



CLIMEWORKS

Capturing CO₂ from Air

Christoph Gebald

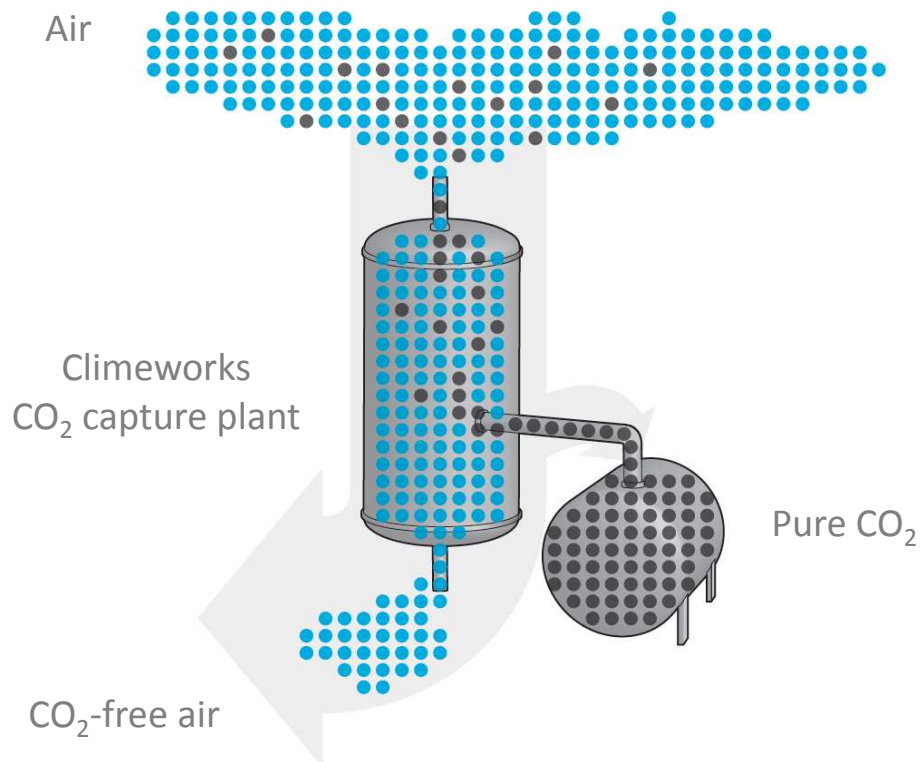
Co-CEO and Co-Founder

Climeworks AG

Technoparkstrasse 1, 8005 Zürich
www.climeworks.com, contact@climeworks.com



BFE Jahrestagung Kraftwerk 2020, 01.09.2014



Climeworks Products



Demonstrator



- 1 ton CO₂ per year
- Online since 12/2012
- 99.3% purity *

CO₂ Capture Plants



- Construction beginning 2015
- 1'000+ tons CO₂ per year

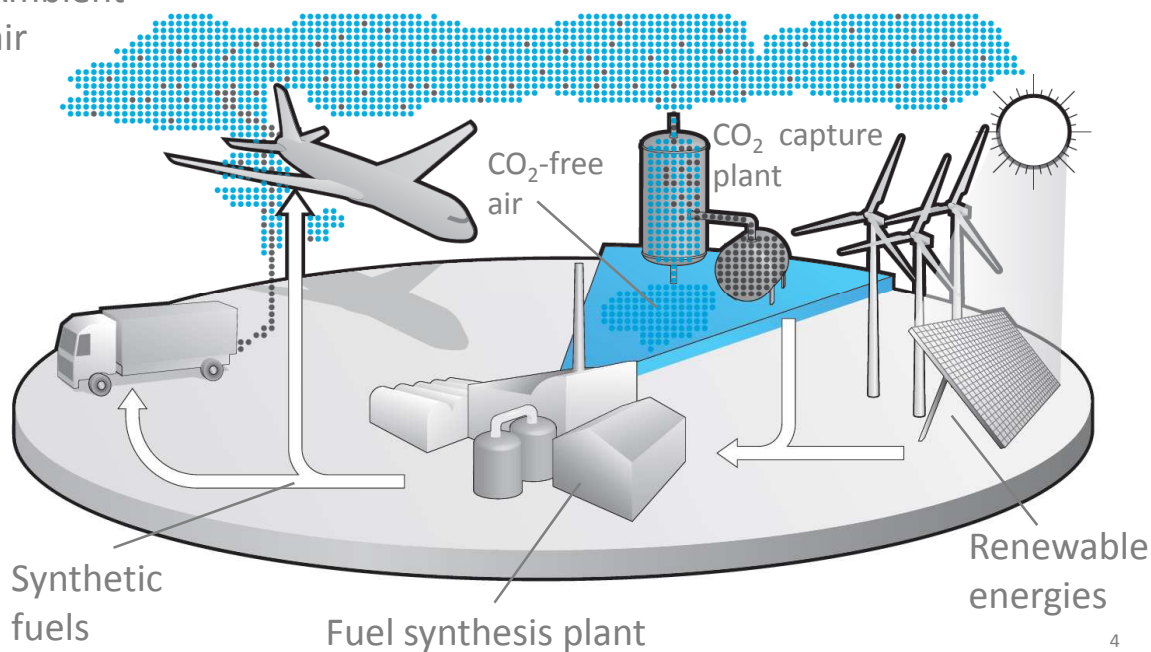
* Analysis by Airborne Labs International, Inc., April 2013

3

CO₂ to Renewable Fuels: Energy Storage

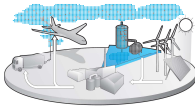


Ambient
air



4

CO₂ to Renewable Fuels: Energy Storage



CO₂-neutral fuels from CO₂, water, and electricity



Storage of renewable energies, balancing electricity grid



Several companies commercializing fuel synthesis



Climeworks' partner in the mobility sector

5

Market Entry



Beverage & Food



Step 1: Liquid CO₂ for beverage and food market

- Carbonation of drinks
- Refrigeration
- Greenhouse fertilization

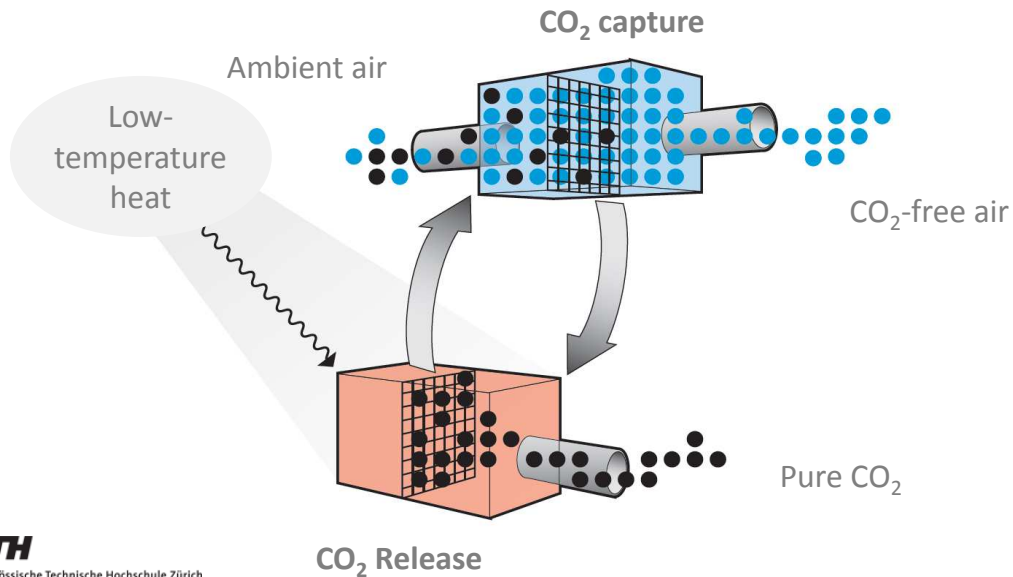
Renewable fuels



Step 2: CO₂ supply for renewable fuel production

- Renewable energy storage
- CO₂-neutral fuels

6

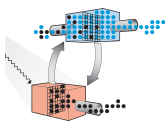


ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

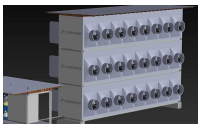
EMPA
Materials Science & Technology

7

USPs



Low-temperature heat driven (waste heat < 100 °C)



Modular design minimizes the scale-up risk



Minimal footprint: Only 3-6% side emissions (CO₂-eq)
(ETH Zurich)



No use of crop land that is required for food production

8

Company



ETH Spin-off, incorporated 2009 • 14 FTEs • Series A, 2011: CHF 2.25M • Series B, 2014: CHF 3 M • Grants, awards: CHF 1.4M	
--	--

	Large partner network in industry and research
--	--

9

BFE F&E Projekt - Überblick



- Projektbeginn: 01.07.2013
- Projektende: 31.12.2015
- Gesamtkosten: CHF 814'000 (BFE Beitrag CHF 399'000)
- Hauptantragsteller: Climeworks AG
- Projektpartner: Berner Fachhochschule (BFH) Burgdorf, Institute for Energy and Mobility Research, Prof. Dr. K. Graf

10

BFE F&E Projekt - Ziele



- Arbeitspaket (AP) 1: Optimierung der Adsorptionsstruktur hinsichtlich Druckverlust und Wärmeaustausch
- AP 2: Optimierung des thermischen Energieverbrauchs für CO₂ Desorptions durch Wärmerückgewinnung
- AP 3: Validation der Berechnung aus AP 1&2 durch Messungen

11

BFE F&E Projekt – AP 1



- AP 1: Weiterentwicklung und Optimierung der Adsorberstruktur
- Hintergrund Layout industrielles Modul
 - Dimensionen: LxBxH 3.60 x 2.00 x 2.00m
 - Volumenstrom Adsorption: ~20'000m³/h
 - Wärmetransfer: Wasser, Vor-/Rücklauf: 105/95°C
- Ziele:
 - Reduktion Druckverlust durch Simulation und Experimente
 - Erhöhung Wärmetransfer durch Simulation und Experimente



12

BFE Projekt – AP 1



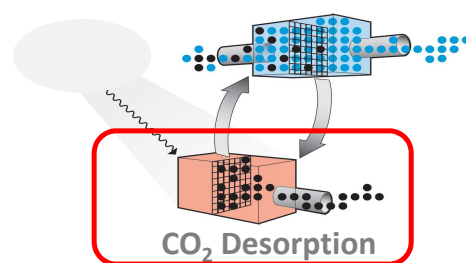
- Druckverlust ist entscheidend für CO₂ Abscheidung aus Luft:
 - Pro t CO₂ müssen ca. 1.5e6m³ Luft behandelt werden
 - Pro 100Pa Druckverlust steigt Stromverbrauch um ca. 80kWh/t (50% Effizienz des Ventilators)
 - Geringer Druckverlust ermöglicht Einsatz von kostengünstigen Ventilatoren
- BFH Burgdorf baut aktuell Teststand für Druckverlustmessung für verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten und –längen
- Nächster Schritt: Tests durchführen und Empfehlung für optimale Adsorberstruktur ausarbeiten

13

BFE F&E Projekt – AP 2



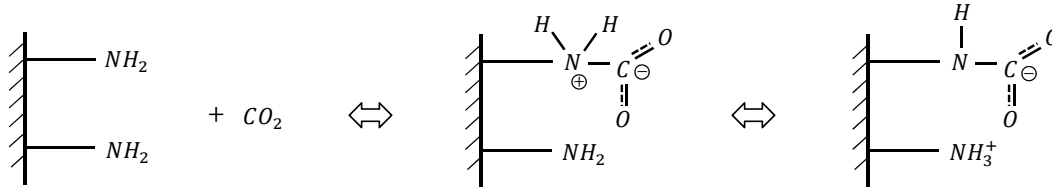
- AP 2: Wärmerückgewinnung während Desorption
- Hintergrund Wärmeverbäuche:
 - Reaktions-/Adsorptionsenthalpie von CO₂ und H₂O
 - Sensible Wärmen → Adsorbens, Anlage



14



• Reaktionsenthalpie CO_2



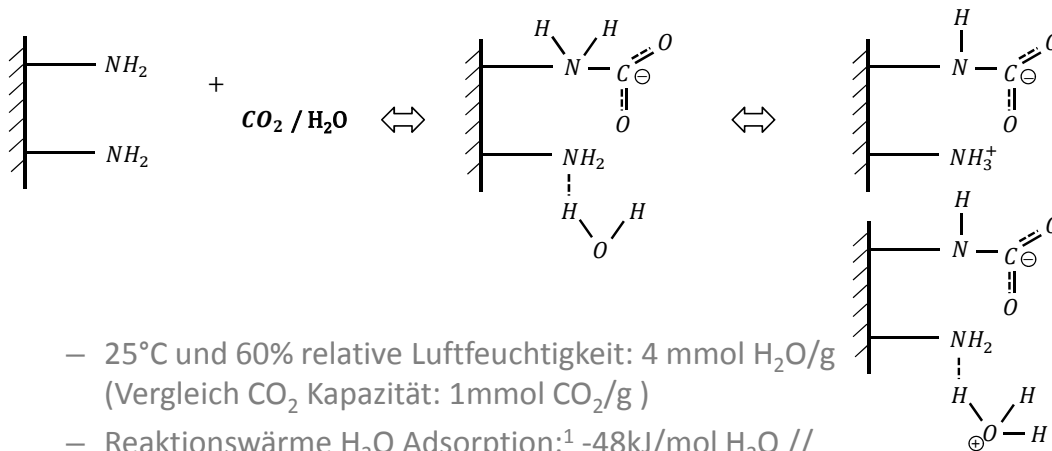
- CO_2 Adsorption via 2-step zwitterion mechanism
- Reaktionsenthalpie CO_2 Adsorption:¹ -73 kJ/mol $\text{CO}_2 \rightarrow 461 \text{ kWh/t}$

1) Gebald et al., Environ. Sci. Technol., 2014, 48, pp 2497–2504

15



• Adsorptionsenthalpie H_2O



- 25°C und 60% relative Luftfeuchtigkeit: 4 mmol $\text{H}_2\text{O/g}$ (Vergleich CO_2 Kapazität: 1mmol CO_2/g)
- Reaktionswärme H_2O Adsorption:¹ -48kJ/mol $\text{H}_2\text{O} //$ 1212 kWh/t

1) Gebald et al., Environ. Sci. Technol., 2014, 48, pp 2497–2504

16

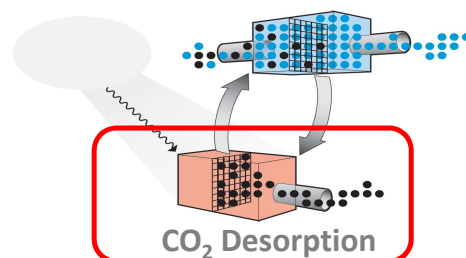


- Sensible Wärme Adsorbens
 - Zyklische CO_2 Kapazität: $1\text{mmol CO}_2/\text{g}$ ($= 4.4\% \text{ w/w}$)
 - Wärmekapazität: 1.2kJ/kg/K
 - Temperaturwechsel: 70K
- Sensible Wärme System:
 - Menge verbautes Material
 - Verschiedene Temperaturwechsel für verschiedene Komponenten

17



- AP 2: Wärmerückgewinnung während Desorption
- Wärmeverbäuche:
 - CO_2 Desorption: 461kWh/t (73kJ/mol)
 - H_2O Desorption: 1212kWh/t (192kJ/mol , $4\text{mmol H}_2\text{O}/1\text{mmol CO}_2$)
 - Sensible Wärme Sorbent: 530kWh/t
($1\text{mmol CO}_2/\text{g}$, 1.2kJ/kg/K , 70K)
 - Sensible Wärme System: 300kWh/t
 - **Total: 2503kWh/t**
- Ziele:
 - Entwicklung von Konzepten zur Rekuperation von sensibler Wärme
 - Simulation der Wärmerückgewinnungskonzepte



18

BFE F&E Projekt – AP 2



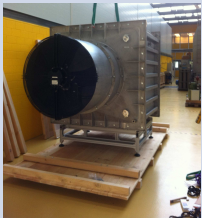
- Climeworks hat etliche WRG Konzepte simuliert und Einsparpotential bis **1800kWh/t** eruiert
- Nächster Schritt: verfahrenstechnische Auslegung und resultierende ökonomische Betrachtung

19

BFE Projekt - Ziele



- AP3: Datengrundlage und Validation von/für AP1 und AP2

	Demonstrator	CO ₂ Kollektor («Alpha-Anlage»)
		
CO ₂ Kapazität	1 t CO ₂ pro Jahr	Voraussichtlich 45-50 t CO ₂ pro Jahr
Verfügbarkeit	Ab Projektbeginn	Ab Q3 2014
Verwendung	- Aufheiz- und Abkühlkurven für AP 2	- Anpassung der Parameter der Berechnungen aus AP 1&2 - Validation der Simulationsmodelle

20