

Florian Schinnerl

Karbonatisierung mineralischer Rohstoffe zur dauerhaften CO₂-Bindung

Klimatag 2023
12.04.2023

Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes
Montanuniversität Leoben, Österreich

Einführung

Direct Air Capture Karbonatisierungsprozess: ORCA

Creating a carbon dioxide removal solution by combining rapid mineralization of CO₂ with direct air capture

Valentin Gutknecht^{a,*}, Sandra Ósk Snæbjörnsdóttir^b, Bergur Sigfússon^b, Edda Sif Aradóttir^b, Louise Charles^a

^aClimeworks, Birchstrasse 155, 8050 Zurich, Switzerland

^bReykjavik Energy, Bæjarháls 1, 109 Reykjavik, Iceland

Abstract

As a part of the EU-funded CarbFix2 project, Climeworks and Reykjavik Energy have partnered to combine direct air capture (DAC) technology with the injection of CO₂ into basalts, for permanent storage by mineralization of the injected carbon. This is the world's first DAC installation that is combined with mineral storage of CO₂. There is large potential for further optimization and substantial scale up of this joint operation. The organizations are developing an integrated CO₂ removal solution that may be expanded and applied globally. This type of solution has been recognized as a crucial component in efforts to mitigate global warming.

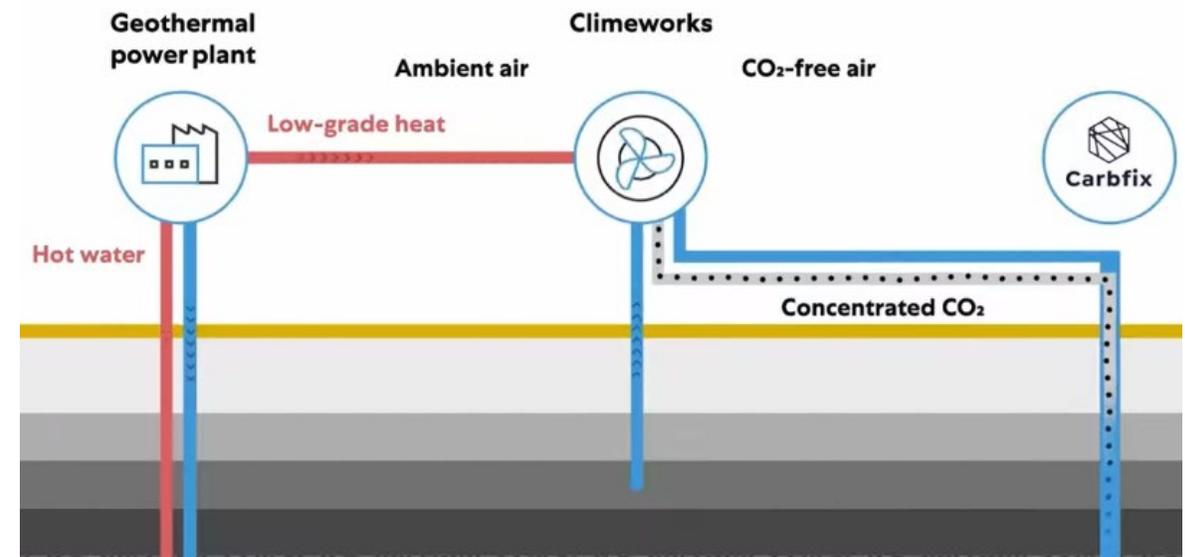


From vision to reality: Orca is launched

On September 8, 2021, we launched Orca, the world's first and largest direct air capture and storage plant, making carbon dioxide removal on large-scale a reality.

We improved the capture capacity of Orca by applying a new technology design. The facility consists of eight collector containers, with an annual capture capacity of 500 tons each. The containers are arranged around a central process hall that accommodates all electrics, such as the processing unit, allowing us to operate and control the facility from afar.

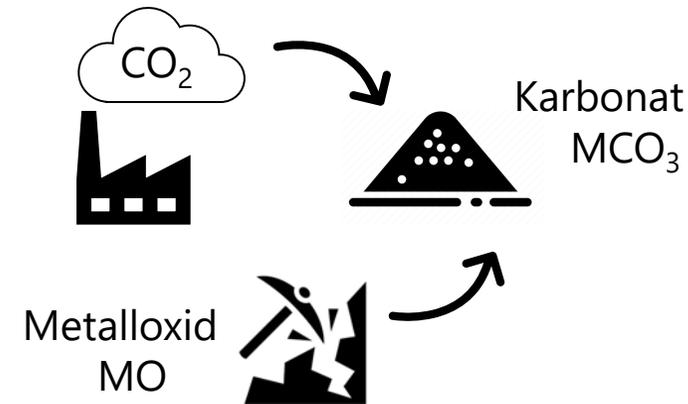
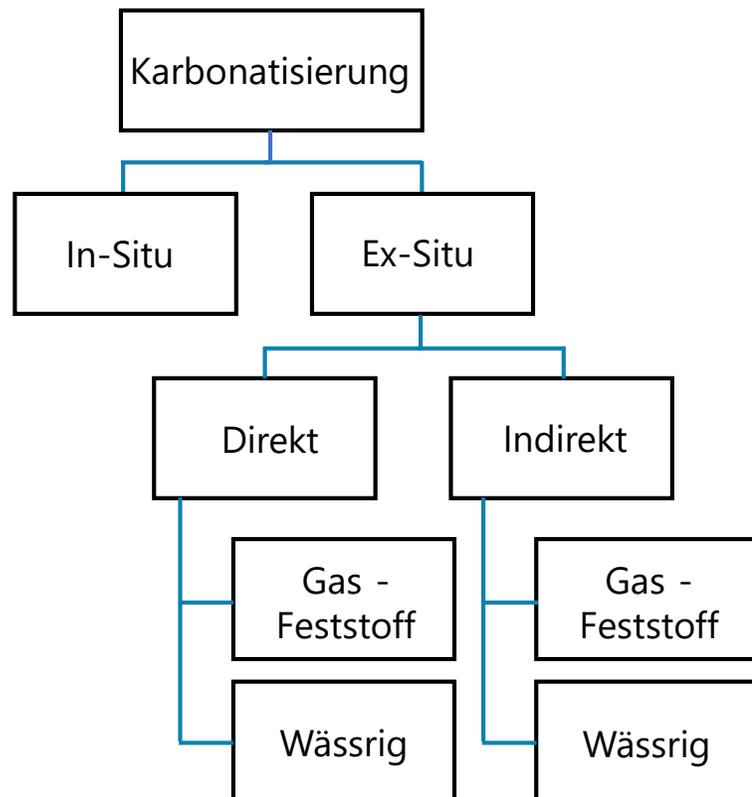
The heat and electricity required to run the direct air capture process is supplied by the Hellisheidi Geothermal Power Plant. An important aspect was that Orca is smoothly integrated into the beautiful Icelandic landscape. We therefore chose earthy colours and natural materials that give it a natural touch.



Einführung

Beschreibung der Karbonatisierung

- In-Situ: Unterirdische Karbonatisierung in silikatreiche geologische Gesteinsformen
- Ex-Situ: Überirdische Karbonatisierung in chemischen Reaktoren
- Basiert auf einem in der Natur ablaufenden Prozess – „Silikatverwitterung“
 - Reaktion von Alkali- und Erdalkalimetallen (z. B. Ca, Mg) mit atmosphärischem CO_2
 - Langsam: Umwandlung über geologische Zeitspanne



- Forschung: Beschleunigte Variante der natürlichen Karbonatisierung
 - CO_2 aus Atmosphäre oder Abgasen aus Industrie etc.
- Direkte Verfahren: Einstufiger Prozess
- Indirekte Verfahren: Mehrstufiger Prozess (mindestens 2 Prozessschritte)

Einführung

Einsatzstoffe

- Sowohl primäre als auch sekundäre Einsatzstoffe
 - Hauptsächlich Ca, Mg: Hohe Verfügbarkeit
- Primäre Rohstoffe – Gesteine, Mineralien
 - Serpentin (Mg₃Si₂O₅(OH)₄)
 - Olivin (Mg₂SiO₄)
 - Wollastonit (CaSiO₃)
- Sekundäre Rohstoffe - Rezyklate
 - Schlacken (z. B. Stahlwerksschlacke)
 - Aschen (z. B. Flugasche, Rostasche)
 - Stäube (z. B. Zementwerksstäube)
 - Baurestmassen
- Gehalt an Metalloxiden entscheidend

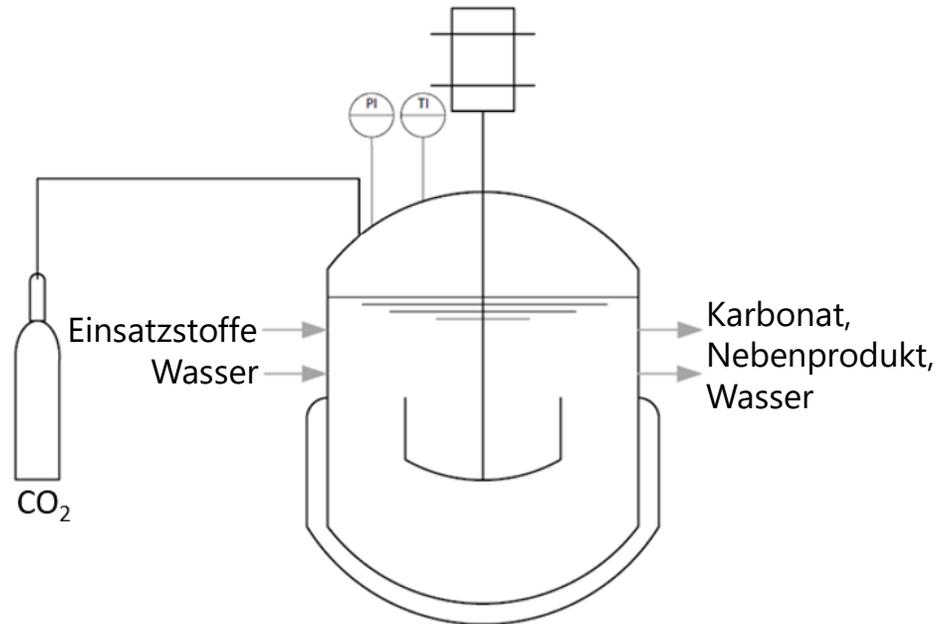


Modifizierte Steinour Formel: Berechnung der theoretischen CO₂-Aufnahme:

$$Th_{CO_2} = 0.785 \cdot (CaO - 0.53 \cdot CaCO_3 - 0.7 \cdot SO_3) + 1.091 \cdot MgO + 0.71 \cdot Na_2O + 0.486 \cdot (K_2O - 0.632 \cdot KCl)$$

Experimente

Versuchsdurchführung



- Zerkleinerung der Einsatzstoffe in Backenbrecher und/oder Kugelmühle
- Beladen des Reaktors mit Einsatzstoffen und deionisiertem Wasser
- Aufheizen des Reaktors
- Einleiten von CO₂ (100 Vol.-%, nur zu Beginn)
- Start der Reaktionen:
 - 1) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
 - 2) $\text{CaSiO}_3 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 - 3) $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}^+$
- Produkt: in Trockenofen getrocknet und mittels thermogravimetrischer Analyse (TGA) untersucht
 - Rückschluss: CO₂-Aufnahme

Partikelgröße	Temperatur	CO ₂ -Partialdruck	Reaktionszeit
90-125 µm	180 °C	20 bar	6 & 10 h

Experimente

Untersuchte Materialien

Gestein:

- Serpentin
 - Unbehandelt (P1)
 - Vorbehandelt (P2)
 - 650 °C, 2h in Ofen, entfernen von OH-Gruppen

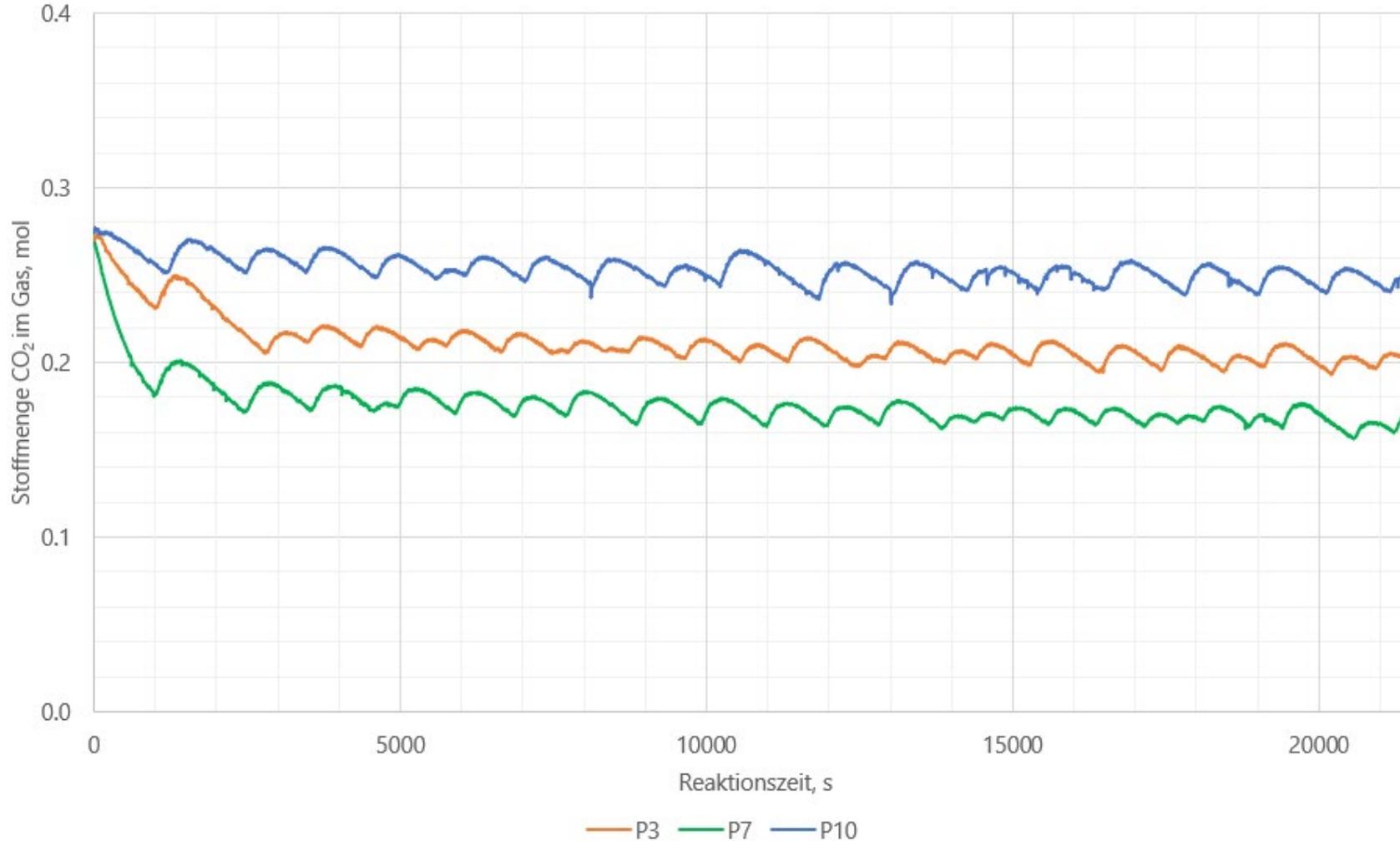
Sekundärrohstoffe:

- Feuerfestmaterialien (P3-P7)
- Abfallverbrennung
 - Asche und Schlacke (P8-P10)
- Papierreststoffverbrennung
 - Flugasche (P11 & P12)
- Papierindustrie
 - Holzasche (P13)

Probe	CaO, Wt.-%	MgO, Wt.-%	CaCO ₃ , Wt.-%
P1	0.06	35.61	0
P2	0.07	39.62	0
P3	1.32	82.49	0
P4	2.06	75.31	0.94
P5	1.66	82.62	2.14
P6	14.89	47.24	3.98
P7	10.51	74.89	1.61
P8	18.62	3.91	5.97
P9	18.29	3.93	5.23
P10	31.62	3.91	17.83
P11	60.36	1.94	27.02
P12	31.75	6.07	34.02
P13	20.87	2.62	18.43

Experimente

Stoffmengenverlauf über 6 Stunden



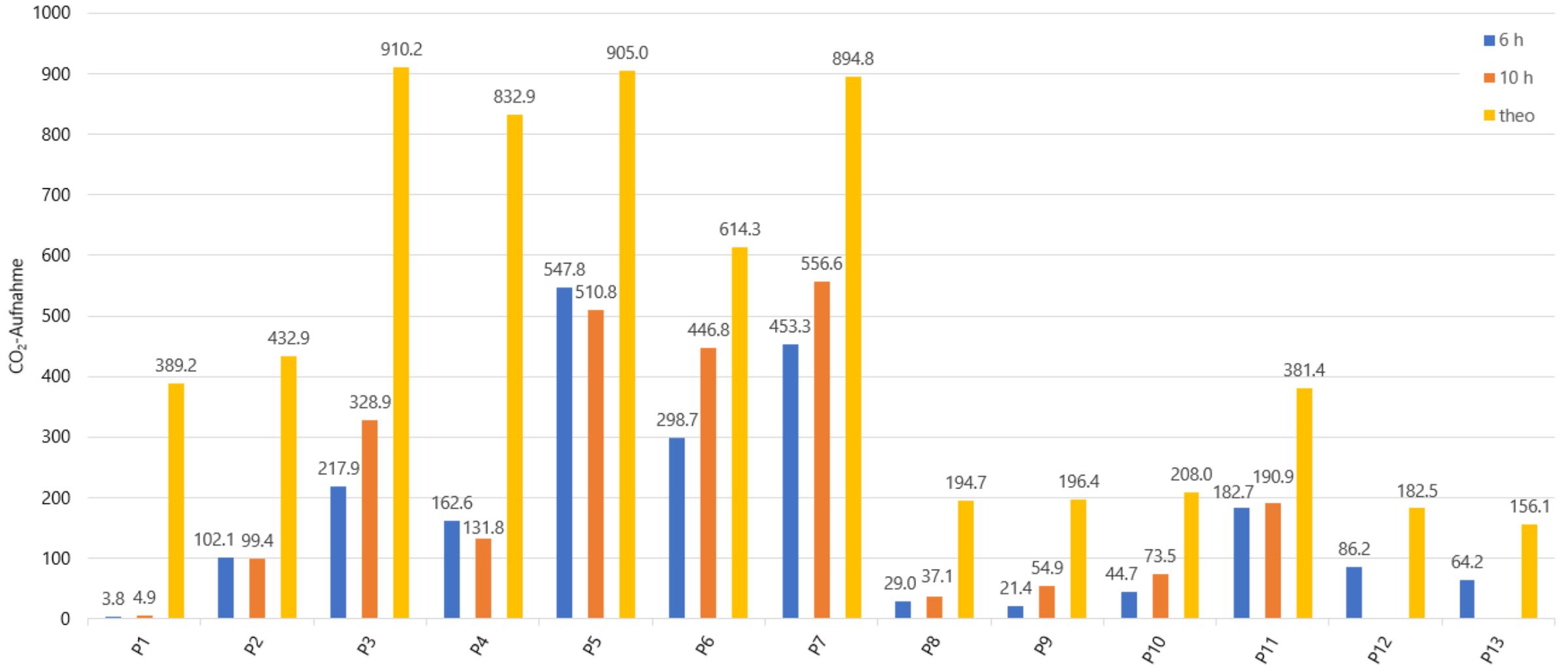
Feuerfestindustrie	Abfallverbrennung
P3, P7	P10

- Höherer CaO/MgO-Anteil
 - Größere Verfügbarkeit der Ca/Mg-Ionen
- Strukturunterschiede
 - Leichter zugängliche Metallionen
- Begünstigung durch gewählte Parameter
 - Parameter beeinflussen auftretende Reaktionen

Ergebnisse

CO₂-Aufnahme der Proben

Serpentinit	Feuerfestindustrie	Abfallverbrennung	Papierverbrennung	Papierindustrie
P1, P2	P3-P7	P8-P10	P11, P12	P13



Ausblick

Nachhaltigkeitsziele



- Aufbauen einer nachhaltigen Infrastruktur
 - Nachhaltigere Produktion durch Verringerung der CO₂-Emissionen



- Verringerung des Abfallaufkommens durch Wiederverwertung
 - Einsatz von Sekundärrohstoffen bei der Aufnahme von CO₂
 - Verwendung des erhaltenen Karbonats als Wertstoff für die Weiterverarbeitung



- Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels ergreifen
 - Verringerung der CO₂-Emissionen und dem damit einhergehenden Auswirkungen des Klimawandels

Florian Schinnerl, Markus Lehner

Karbonatisierung mineralischer Rohstoffe zur dauerhaften CO₂-Bindung



Dipl.-Ing. Florian Schinnerl

florian.schinnerl@unileoben.ac.at

+43 3842 402-5008

**Verfahrenstechnik des industriellen
Umweltschutzes**

Montanuniversität Leoben

Franz Josef-Straße 18

8700 Leoben