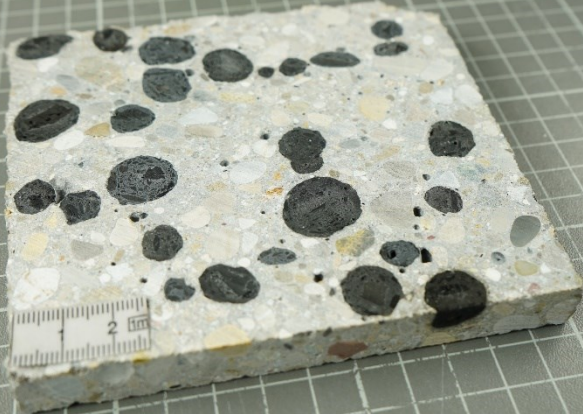




Empa

Materials Science and Technology

Beton – der unerwartete Klimaretter



Prof. Dr. Pietro Lura

Abteilungsleiter Beton und Asphalt, Empa
Professor für Betontechnologie, ETH Zürich

Dr. Mateusz Wyrzykowski

Gruppenleiter Betontechnologie, Abt. B&A, Empa

ERFA 2025, Bern, 14.05.2025

Volksabstimmung vom 18. Juni
2023

OECD/G20-Mindestbesteuerung

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.

59.07% Ja

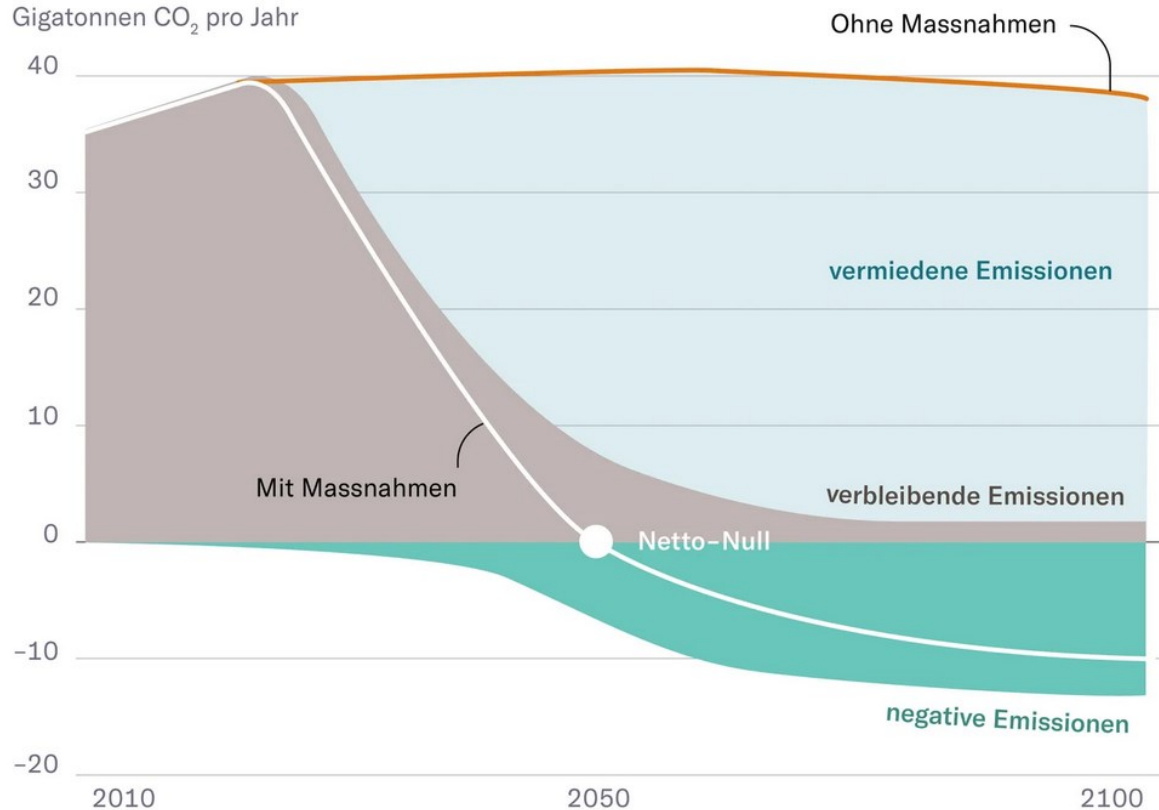
Art. 3 Ziel der Verminderung von Treibhausgasemissionen und der Anwendung von Negativemissionstechnologien

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.

Motivation: vermiedene vs. negative Emissionen



Netto-Emissionen reduzieren
Carbon Capture and
Utilization/Storage (**CCS/CCUS**)

→ Vermeidung

Negative Emission Technologies
(**NET**)

→ Entnahme aus der Atmosphäre

- 10-20 Gt CO₂/J.

Negative Emissionen – CO₂ in Materialien speichern

Der Bundesrat

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Der Bundesrat

Bundesrat | Bundespräsidium | Departemente | Bundeskanzlei | Bundesrecht | Dokumentation

Startseite > Dokumentation > Medienmitteilungen > Klimawandel: Bundesrat verabschiedet Bericht zu negativen CO₂-Emissionen

< Dokumentation > Zurück zur Übersicht

Medienmitteilungen

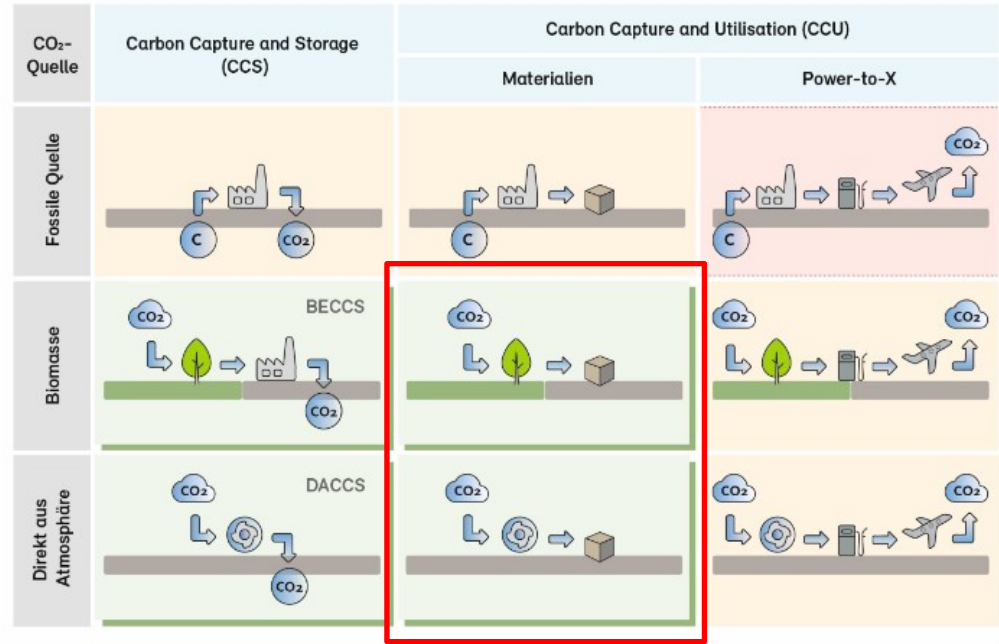
Medienmitteilungen des Bundesrats

Medienmitteilungen abonnieren


Medienmitteilungen als RSS beziehen

Klimawandel: Bundesrat verabschiedet Bericht zu negativen CO₂-Emissionen

Bern, 02.09.2020 - Der Bundesrat hat an seiner Sitzung vom 2. September 2020 einen Bericht über die Bedeutung von negativen CO₂-Emissionen für die künftige Schweizer Klimapolitik gutgeheissen. Um CO₂ dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen (sogenannte negative Emissionen), bedarf es spezieller Technologien, die erst teilweise vorhanden sind. Der Bericht kommt zum Schluss, dass negative Emissionen zur Erreichung der langfristigen Klimaziele unverzichtbar sind. Er empfiehlt dem Bund, bereits heute die Rahmenbedingungen für den starken Ausbau dieser Technologien zur Entnahme und dauerhaften Speicherung von CO₂ zu schaffen. Die Schweiz sei dank ihrer Forschungs- und Innovationskraft so gut aufgestellt, dass sie eine wichtige Rolle bei der Entwicklung dieser Technologien einnehmen kann.



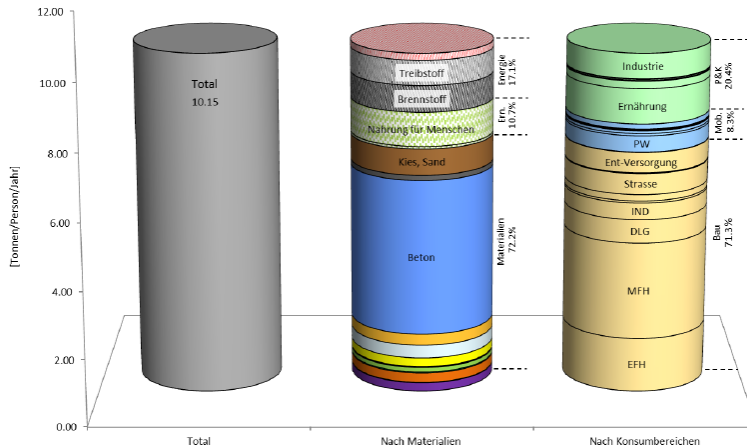
Es wird davon ausgegangen, dass die verwendete Energie klimafreundlich gewonnen wurde.

 Negative Emissionen  Klimaneutralität  CO₂-Emissionen

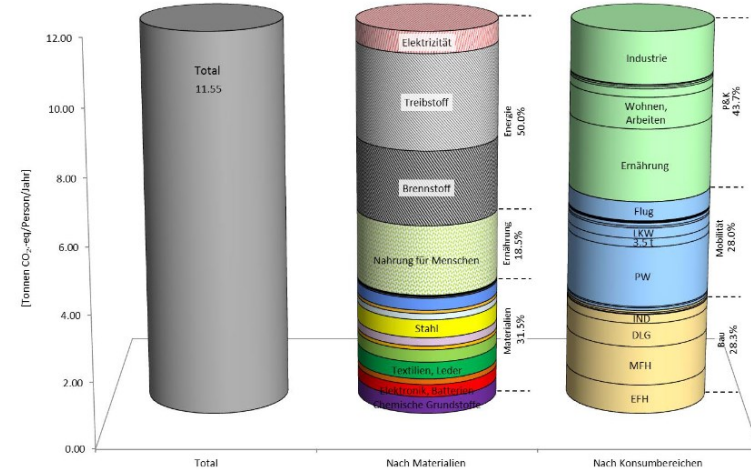
Materialkonsum in der Schweiz

- ~40 Mt/J. Beton → ~46% aller Materialien, aber...
- ~3.2% der CO₂ Emissionen
- ~1.4% der nicht-erneubaren Energie

Konsum (DMC) pro Person [Tonnen/Jahr] 2018



Treibhauseffekt durch Konsum pro Person [Tonnen CO₂-eq/Jahr] 2018



Matasci et al. MatCH Studie, Empa 2019
<https://www.empa.ch/web/s506/care-project-match>

Mögliche Ansätze zur CO₂-Entnahme



Kohlenstoff aus Methanpyrolyse

Im Labor + Pilotanlage



Mögliche Ansätze zur CO₂-Entnahme



Kohlenstoff aus Methanpyrolyse

Im Labor + Pilotanlage

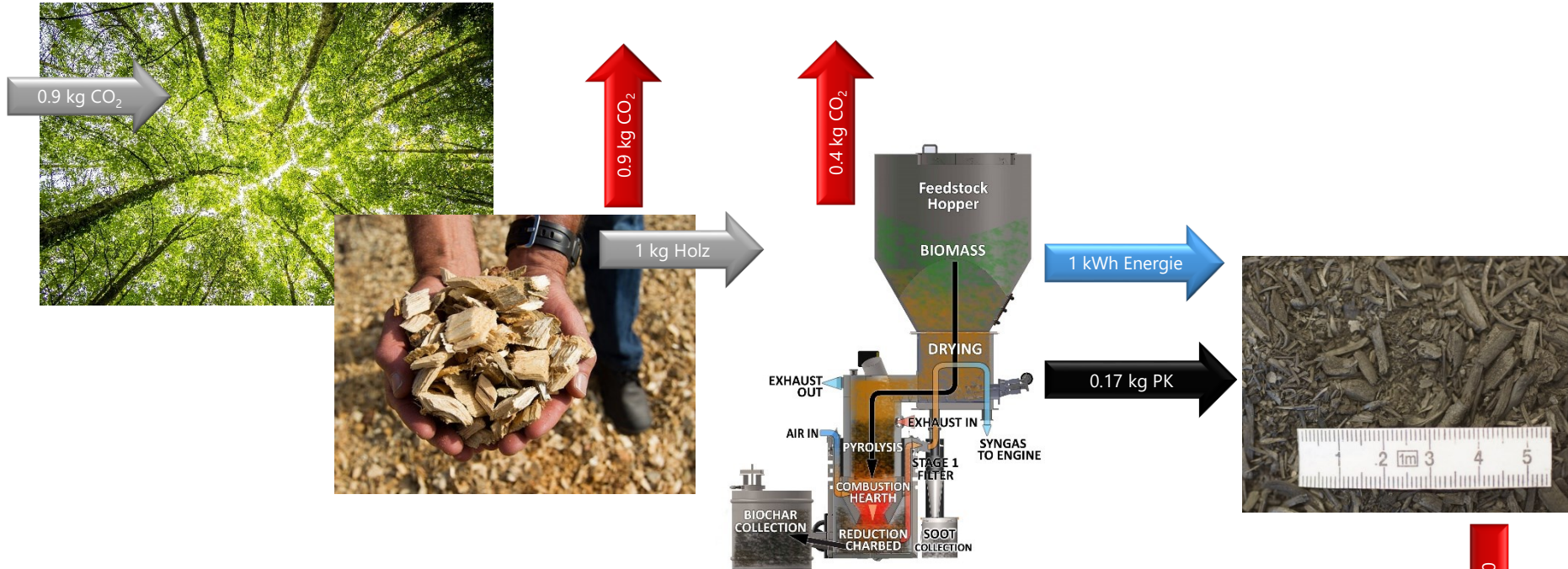


Pflanzkohle

jetzt verfügbar +
Modellmaterial



Pflanzkohle als Negative Emission Technology (NET)



NET erfordern eine **langfristige Speicherung**



Pflanzenkohle in Zement/Beton

- Ein Teil des Zements wird durch (Bio)PK ersetzt oder PK wird direkt (Zusatzstoff) in Beton integriert
- Mehrere (Forschungs-)Projekte und erste Demonstrationsobjekte weltweit
→ Machbarkeit nachgewiesen



Wyrzykowski, Toropovs, Lura



«Carat», ©Vicat



«KLARK», ©Logbau 2022

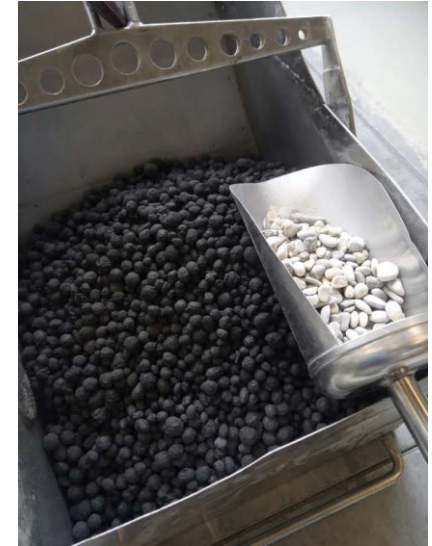
Kohlenstoff-Pellets als leichte Gesteinskörnungen

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



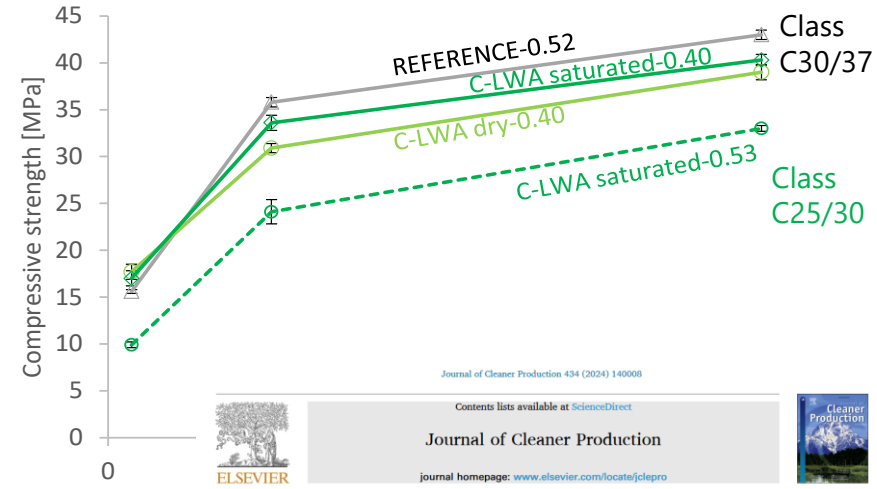
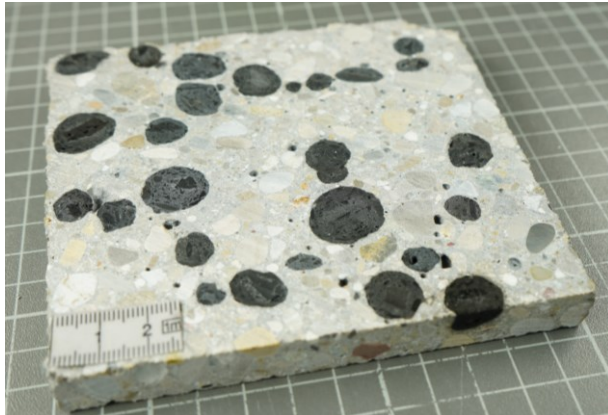
PK+Wasser+Zement
~(2:2:1)
Pelletierung +
Aushärten

Netto-Null Beton mit C-LWA

- Hochbau-Beton (C30/37), w/z 0.55, Zementgehalt 300 kg/m³, Dichte 2400 kg/m³
- Beton mit C-LWA: C-LWA ~20% Vol. des Betons, C-Gehalt ~3.3 Mass-%, $\rho \sim 2100$ kg/m³
- Gute Dauerhaftigkeit (Hochbau): XF2-3, XC3-4

■ Emissionen

- **Referenz:** 208 kg CO₂/m³ Beton
- **C-LWA:** -1 kg CO₂/m³ Beton



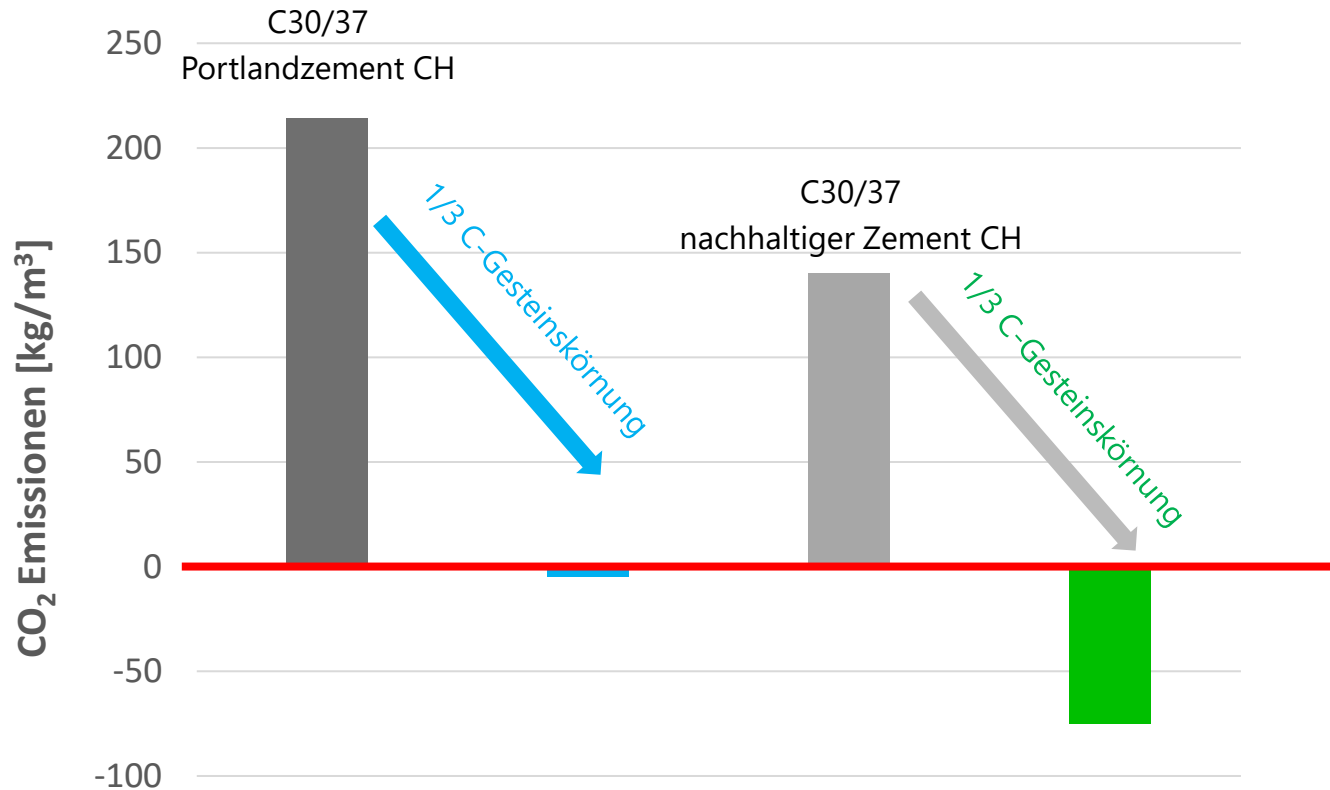
Cold-bonded biochar-rich lightweight aggregates for net-zero concrete

Mateusz Wyrzykowski^{a,*}, Nikolajs Toropovs^a, Frank Winnefeld^a, Pietro Lura^{a,b}

^a Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Dübendorf, CH-8600, Switzerland
^b Institute for Building Materials, ETH Zurich, Zurich, CH-8092, Switzerland



CO₂-negativer Beton – mehr als ein Traum



Kohlenstoff in Beton – wo sind die Hürden? (1)

Permanenz der Speicherung - Standpunkt

- European Biochar Industry “Position Paper”:
 - Pflanzenkohle allein ist Permanent (wenn $>550^{\circ}\text{C}$ hergestellt)...
 - ...und wird so in Beton bleiben (sofern keine Wärmebehandlung erfolgt)
- End-of-Life Szenario: Beton mit Pflanzenkohle kann wiederverwendet, recycelt, downcycelt oder in Deponie gelagert werden

Es muss noch experimentell nachgewiesen werden!

Kohlenstoff in Beton – wo sind die Hürden? (2)

Konformität mit Normen

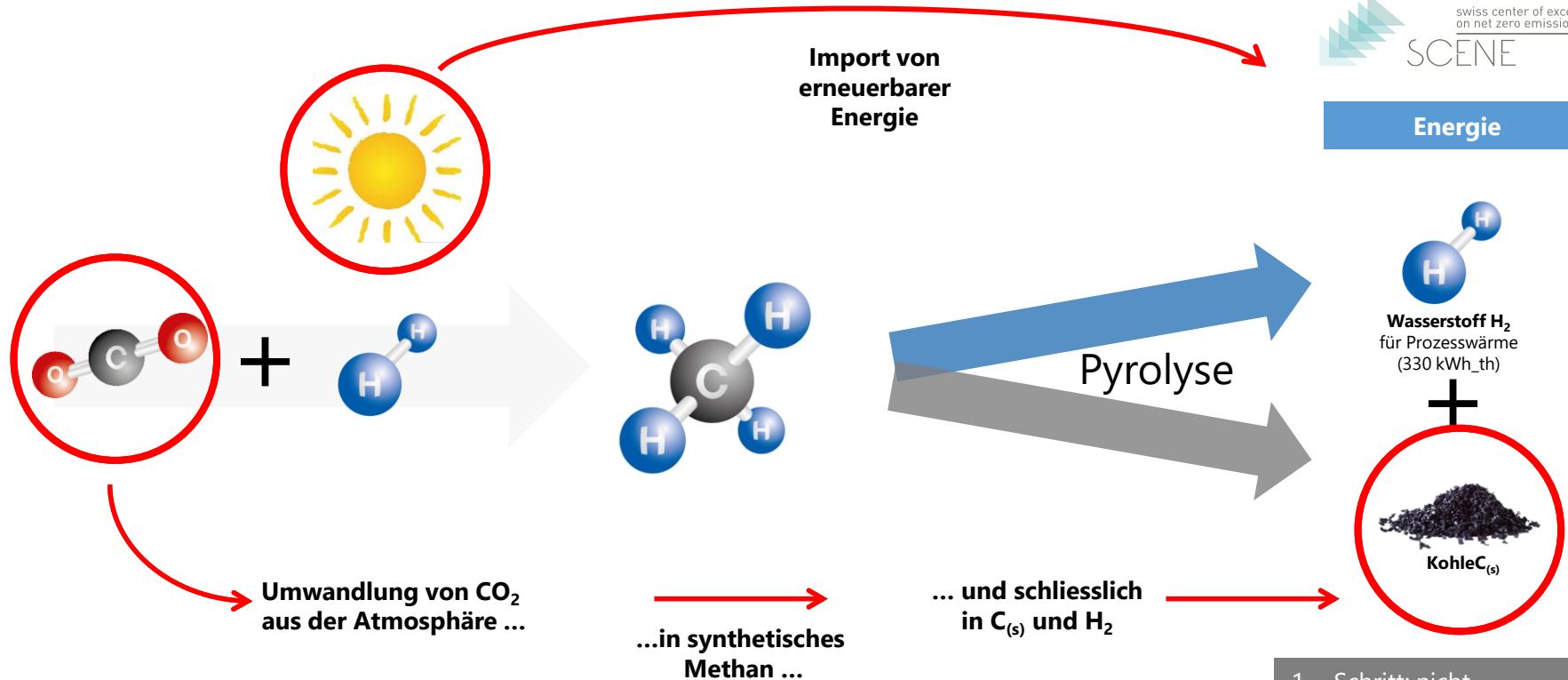
- SIA 215/2: *«Elementarer Kohlenstoff nach ISO 10694 darf 2 % nicht überschreiten **oder muss deklariert werden.**»*
Andere Abfälle sind erlaubt, wenn sie die Grenzwerte für gefährliche Substanzen nach VVEA, Anhang 3, Ziffer 2, Buchstabe c, einhalten.»

Technische Herausforderungen

- Variabilität der PK
- Hohe Porosität: hoher Wasserbedarf, PK absorbiert Zusatzmittel
- Staubbildung
- *Siehe C-LWA Pellets*

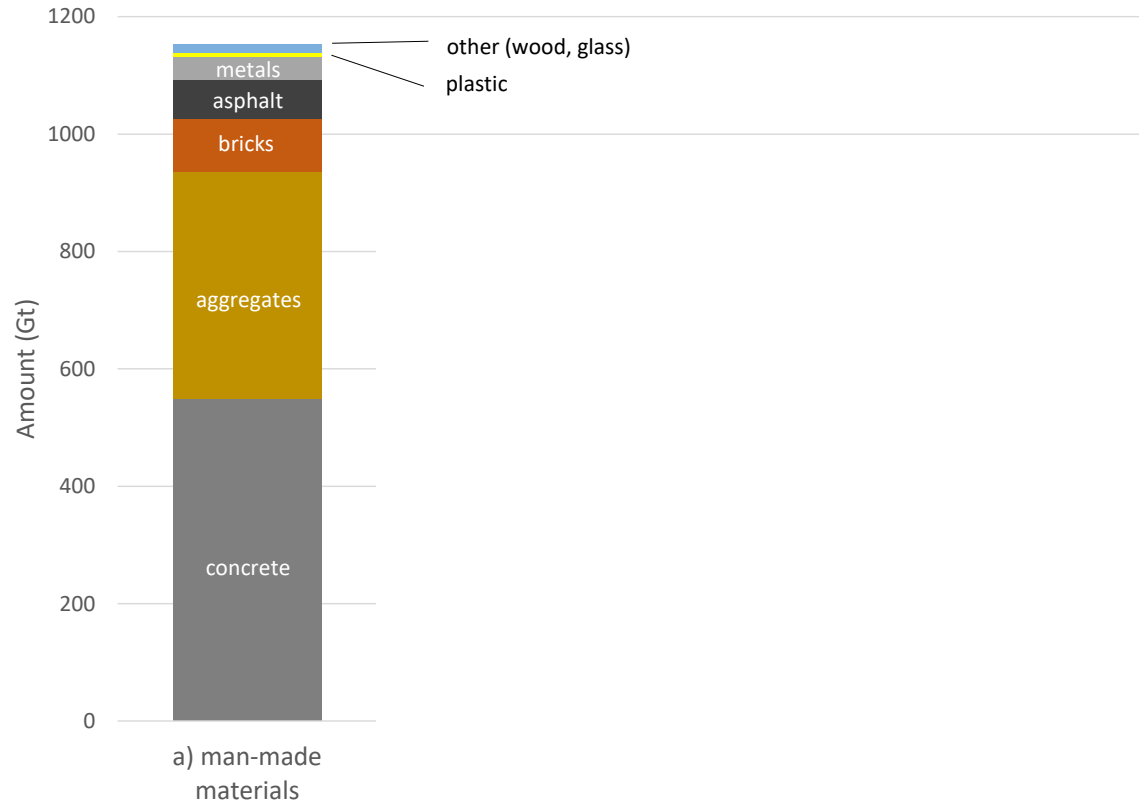
Carbon Capture and Use

Energie

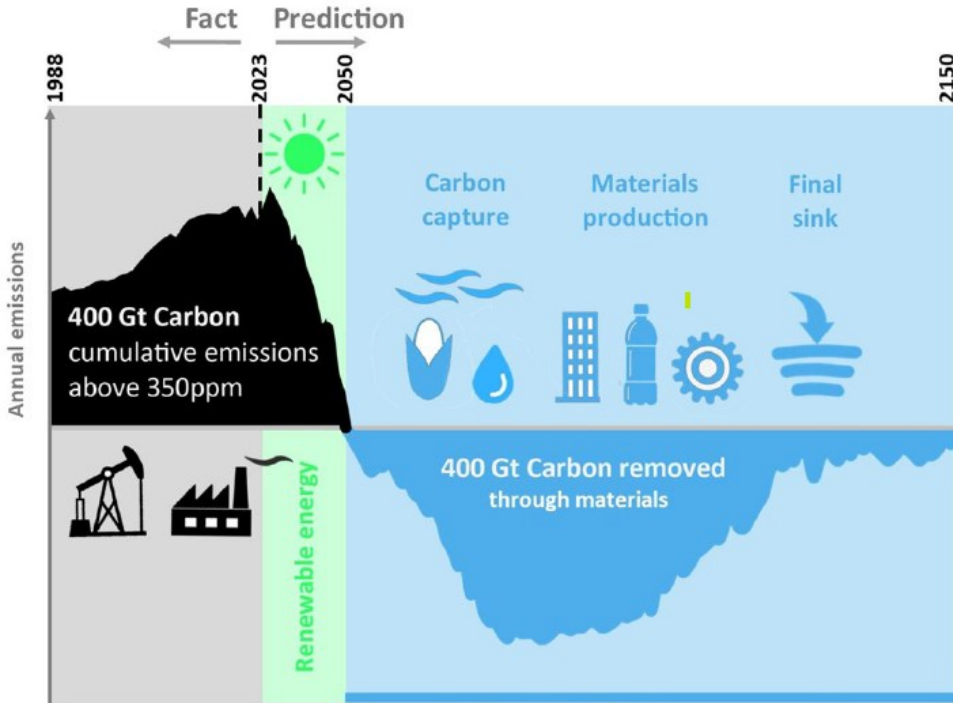


1. Schritt: nicht energetische Nutzung
2. Schritt: **finale Senke**

Zusammensetzung vom Menschen geschaffene Materialien



Empa-Initiative "Mining the atmosphere" (1)



Resources, Conservation & Recycling 212 (2025) 107968

Contents lists available at ScienceDirect

Resources, Conservation & Recycling

journal homepage: www.sciencedirect.com/journal/resources-conservation-and-recycling



Mining the atmosphere: A concrete solution to global warming

Pietro Lura^{a,b,*}, Ivan Lunati^a, Harald Desing^a, Manfred Heuberger^{a,c}, Christian Bach^a, Peter Richner^a

^a Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Dübendorf CH-8600, Switzerland

^b ETH Zurich, Institute for Building Materials, Zurich CH-8092, Switzerland

^c Department of Materials, ETH Zürich, Zurich CH-8092, Switzerland

ARTICLE INFO

Keywords:
Pyrolysis
Solid carbon
Concrete
Aggregates
Renewable energy
Mining the atmosphere

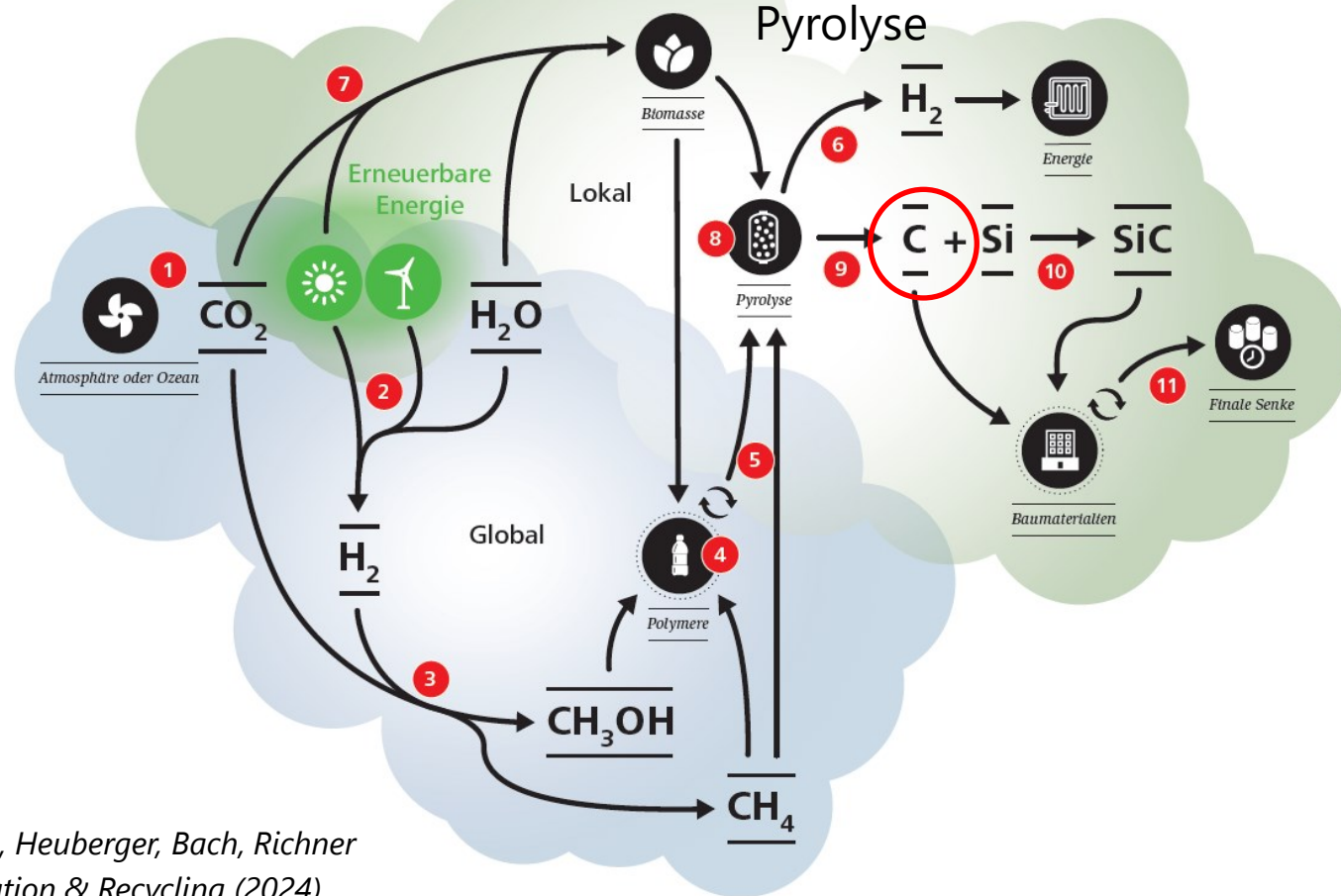
ABSTRACT

To neutralize anthropogenic climate impacts, excess carbon dioxide (CO₂) – about 400 Gt of carbon – needs to be removed from the atmosphere. After the energy transition is accomplished, we propose that excess renewable energy can be used to extract CO₂ from the atmosphere and convert it into methane or methanol, which are further processed into polymers, hydrogen, and solid carbon. End-of-life polymers are pyrolysed and part of the carbon is used to produce silicon carbide. Solid carbon and silicon carbide become then aggregates and fillers for concrete and asphalt. At the end of their lifecycle, landfilled construction materials become the final carbon sink. Up to 12 Gt of carbon could be stored per year, mostly as concrete aggregates. The synthesis of carbon-based materials in cycles of increased chemical reduction has multiple advantages, including long-term stability, high storage density of the carbon, decentralized implementation, and replacement of current CO₂-emitting materials.

Bild: M. Zaumanis

<https://www.empa.ch/web/s604/mining-the-atmosphere>

Empa-Initiative "Mining the atmosphere" (2)



Beton als permanente Kohlenstoffsенke

