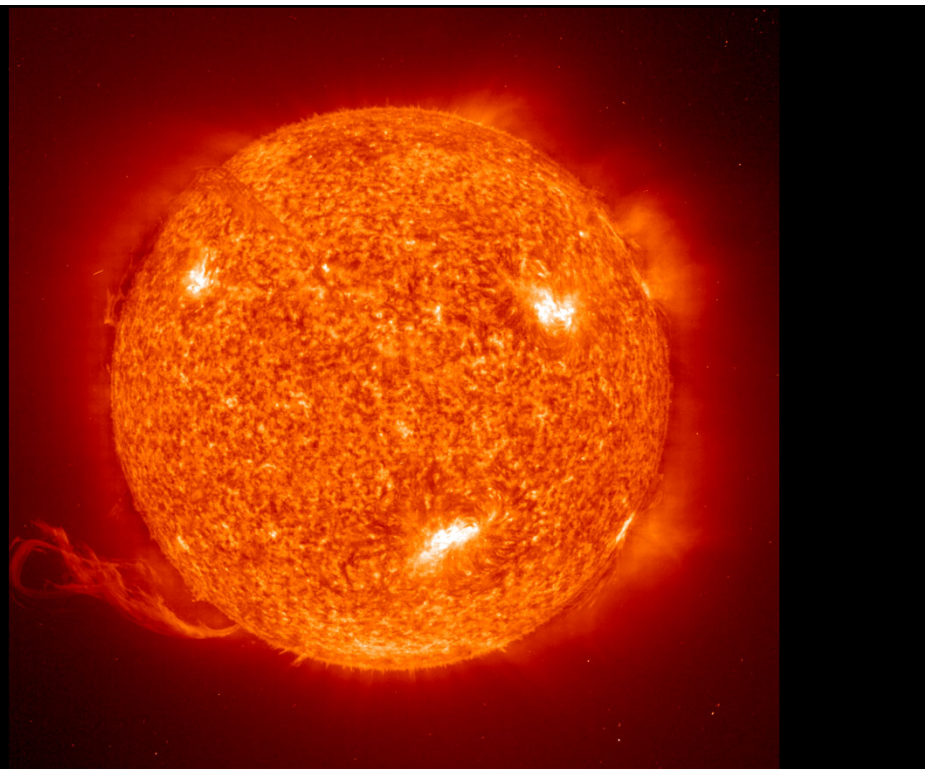
10



11

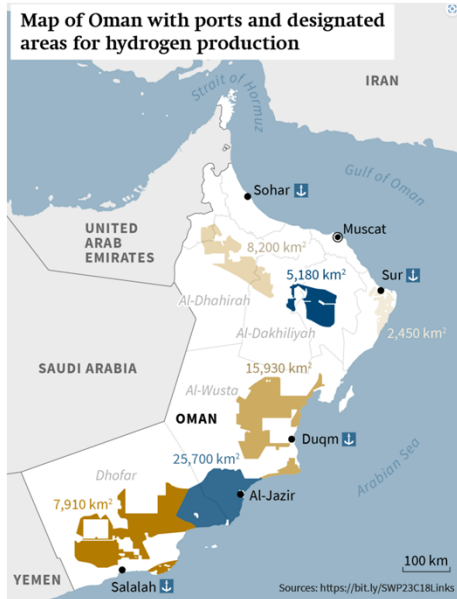
Sonnenenergie:
 $1,5 \cdot 10^{18}$ kWh/a

Globaler Energiebedarf:
 $1,7 \cdot 10^{14}$ kWh/a
 $\approx 0.01\%$



12

Ausbau von PV im Sonnengürtel der Erde



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 ENERGY SCALE PV OMAN



Sterling and Wilson Solar built this 125 MWp project in Oman

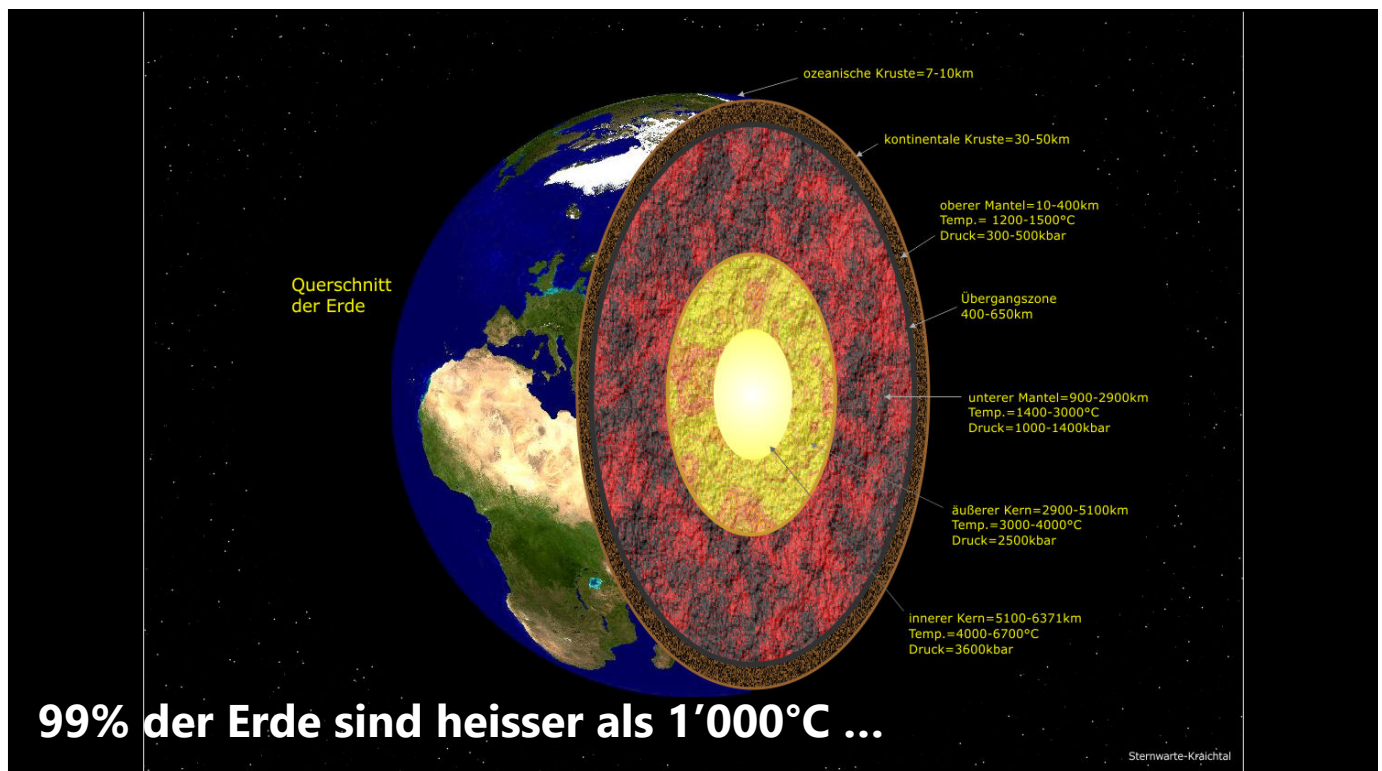
Image: Sterling and Wilson Solar

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

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

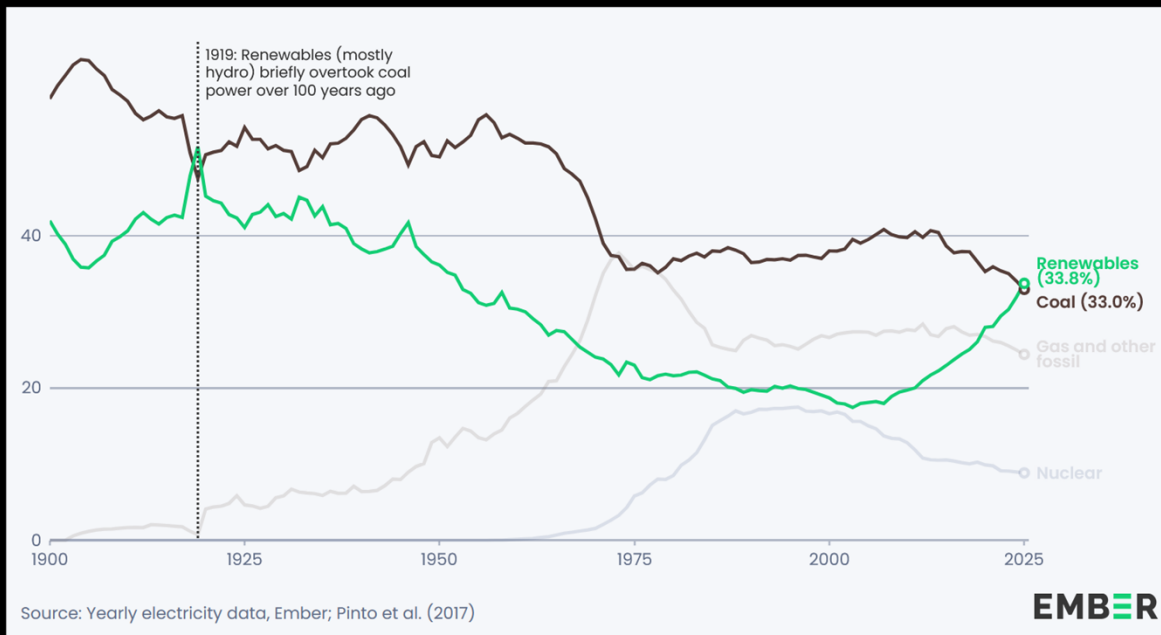
■ **Gestehungskosten: 1-2 Rp/kWh**

13

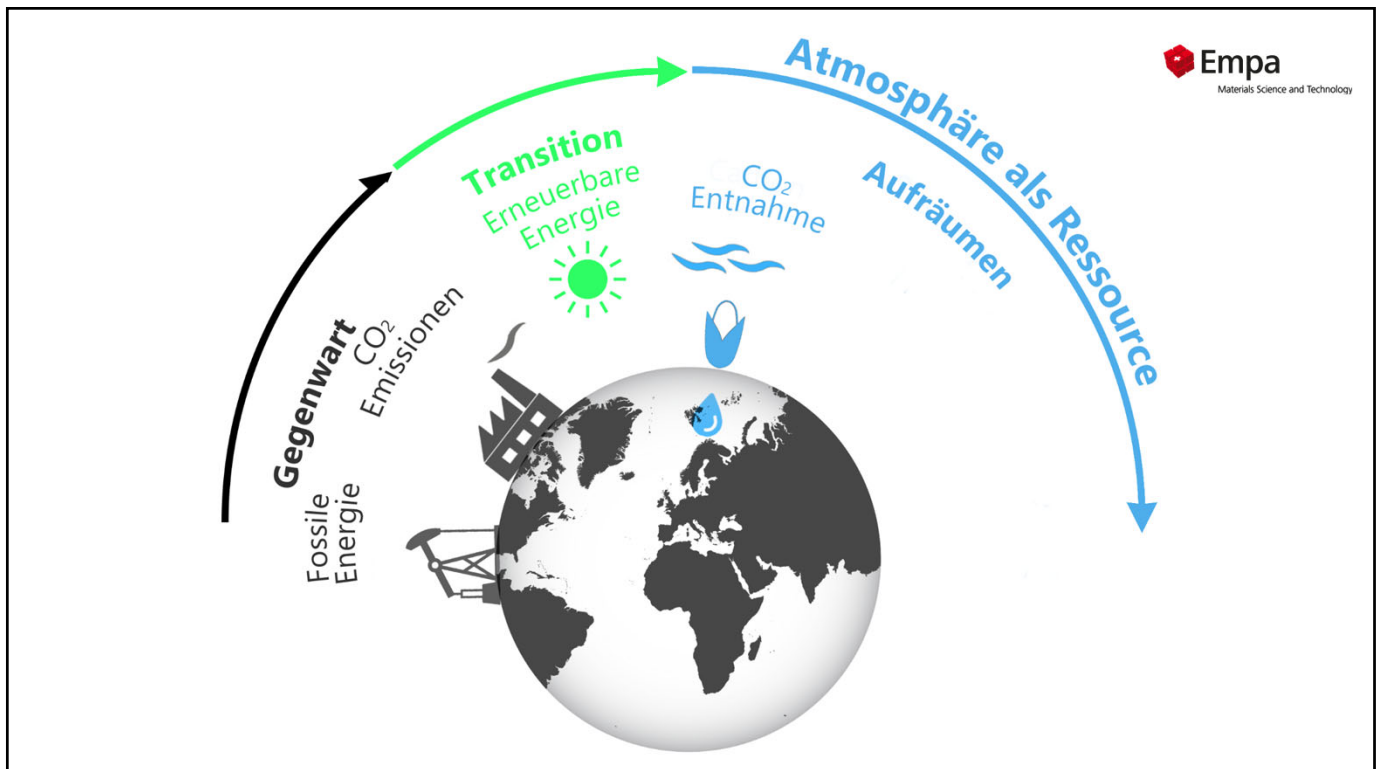


14

Anteile Globale Stromproduktion [%]

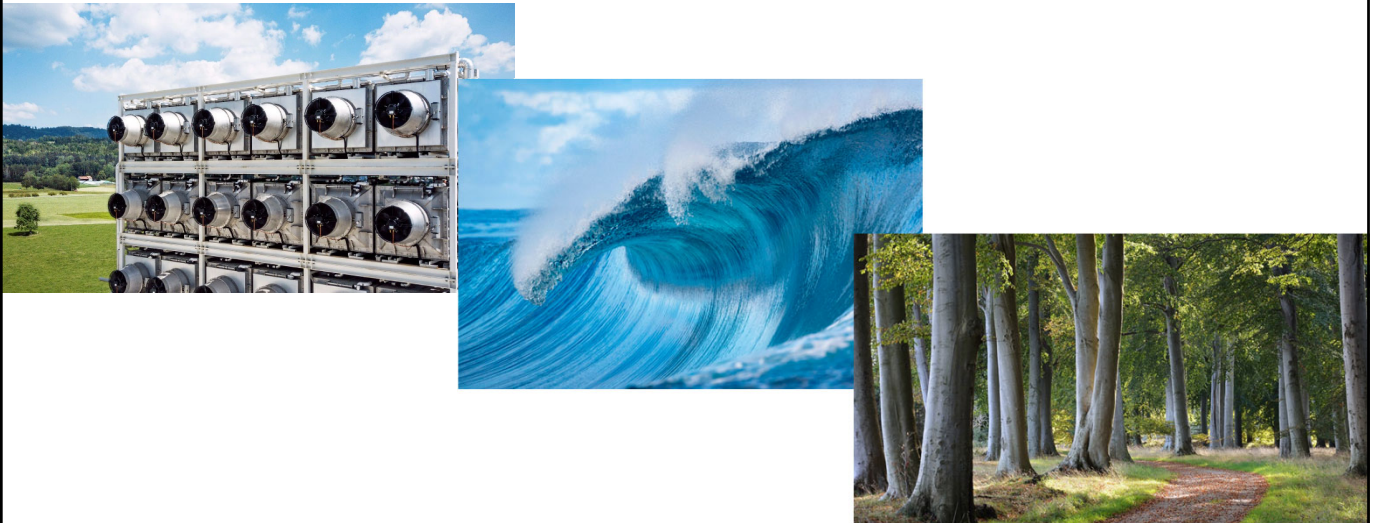


15



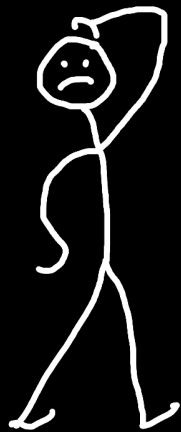
16

Quellen für die CO₂ Entnahme



17

**Und wer soll das
bezahlen?**



18

Atmosphäre

1'280 Gt CO₂ 1850-2022

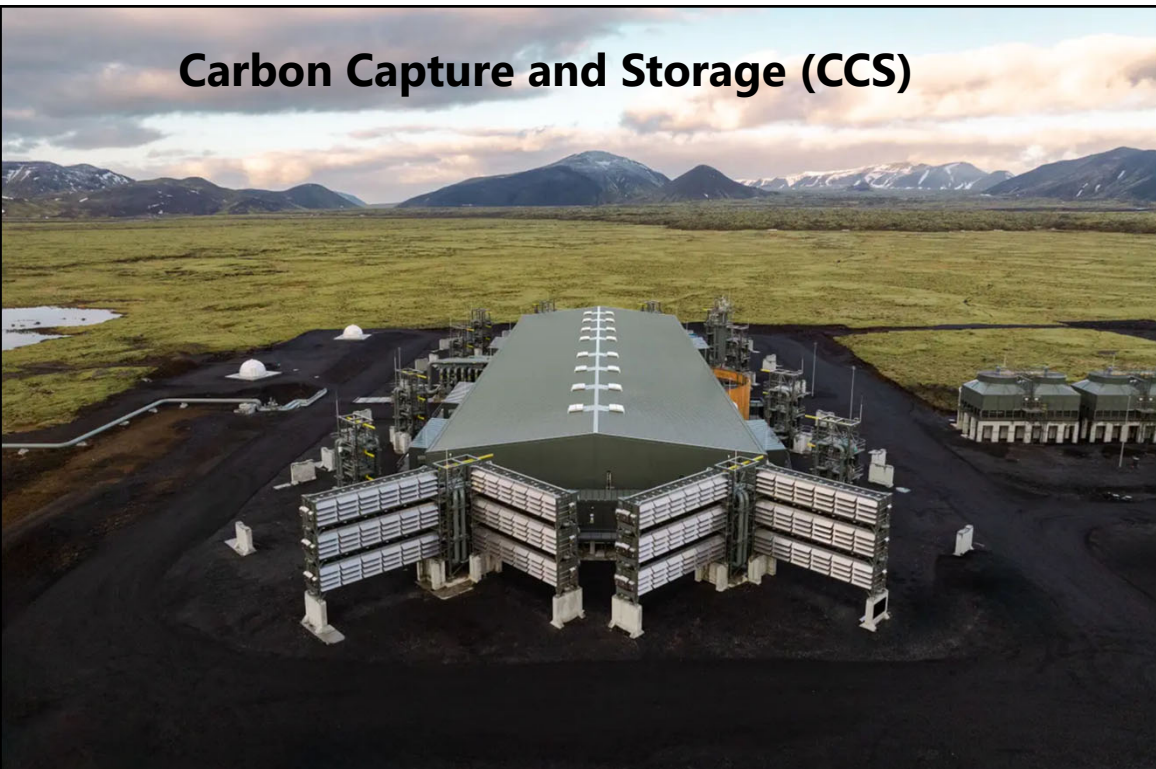
ca. 600 Gt CO₂ müssen
zurückgeholt werden



19

Carbon Capture and Storage (CCS)

Mammoth-Anlage von Climeworks in Island



20

Atmosphäre

1'280 Gt CO₂ 1850-2022

Ca. 600 Gt CO₂ müssen
zurückgeholt werden

Kosten Climeworks

ca. CHF 600/t



21

Sondermülldeponie Kölliken

664'000 t kontaminiertes
und entferntes Material

Gesamtkosten 850 Mio

CHF 1'280/t



22

Atmosphäre

1'280 Gt CO₂ 1850-2022

Ca. 600 Gt CO₂ müssen
zurückgeholt werden

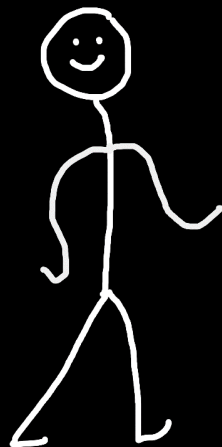
Kosten Climeworks

ca. CHF 600/t

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



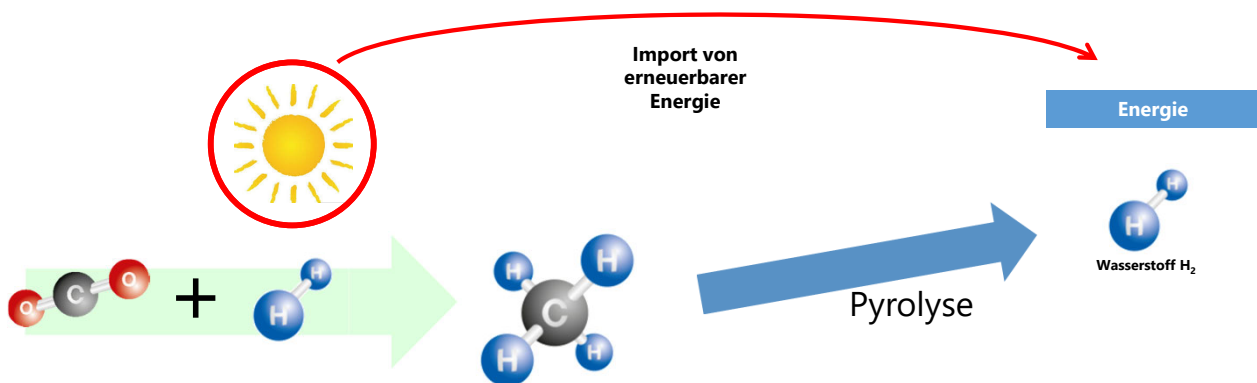
23



Added Value generieren!

24

Carbon Capture and Use



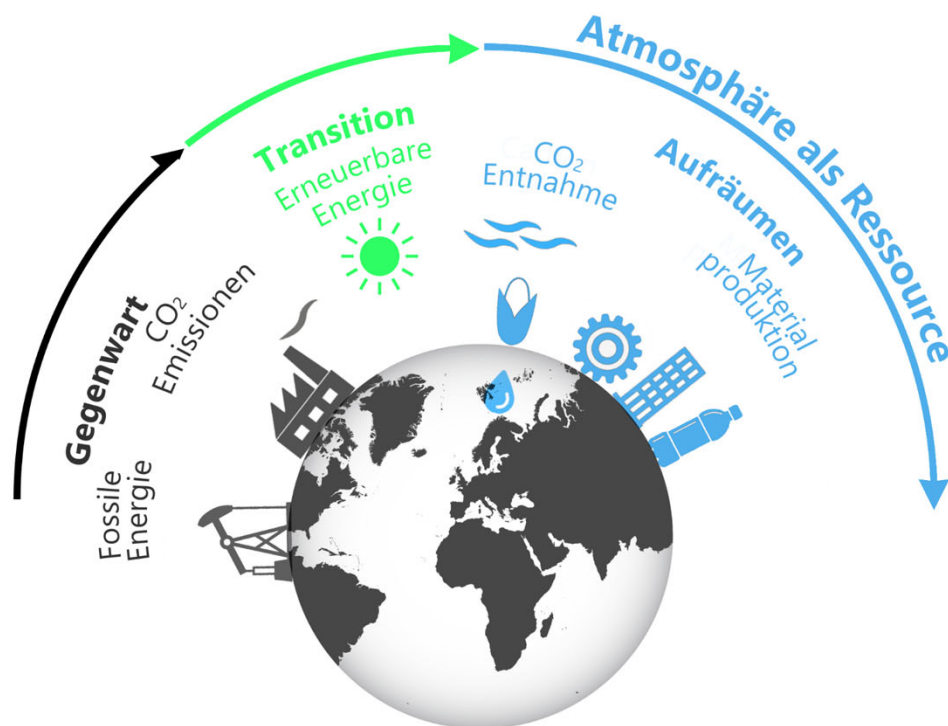
25

Deckung der CH-Winterstromlücke von 8 TWh

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

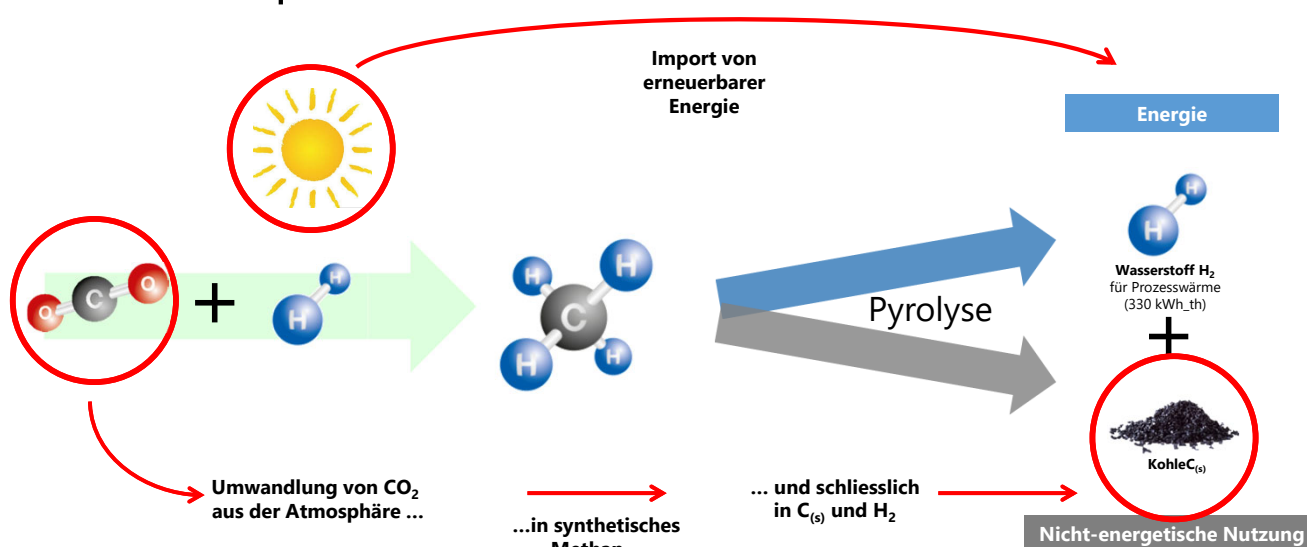


26



27

Carbon Capture and Use



28

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

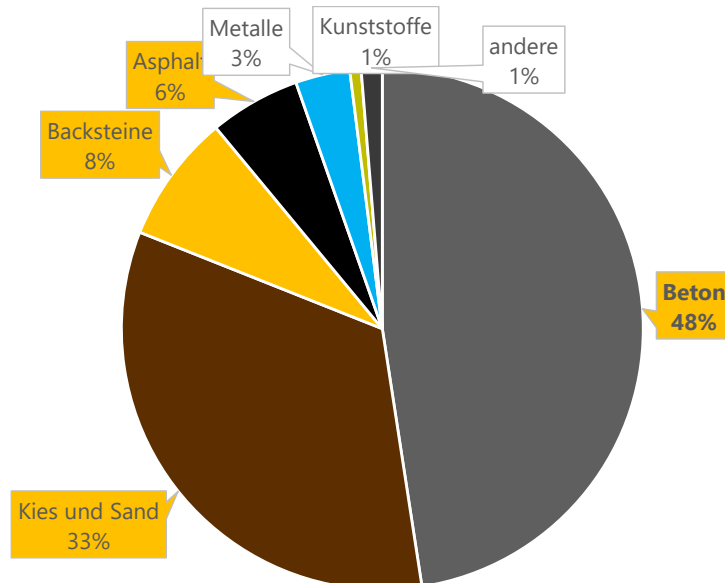
Published online: 9 December 2020

 Check for updates

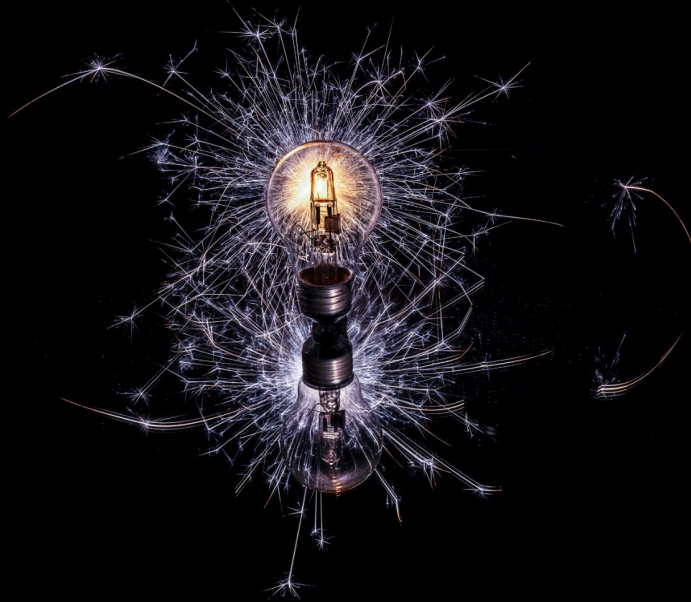
Emily Elhacham¹, Liad Ben-Uri¹, Jonathan Grozovski¹, Yinon M. Bar-On¹ & Ron Milo^{1✉}

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.

Zusammensetzung menschgemachter Materialien



Was wäre, wenn die gebaute Umwelt zur CO₂-Senke würde?



31

Kohlenstoff-Pellets als leichte Gesteinskörnungen

M. Wyrzykowski, N. Toropovs, F. Winnefeld, P. Lura

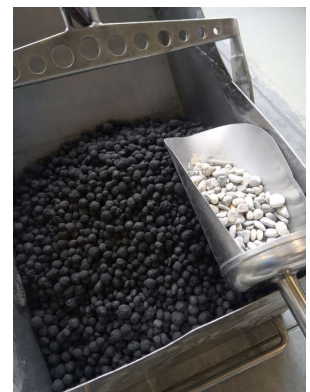
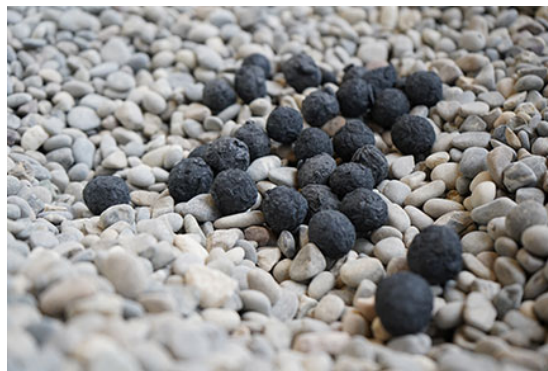


Netto CO₂ Bilanz der Pellets: **-1.05 kg CO₂/kg Pellet** (CO₂ Senke!)

Physikalische Eigenschaften

- Korngrösse: 4-32 mm
- Dichte: 1.0-1.5 g/cm³

**PK+Wasser+Zement
~(2:2:1)
Pelletierung +
Aushärten**

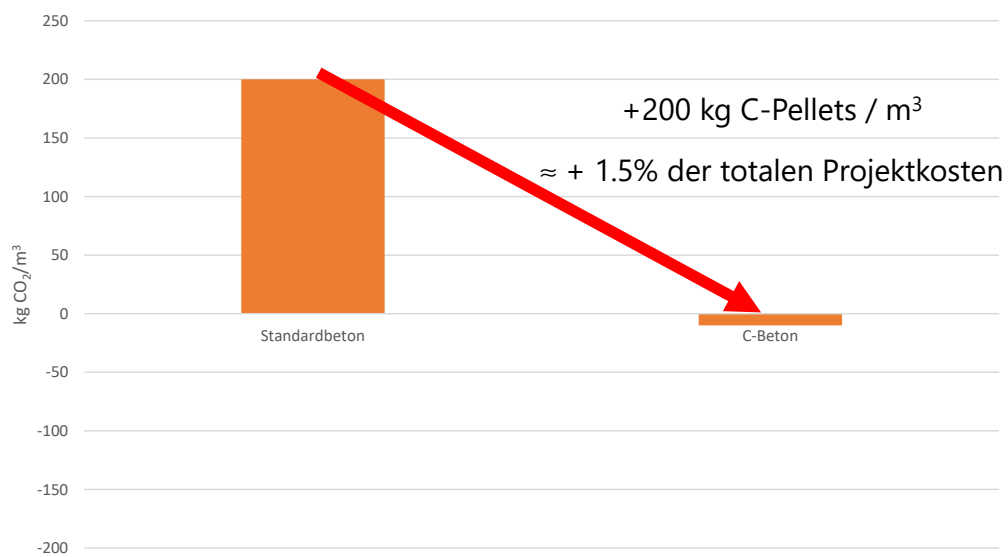


32



35

CO₂-Bilanz und Betonkosten



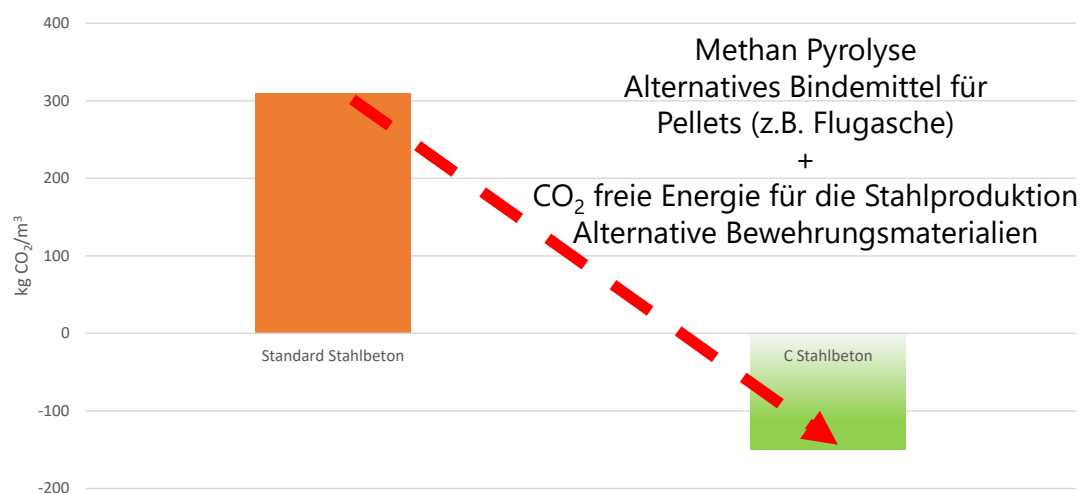
36

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 |

37

CO₂-Bilanz und Stahlbetonkosten



38

Beton als permanente Kohlenstoffsенke

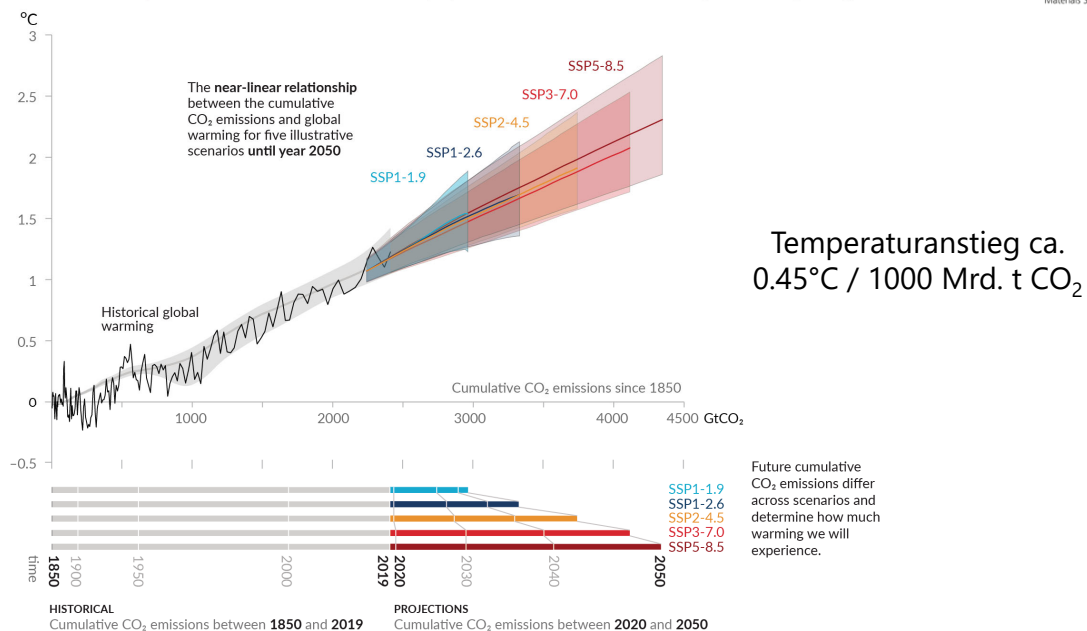
Senkenpotential

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

39

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

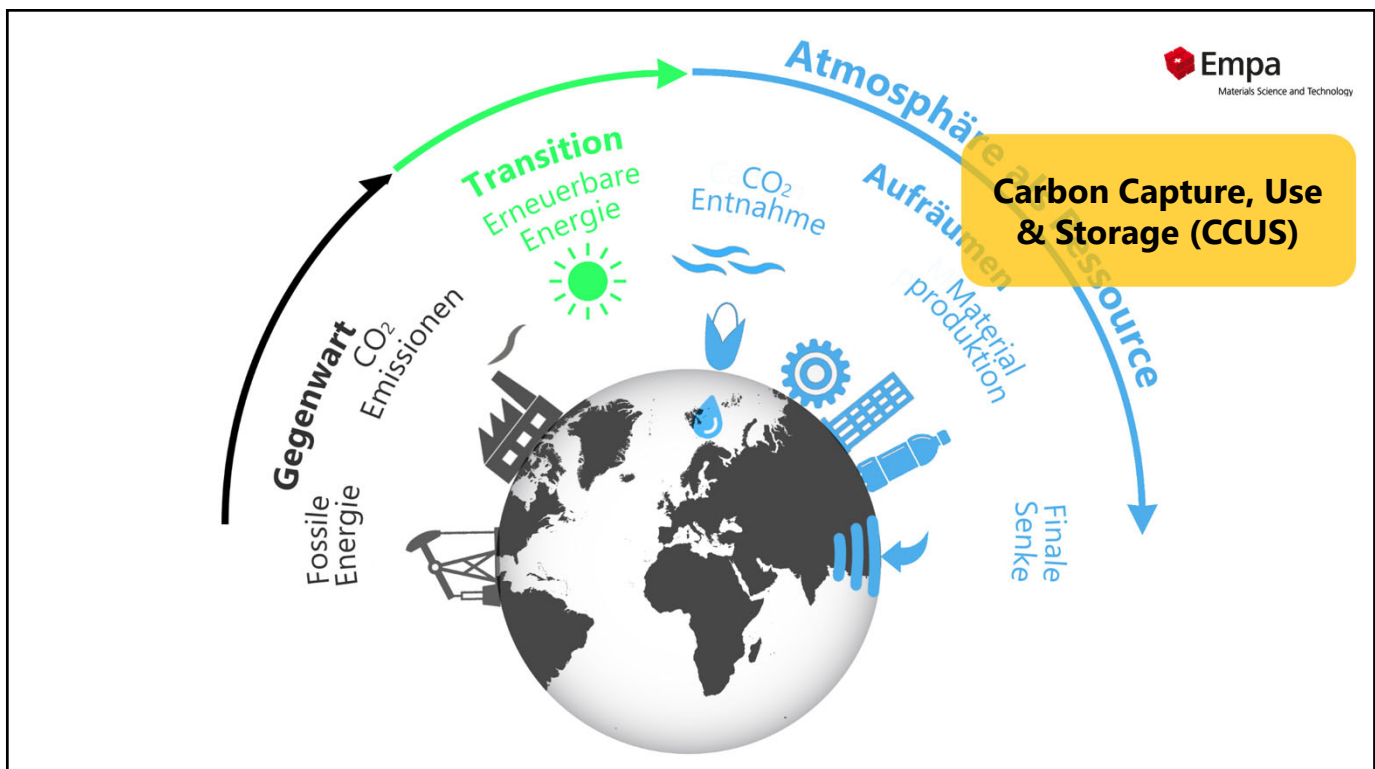
40

Beton als permanente Kohlenstoffsенke

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**

41



42

Vision Mining the Atmosphere



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

43

**Wir schaffen das nur im Team –
Sind Sie dabei?**



44

Diskussion

- Falls Sie dabei sind – wieso?
- Falls Sie nicht dabei sind – wieso nicht?
 - Was müsste anders sein, damit Sie mitmachen würden?
- Was sind aus Ihrer Sicht die grössten Chancen von MtA?
- Wo sind die grössten Hindernisse?