

Globale Klima-Strategie mit CO₂-Entzug aus der Luft

Global climate strategy with CO₂ capture from the air

Zusammengestellt von Andreas Otto

otto@uni-duesseldorf.de

Global: Verfahren, die mehr als 10% der globalen CO₂ Emmission verhindern oder beseitigen können

Inhalt:

1) Was spricht für CO₂-Entzug aus der Luft?

2) Vorschläge zum CO₂-Entzug aus der Luft.

(Mit Abgrenzung von der Sequestrierung von Biomasse)

3) Sichere Endlagerung des CO₂ ?

(mit Abgrenzung von Speicherung in Aquiferen und im tiefen Ozean)

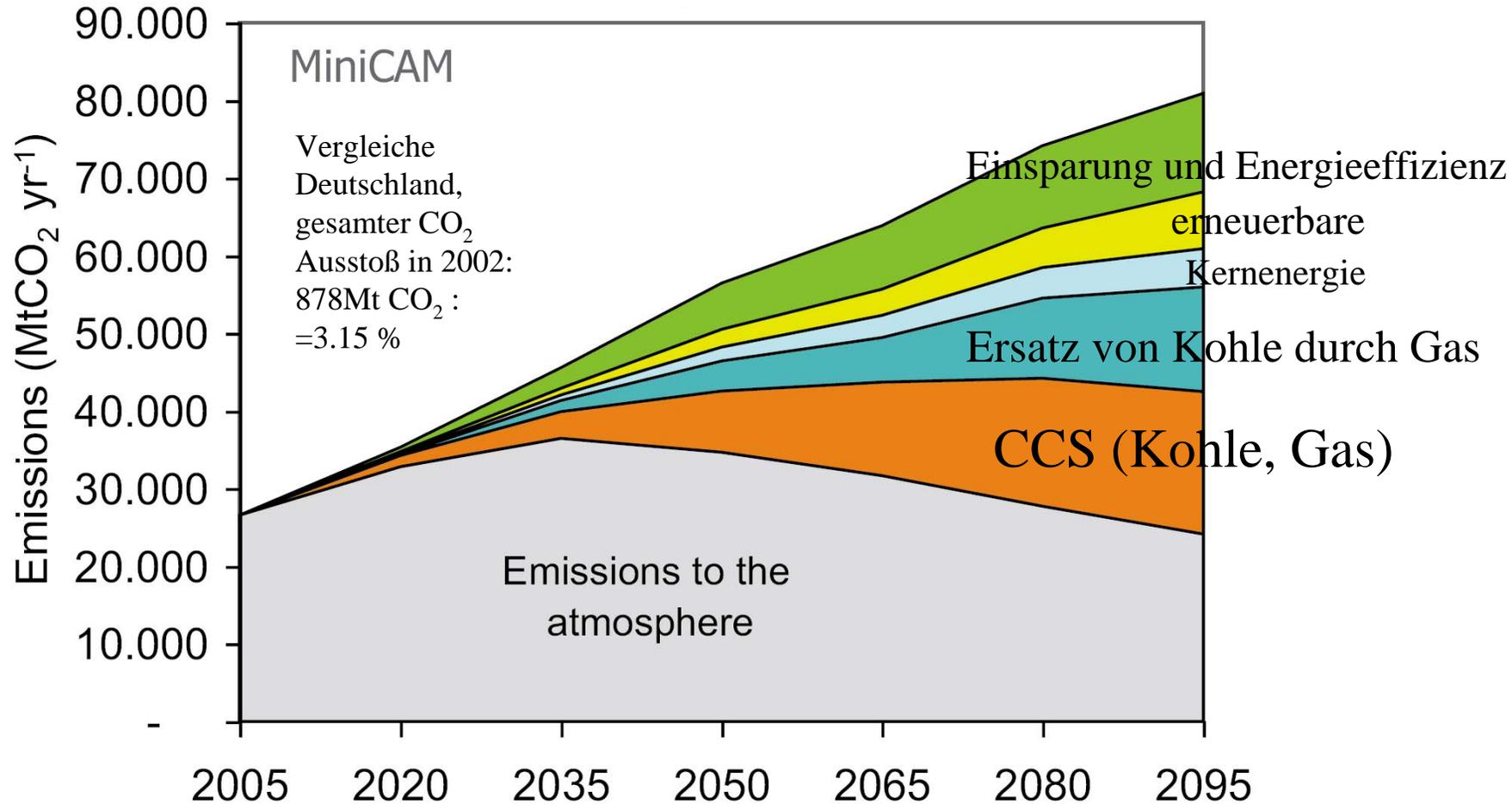
4) Das Problem mit den bisher vorgeschlagenen globalen Methoden (Waschtürme und mineralische Fixierung), Vorschlag der beschleunigten Verwitterung.

5) Zusammenfassung

1) Was spricht für CO₂-Entzug aus der Luft?

Ein Szenario der Emission in die Luft

aus CARBON DIOXIDE CAPTURE AND STORAGE, Summary for Policymakers and Technical Summary, IPCC, 2003 or later.



Je schneller Einsparung und Energieeffizienz , erneuerbare, Kern-und Fusions-Energie wachsen, desto weniger braucht man fossile Brennstoffe (Kohle und Gas) und CCS ...

..vielleicht mit einer Ausnahme: CSS nach CO₂-Entzug aus der Luft ?

Table 2.3 Profile of worldwide large CO₂ stationary sources emitting more than 0.1 Mt CO₂ per year (Source: IEA GHG, 2002a).

Process	CO ₂ concentration in gas stream % by vol.	Number of sources	Emissions (MtCO ₂)	% of total CO ₂ emissions	Cumulative total CO ₂ emissions (%)	Average emissions/source (MtCO ₂ per source)
CO₂ from fossil fuels or minerals						
Power						
Coal	12 to 15	2,025	7,984	59.69	59.69	3.94
Natural gas	3	985	759	5.68	65.37	0.77
Natural gas	7 to 10	743	752	5.62	70.99	1.01
Fuel oil	8	515	654	4.89	75.88	1.27
Fuel oil	3	593	326	2.43	78.31	0.55
Other fuels ^a	NA	79	61	0.45	78.77	0.77
Hydrogen	NA	2	3	0.02	78.79	1.27
Natural-gas sweetening						
	NA ^b	NA	50 ^c	0.37	79.16	
Cement production						
Combined	20	1175	932	6.97	86.13	0.79
Refineries						
	3 to 13	638	798	5.97	92.09	1.25
Iron and steel industry						
Integrated steel mills	15	180	630 ^d	4.71	96.81	3.50
Other processes ^d	NA	89	16	0.12	96.92	0.17
Petrochemical industry						
Ethylene	12	240	258	1.93	98.85	1.08
Ammonia: process	100	194	113	0.84	99.70	0.58
Ammonia: fuel combustion	8	19	5	0.04	99.73	0.26
Ethylene oxide	100	17	3	0.02	99.75	0.15
Other sources						
Non-specified	NA	90	33	0.25	100.00	0.37
		7,584	13,375	100		1.76
CO₂ from biomass^e						
Bioenergy	3 to 8	213	73			0.34
Fermentation	100	90	17.6			0.2

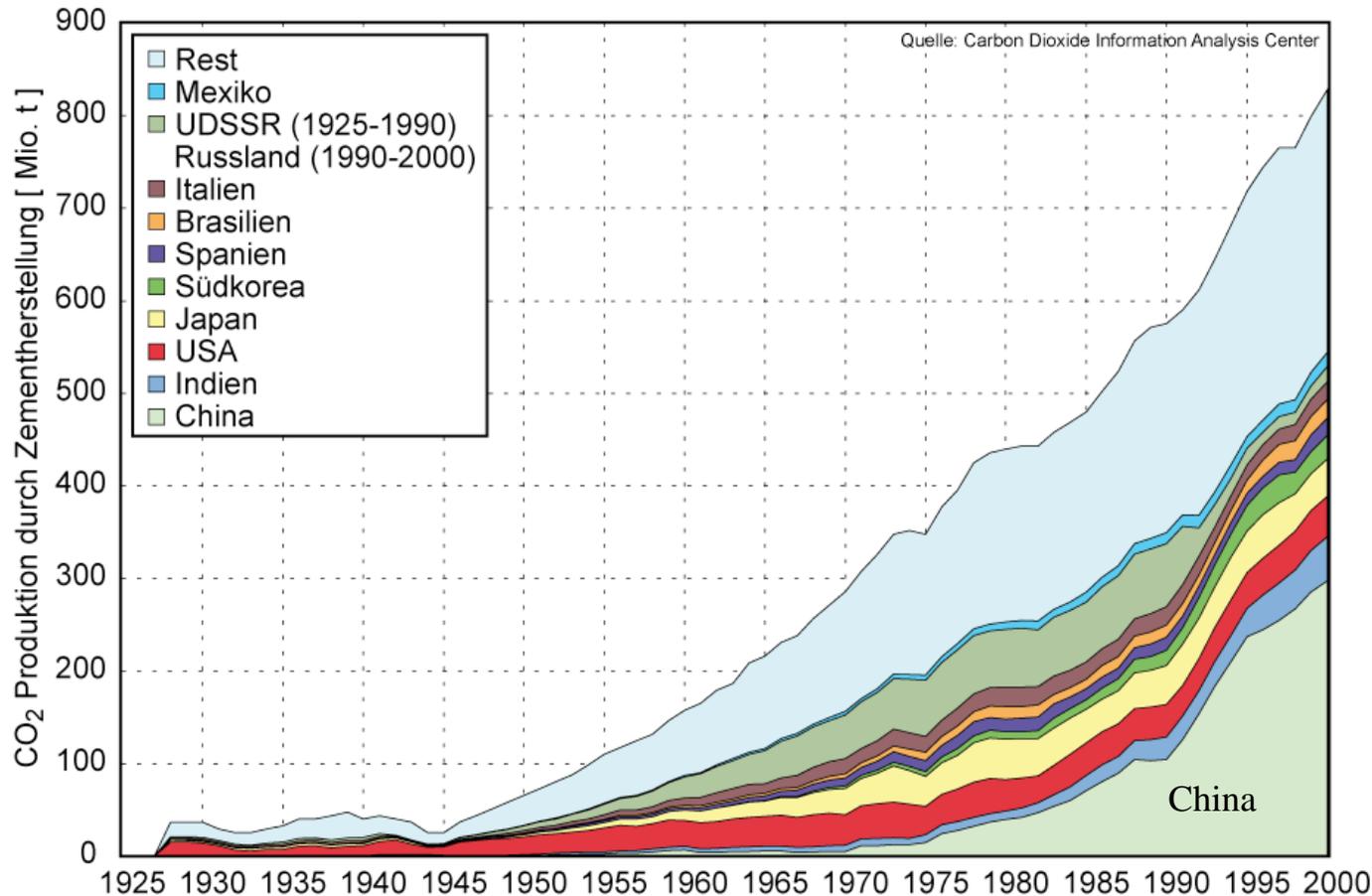
Schwer
umstellbare
chemische
Prozesse

„fossile Wasserstoff-
wirtschaft“ braucht
stets CCS

braucht stets CCS

1957Mt CO₂
entsprechend
14.6% der
Emission von
großen
stationären
Quellen und
8.66% der
Welt-Gesamt-
emission

Beispiel: Weltweite CO₂ Produktion durch Zementherstellung (Wikipedia)



IPCC:
Im Jahre
2002:
932Mio
t CO₂

Vergleiche
Deutschland,
gesamter CO₂
Ausstoß:
878Mt CO₂

Portlandzement, hergestellt durch die Zermahlung von Klinker und Gips bzw. Anhydrit, besteht chemisch gesehen aus circa 58 bis 66% CaO, 18 bis 26% SiO₂, 4 bis 10% Al₂O₃ und 2 bis 5% Fe₂O₃. Beim Brennprozess im Drehrohrofen bilden sich aus diesen Hauptbestandteilen Mineralien, die für die besonderen Eigenschaften von Zement von entscheidender Bedeutung sind.

Beim Kalkbrennen handelt es sich um die Zersetzung von Calciumcarbonat zu Calciumoxid und CO₂. Bei einer Temperatur zwischen 900 - 1300 °C findet die thermische Dissoziation statt.

Sektorale und regionale Verteilung der CO₂ Emission

Table 2.4 Sectoral and regional distribution of energy-related CO₂ emissions in 2000 (MtCO₂) (Source: IEA, 2003).

	Public electricity and heat production	Unallocated autoproducers	Other energy industries	Manufacturing industries and construction	Transport	Commercial and public services	Residential	Other sectors	CO ₂ sectoral approach total
1 Economies in transition	1,118.5	391.4	106.6	521.7	317.1	58.0	312.5	127.7	2,953.6
2 OECD West	1,087.3	132.0	222.8	722.1	1,040.9	175.1	494.6	96.2	3,971.0
3 USA	2,265.1	134.9	272.4	657.9	1,719.9	225.5	371.4	42.7	5,689.7
4 OECD Pacific	509.2	87.0	62.2	301.1	344.4	95.3	75.8	35.7	1,510.5
5 South/East Asia	925.5	104.1	137.9	533.3	451.8	50.9	185.6	39.7	2,428.7
6 Centrally Planned Asia	1,332.2	37.7	138.5	978.4	245.4	72.6	221.4	118.7	3,144.8
7 Middle East	280.6	6.6	118.6	193.0	171.6	16.6	90.8	112.5	990.4
8 Africa	276.3	15.9	40.2	137.7	143.5	5.0	44.5	34.8	697.8
9 Latin America	222.3	37.0	134.5	279.3	396.0	17.9	81.0	41.5	1,209.6
Sector total	8,016.9	946.5	1,233.7	4,324.7	4,830.6	716.8	1,877.5	649.4	22,596.1

Transport: 21.4% + „schwer umstellbare chemische Prozesse“ (8.66%) bringen zusammen 30% der globalen CO₂ Emission.

Umstellung des Transports von fossilen Treibstoffen auf 1) Wasserstoffwirtschaft: Ersatz der Kette Quelle- Tanker- Raffinerie-, Tankstelle- Automobilwirtschaft, ohne Lösung der H₂ Speicherung? 2) auf Batterie und Elektromotor ohne Batterien mit günstigem kWh/kg Wert?

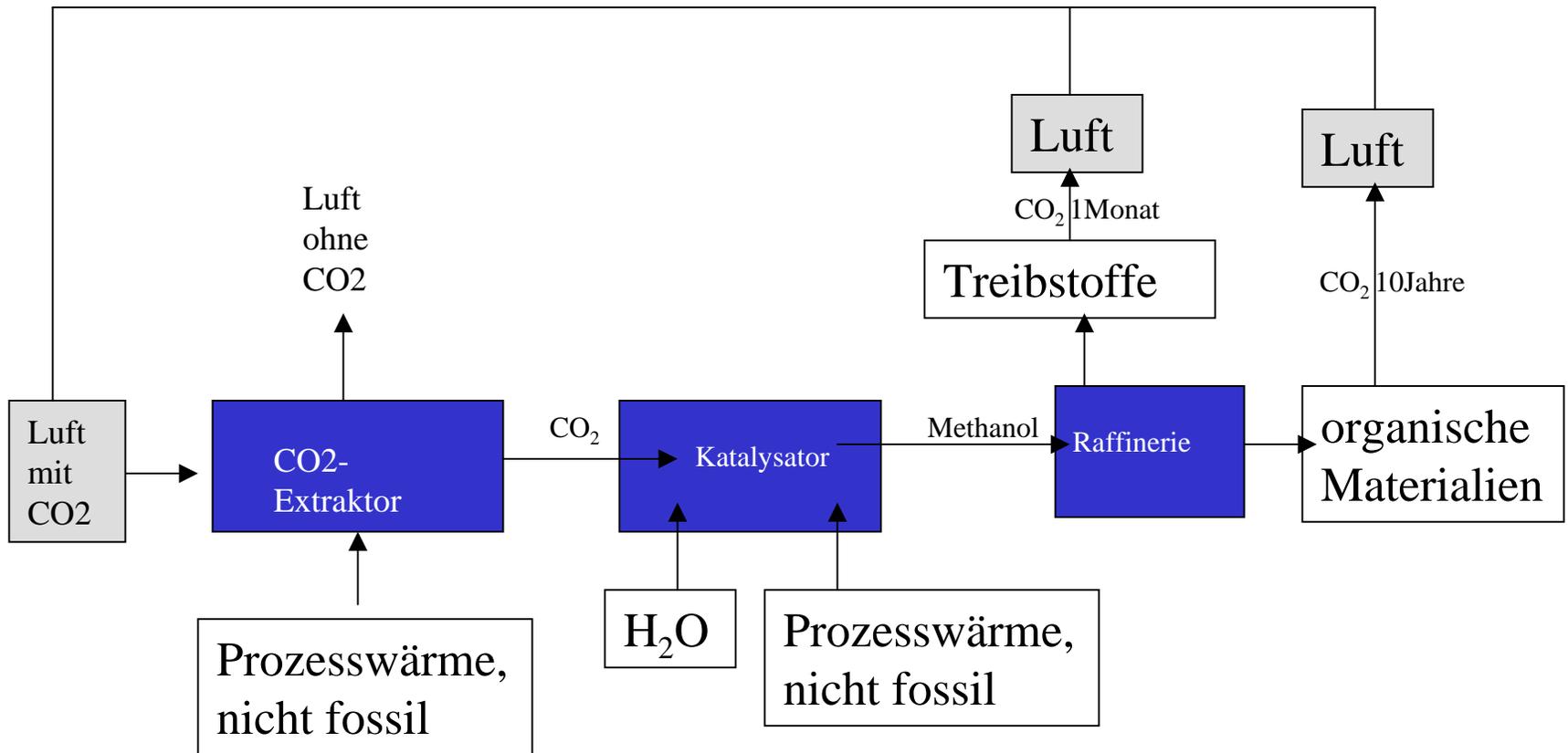
Was spricht für CO₂-Entzug aus der Luft?

Transport: 21.4% + „schwer umstellbare chemische Prozesse“ (8.66%) bringen zusammen 30% der globalen CO₂ Emission.

- 1) Mit CO₂ – Entzug aus der Luft und Speicherung könnte man diese „hartnäckigen“ Emissionen neutralisieren.
- 2) Sollte es je gelingen, alle benötigte Energie (auch für Transport) auf nichtfossilen Wegen bereitzustellen, das CO₂ aus Zementfabriken und in der Stahlproduktion an Ort und Stelle zu sequestrieren, (oder alternative Prozesse zu entwickeln) so könnten die Anlagen weiterlaufen, um die Konzentration von CO₂ auf einen gewünschten Wert zurückzunehmen („Geoengineering“ mit mineralischer CO₂-Speicherung, siehe später)
- 3) „Kohlenstoff-Kreislauf“ : CO₂ aus der Luft als Ausgangspunkt der Methanol-Synthese, dessen Einsatz in Brennstoffzellen. Weiterverarbeitung zu Diesel-Kraftstoffen.

(Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy, G.A.Olah et al., Wiley VCH 2006)

Methanol-Kreislaufwirtschaft



Stellungnahme zur „Methanolwirtschaft“

Dies ist m.E. nur sinnvoll, wenn es keine weiteren Nutzer fossiler Energie mehr gibt, außer den Nutzern von CO₂ aus der Luft.

Abgrenzung von der Sequestrierung von Biomasse

According to D.W.Keith et al, Climatic change 54 (2002)375:

1t CO₂ in biomass corresponds to 35GJ without CO₂ emission

I estimate: 1t CO₂ in biomass corresponds to 45GJ with CO₂ emission.

CO₂ emission per GJ in biomass: 0.0222t CO₂ /GJ

Compare to crude oil:

1t_e contains 41.868 GJ, C content 84-87% (from “Energy beyond oil”)

CO₂ emission from 1t_e of crude oil: 3.117tCO₂

CO₂ emission per GJ in crude oil: 0.0746 t CO₂/GJ

World wide growth of biomass-energy per year, from Table 1 in Chapter 6 (DFG-Study): 104 EJ/a

This corresponds to a yearly CO₂ fixation of either 2.28 Gt CO₂/a or 7.76 Gt CO₂/a

Compare to worldwide emission from traffic in 2002: 4.830Gt CO₂/a (IEA 2003)

This value is growing fast!

Conclusion: Even if we would use the worldwide annual growth of biomass for sequestration of the CO₂ emission from world wide traffic, it would soon be less than needed. There would never be a public acceptance for that scale of biomass sequestration and biological and cultural destruction!

Realistische Chancen der Sequestrierung mit Biomasse

(Ergebnis einer Diskussion mit Gehrhard Luther)

Biomasse mit CCS als Energiequelle hat gegenüber fossilen Kraftwerken mit CCS einen zusätzlichen Nutzen: Sie ist eine CO₂ freie Energiequelle, die CO₂ haltige fossile Quellen ersetzen kann.

Falls CCS zu einer etablierten Technik wird, kann man mit Biomasse nicht nur einen CO₂ neutralen Kreislauf aufbauen, sondern zusätzlich CO₂ aus der Luft extrahieren.

Dieser Beitrag wird durch den Bruchteil der Biomasse bestimmt, den die Gesellschaft bereit ist, für diesen Zweck einzusetzen.

2) Climate strategy with CO₂ capture from the air

David W.Keith, Minh Ha-Duong, Joshua Stolaroff

University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada

Climatic change 74 (1-3) 17-45 (2006)

Ziel: Sequestrierung des CO₂ aus der Luft

Keiths Vorschlag folgt technologisch
bekannten Kreislaufprozessen:

NaOH Kreislauf, in der paper and pulp-
Industrie

Kalkbrennen, beschrieben in ChemgaPedia

Der auf der nächsten Folie gemachte Vorschlag von Keith et al. hat den geschlossenen Kreislauf bei der Papierherstellung aus Holz zum Vorbild: Lignin wird herausgelöst, Zellulose wird zu Papier weiterverarbeitet

Paper and pulp industry: kraft process

The **Kraft process** (also known as **Kraft pulping** or **sulfate process**) produces wood pulp which is almost pure cellulose fibers by using sodium hydroxide and sodium sulfite to extract the lignin from wood chips in large pressure vessels called digestors. Some digesters operate in a batch manner and some in a continuous process such as the Kamyr digester. Digesters producing 1,000 tonnes of pulp per day and more are common.



It was developed by Carl Dahl in 1879 and the first kraft mill started in 1890.¹ The invention of the recovery boiler by G.H. Tomlinson in the early 1930s, was a milestone in the advancement of the kraft process.¹ It enabled the recovery and reuse of the inorganic pulping chemicals such that a kraft mill is almost closed-cycle with respect to inorganic chemicals, apart from those used in the bleaching process.

CO₂ Entzug aus der Luft (David W. Keith et al)

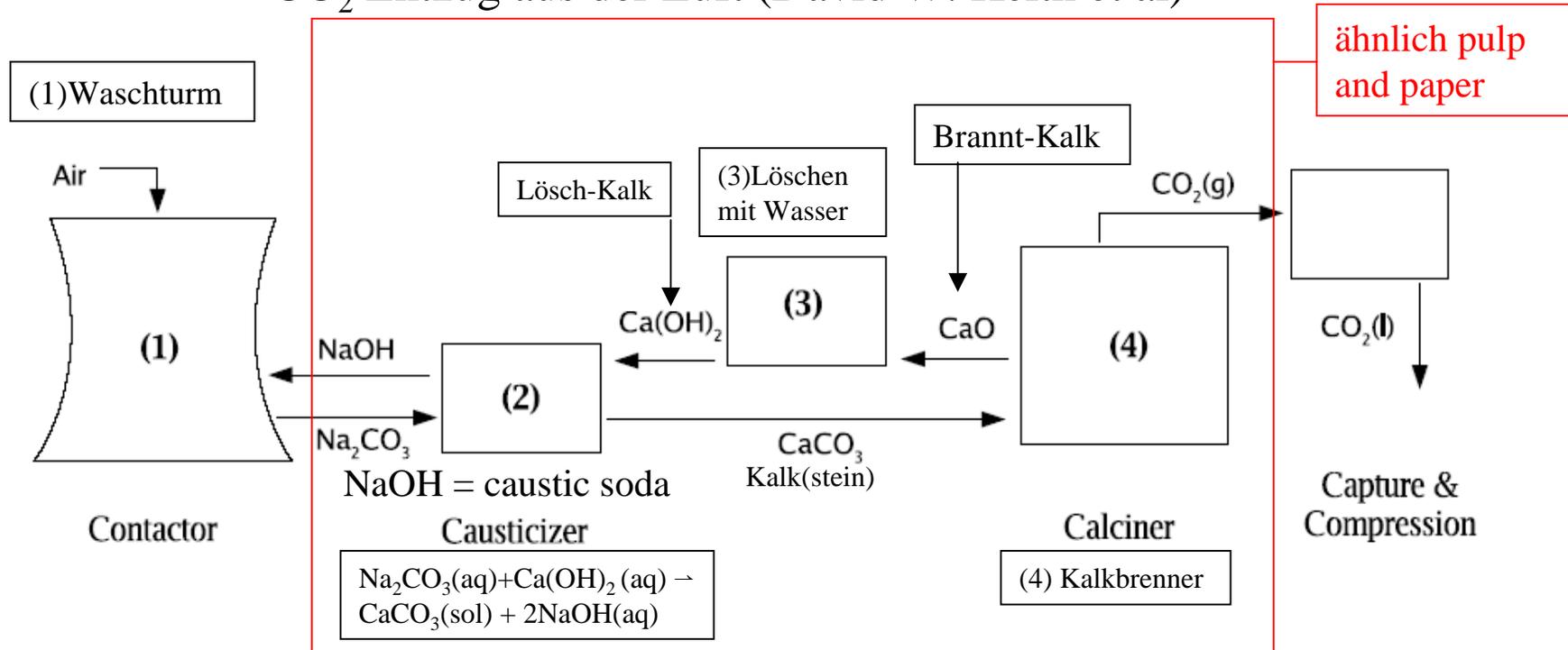


Figure 5: Top level process diagram of an example direct air capture system. Closed chemical loops of NaOH and CaO extract CO₂ from air convert it to a pure, compressed form for sequestration.

(4) Beim Kalkbrennen handelt es sich um die Zersetzung von Calciumcarbonat zu Calciumoxid und CO₂. Bei einer Temperatur zwischen 900 - 1300 °C findet die thermische Dissoziation statt. Ähnlich Betonwerk und der „nachhaltigen Recyclierung“ das antiken Roms durch die „marmorari“

Table B.2: NaOH spray tower air capture unit: key parameters

Parameter	value	motivation
Tower diameter	110 m	equal to cooling tower
Tower height	120 m	equal to cooling tower
Air velocity	2 m/s	reasonable value ^a
CO ₂ capture efficiency from air	50%	reasonable value ^b
Mean drop diameter	0.7 mm	spray distribution from a hollow-cone spray nozzle
NaOH concentration in Solution	3–6 mol/l	adjusted to minimize evaporative loss based on local climate.
Carbonate captured per pass ^b	0.2 mol/l	based on numerical model of falling drops
Solution flow rate	1 m ³ /s	fixed by above parameters
Pressure drop accross tower ^b	22 Pa = ca 0.17mm Hg	based on numerical model of falling drops; excludes wall friction.
Electricity use	1.4 MW	based on 75% fan and 85% pump efficiency
Carbon capture rate	76000 tC/yr	fixed by above parameters
Capital cost ^c	\$12 million	(cooling tower cost)×1.5 ^c
Operation and maintenance cost	400,000 \$/yr	conservative guess

Waschturm

NaOH = caustic soda

1m² Waschturm kompensiert
811.9 W Kohleverbrennung oder
ca 1600W Erdgasverbrennung.
Also wie eine Windenergieanlage
bei optimalem Wind

Wasserverbrauch: 5t Wasser/tC
entspricht 12 Liter Wasser /s. Zum
Vergleich: Bei Niedrigwasser der
Mosel fließen in Cochem 20 m³ /s

pilot scale prototype

Joshua Stolaroff, David Keith and Greg Lowry (In press). A pilot-scale prototype contactor for CO₂ capture from ambient air: cost and energy requirements. 8th International Conference on Greenhouse gas Control Technologies Trondheim, Norway.

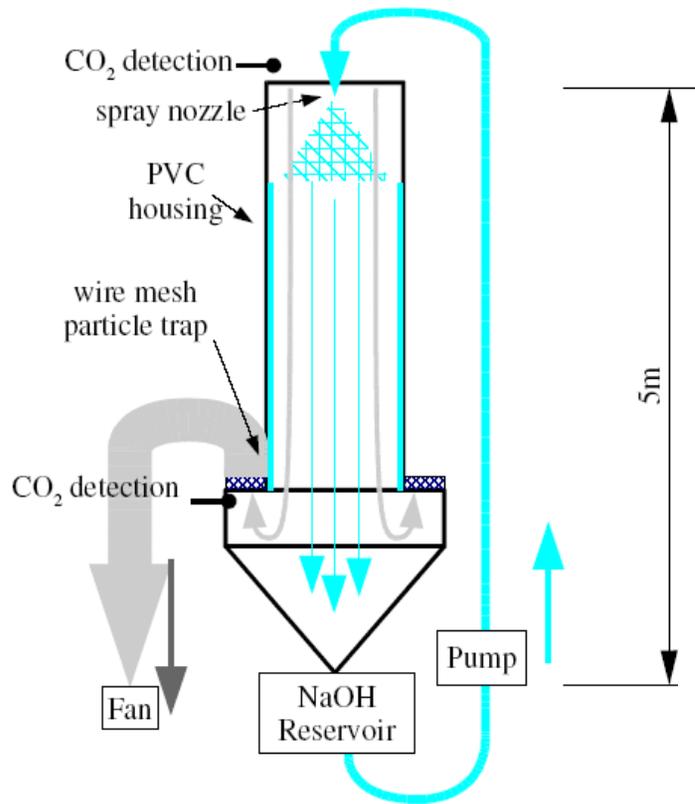


Figure 2: Prototype design. NaOH spray absorbs CO₂ from air pulled through by a blower while CO₂ concentration is measured at the inlet and outlet.

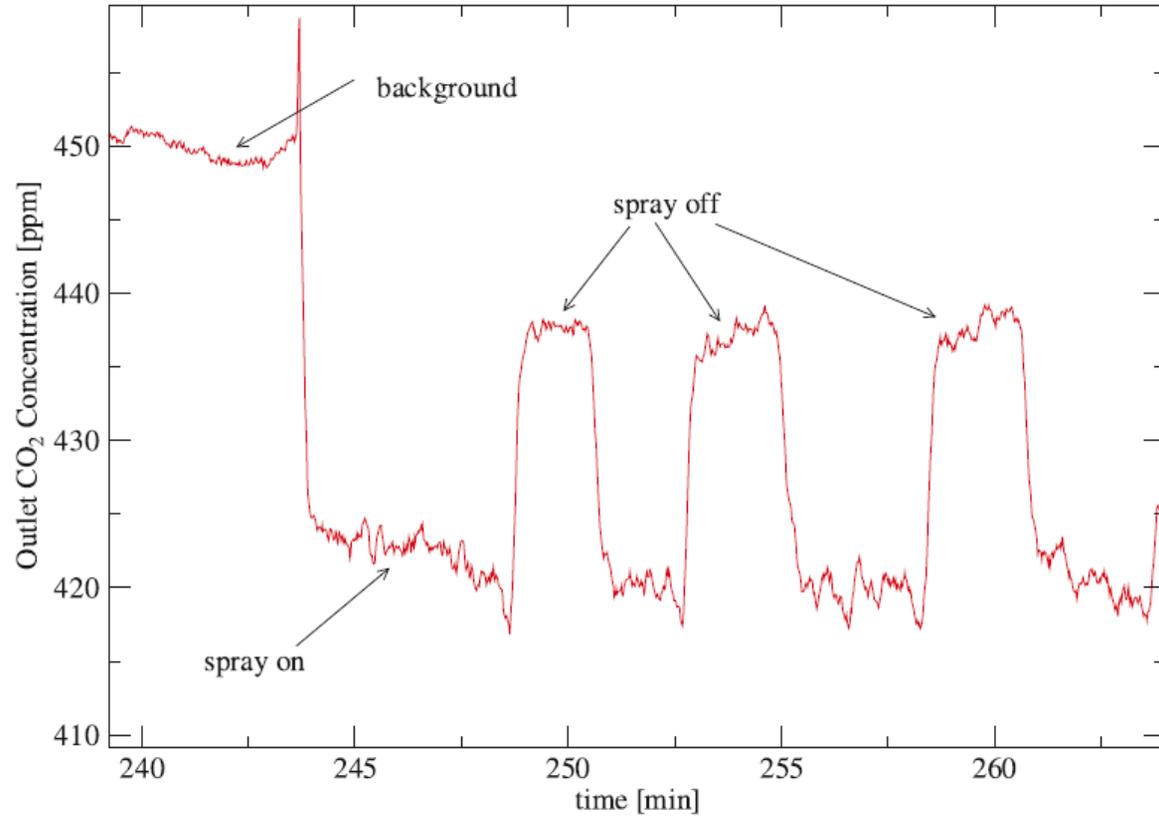
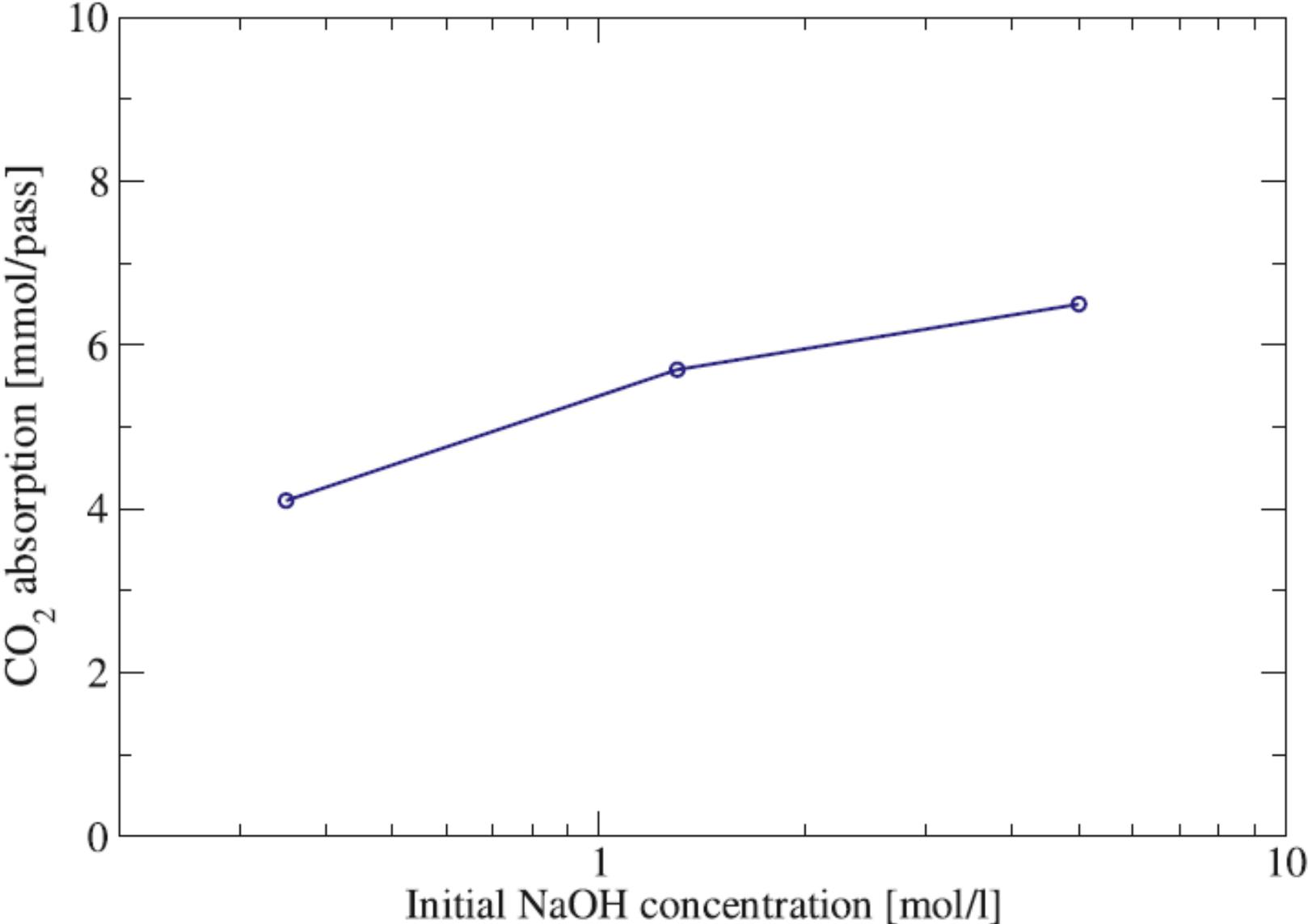


Figure 3: Outlet CO₂ concentration during a typical trial. Turning the spray on and off allows separation absorption due to spray and due to the wetted wall.

CO₂ Absorption als Funktion der NaOH - Konzentration



CO₂ Absorption als Funktion der mittleren Tropfengröße

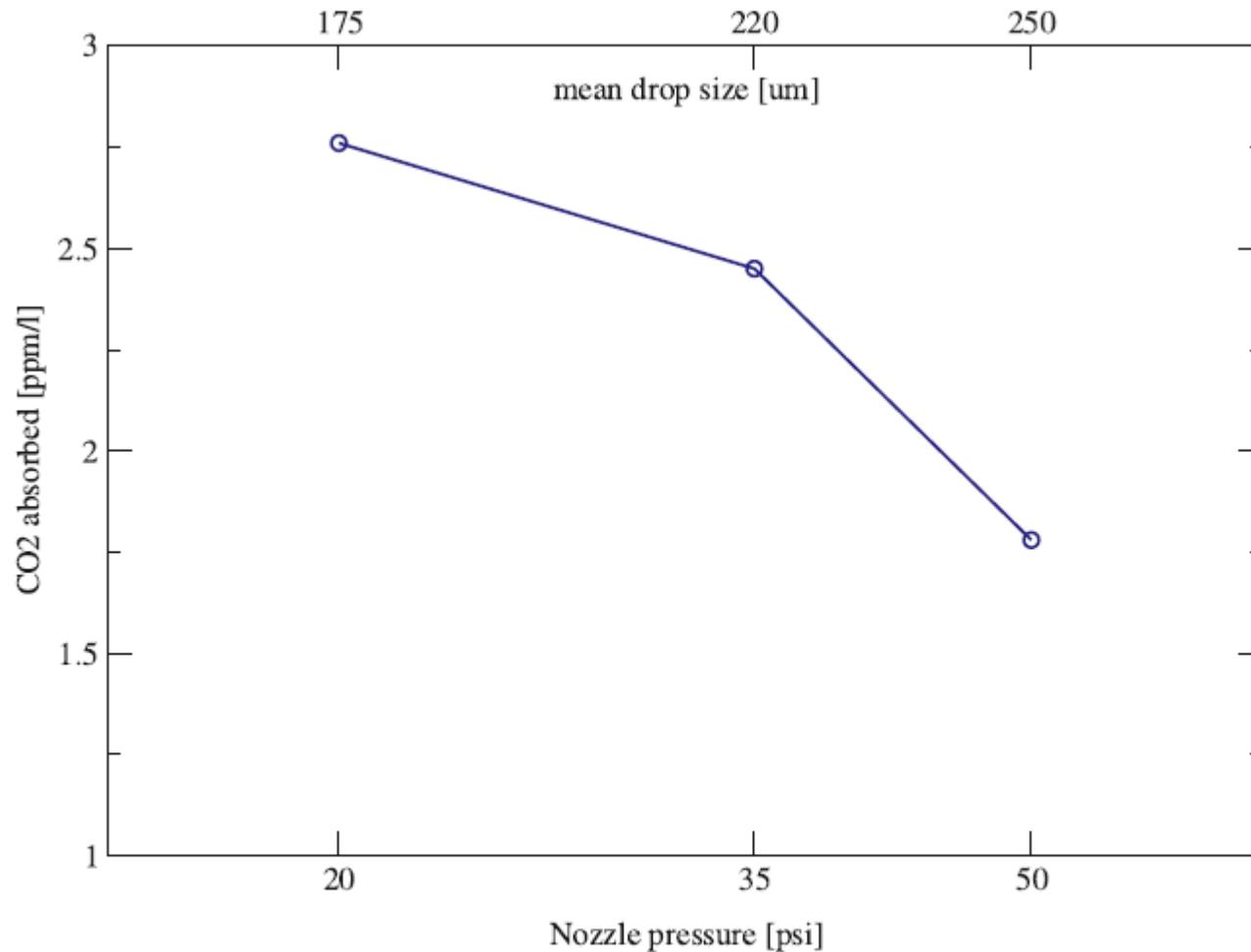


Figure 4: CO₂ absorption for several nozzle pressures. The top axis shows drop size corresponding to each nozzle pressure according to manufacturer data. Smaller drops absorb more efficiently.

Table B.3: Example air capture system: estimated and analogous costs and energy requirements

System	Mechanical	Thermal	Cost [\$/tC] ^a
	Energy [GJ/tC]	Energy [GJ/tC]	
<i>Calcination</i>			
Calcination in lime production	0.3	17	230 ^b
Calcination in Kraft process	(small)	32	?
Calcination + caustization in Kraft Process (nasser Kalk)	(small)	40	373 ^c
<i>CO₂ capture and compression</i>			
Amine capture <small>m.E bei nicht-fossilen Verfahren nicht benötigt</small>	0.4 ^d	14 ^{d,e}	49 ^{d,f}
CO ₂ compression	1.6 ^d	0	43 ^d
<i>Contacting</i>			
Spray tower	1.0	0	41 ^f
Packed tower	1.2 ^g	0	?

Energie-Bilanz
(Keith et al)

Energie zu CCS aus der Luft 42.6 GJ/tC = 11833kWh/tC; Energieinhalt eines barrel Erdöl = 6.1x10⁹ J, daraus folgt Energieinhalt bezogen auf C im Erdöl 13329kWh/tC

Man braucht in etwa die Energie zur CCS aus Luft, die ursprünglich im Röhöl steckte

Kostenbilanz (Keith et al, A.O.)

Table B.3: Example air capture system: estimated and analogous costs and energy requirements

System	Mechanical Energy [GJ/tC]	Thermal Energy [GJ/tC]	Cost [\$/tC] ^a
<i>Calcination</i>			
Calcination in lime production	0.3	17	230 ^b
Calcination in Kraft process	(small)	32	?
Calcination + caustization in Kraft Process	(small)	40	373 ^c
<i>CO₂ capture and compression</i>			
Amine capture	0.4 ^d	14 ^{d,e}	49 ^{d,f}
CO ₂ compression	1.6 ^d	0	43 ^d
<i>Contacting</i>			
Spray tower	1.0	0	41 ^f
Packed tower	1.2 ^g	0	?

Kosten der CCS aus Luft
453 \$/tC

Aus Kosten einer tC im Erdöl (1 Barrel kostet 60\$, Dichte mal C-Konzentration = 0.8) folgt 472 \$/tC

Für die Kosten ist angenommen:
0.07 \$/kW-hr for carbonneutral electricity

Die Rohölkosten tragen wahrscheinlich weniger als 20% zum Preis des Endprodukts in Dutschland bei(Benzin, Diesel) bei. Wenn der Staat auf die Steuer aus einer Preiserhöhung um 20% verzichtete, ließe sich CCS aus Luft mit einer Preiserhöhung von 20% finanzieren.

Wieviel CO₂ kann entzogen werden? (Keith et al)

An air capture system will be limited by the flux of CO₂ that is transported to the absorber by atmospheric motions; even a perfect absorber can only remove CO₂ at the rate at which it is carried to the device by large-scale atmospheric motion and turbulent diffusion. At large scales (100's of km), **CO₂ transport in the atmospheric boundary layer limits the air capture flux to roughly 400 tC/ha-yr** [Elliott et al., Geophysical Research Letters 28(7),1235, 2001]

Gedanken-Modell: CCS des CO₂ aus dem Verkehr in Deutschland (A.O.)

- 1) Beitrag des Verkehrs; ca 20% von 878Mt CO₂ oder 47.925MtC.
- 2) Dies entspricht 631 Waschtürmen, jeder braucht in etwa 2km² Einzugs- Fläche.
- 3) Vergleich mit WEA in Deutschland 2006: ca.18000, entsprechend ca 1800 „Windparks “ zu je 10 WEA
- 4) Jedem Waschturm mit Kalkkreislauf ist ein kleiner Hochtemperatur-Kugelhaufen -Kernreaktor von etwas mehr als 0.1GW thermisch zugeordnet (Man braucht im wesentlichen thermische Energie, nur ca 4% der Energie für CO₂-Kompression).

3) Sichere Endlagerung des CO₂ ?

Kapazitäten der CO₂-Speicher (IEA)

Worldwide CO ₂ Storage Capacity ¹	
Storage Option	Capacity (billions of ton)
Deep Ocean	5,100 - 100,000
Mineral Sequestration	>>1,000
Deep Aquifers	320 - 10,000
Depleted Oil Wells	500 - 1,000
Depleted Gas Reservoirs	150 - 700
Coal Seams	150 - ???
(Fossil Fuel Reserves	3,500)

¹Based on IEA/GHG & EIA/IEO 2000

²Est. of US capacity by Goff, et al, 2000

1 amerikanische Billion = 10⁹

IPCC Special Report: Carbon Dioxide Capture and Storage

meines Erachtens: „Anfangskosten“ bei noch günstigen und leeren Lagerstätten.

Table SPM.5. 2002 Cost ranges for the components of a CCS system as applied to a given type of power plant or industrial source. The costs of the separate components cannot simply be summed to calculate the costs of the whole CCS system in US\$/CO₂ avoided. All numbers are representative of the costs for large-scale, new installations, with natural gas prices assumed to be 2.8-4.4 US\$ GJ⁻¹ and coal prices 1-1.5 US\$ GJ⁻¹ (Sections 5.9.5, 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, Tables 8.1 and 8.2).

CCS system components	Cost range	Remarks
Capture from a coal- or gas-fired power plant	15-75 US\$/tCO ₂ net captured	Net costs of captured CO ₂ , compared to the same plant without capture.
Capture from hydrogen and ammonia production or gas processing	5-55 US\$/tCO ₂ net captured	Applies to high-purity sources requiring simple drying and compression.
Capture from other industrial sources	25-115 US\$/tCO ₂ net captured	Range reflects use of a number of different technologies and fuels.
Transportation	1-8 US\$/tCO ₂ transported	Per 250 km pipeline or shipping for mass flow rates of 5 (high end) to 40 (low end) MtCO ₂ yr ⁻¹ .
Geological storage ^a	0.5-8 US\$/tCO ₂ net injected	Excluding potential revenues from EOR or ECBM.
Geological storage: monitoring and verification	0.1-0.3 US\$/tCO ₂ injected	This covers pre-injection, injection, and post-injection monitoring, and depends on the regulatory requirements.
Ocean storage	5-30 US\$/tCO ₂ net injected	Including offshore transportation of 100-500 km, excluding monitoring and verification.
Mineral carbonation	50-100 US\$/tCO ₂ net mineralized	Range for the best case studied. Includes additional energy use for carbonation.

^a Over the long term, there may be additional costs for remediation and liabilities.

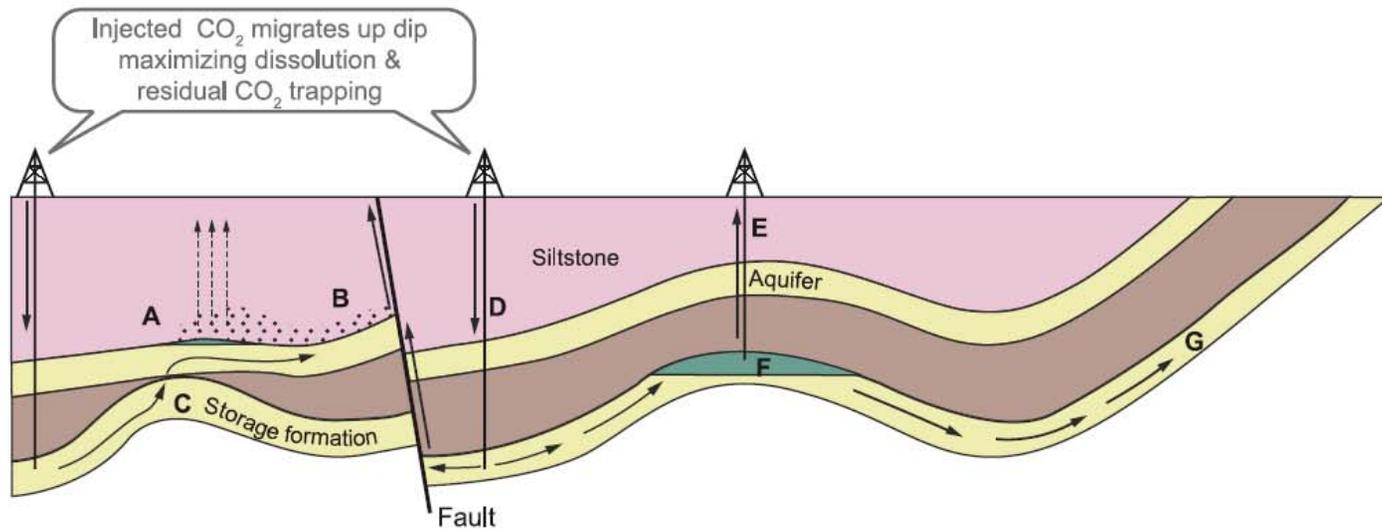
Energy and economic models indicate that the CCS system's major contribution to climate change mitigation would come from deployment in the electricity sector. Most modelling as assessed in this report suggests that CCS systems begin to deploy at a significant level when CO₂ prices begin to reach approximately 25–30 US\$/tCO₂

Abgrenzung von CO₂- Speicherung in tiefen Aquiferen

Bei den Größenordnungen von 30% der globalen CO₂ Emission (30% von 22.6 10⁹t CO₂ im Jahre 2000, rasch ansteigend) steigen auch die Risiken, siehe nächstes Blatt.

CCS kann m.E. nur als Übergangslösung angesehen werden.

Aus IPCC, Carbon dioxide Capture and Storage, Summary for policy makers and technical summary



Potential Escape Mechanisms

<p>A. CO₂ gas pressure exceeds capillary pressure & passes through siltstone</p>	<p>B. Free CO₂ leaks from A into upper aquifer up fault</p>	<p>C. CO₂ escapes through 'gap' in cap rock into higher aquifer</p>	<p>D. Injected CO₂ migrates up dip, increases reservoir pressure & permeability of fault</p>	<p>E. CO₂ escapes via poorly plugged old abandoned well</p>	<p>F. Natural flow dissolves CO₂ at CO₂ / water interface & transports it out of closure</p>	<p>G. Dissolved CO₂ escapes to atmosphere or ocean</p>
--	---	---	--	---	---	--

Remedial Measures

<p>A. Extract & purify ground-water</p>	<p>B. Extract & purify ground-water</p>	<p>C. Remove CO₂ & reinject elsewhere</p>	<p>D. Lower injection rates or pressures</p>	<p>E. Re-plug well with cement</p>	<p>F. Intercept & reinject CO₂</p>	<p>G. Intercept & reinject CO₂</p>
--	--	---	---	---	--	--

Figure TS.8. Potential leakage routes and remediation techniques for CO₂ injected into saline formations. The remediation technique would depend on the potential leakage routes identified in a reservoir (Courtesy CO2CRC).

On a millennial time scale...

IPCC Special Report: Carbon Dioxide Capture and Storage

On a millennial time scale, the amount stored will depend on oceanic equilibration with the atmosphere. Stabilizing atmospheric CO₂ concentrations between 350 ppmv and 1000 ppmv would imply that between 2,000 and 12,000 GtCO₂ would eventually reside in the ocean if there is no intentional CO₂ injection. This range therefore represents the upper limit for the capacity of the ocean to store CO₂ through active injection. The capacity would also be affected by environmental factors, such as a maximum allowable *pH* change.

Table TS.7. Fraction of CO₂ retained for ocean storage as simulated by seven ocean models for 100 years of continuous injection at three different depths starting in the year 2000.

Year	Injection depth		
	800 m	1500 m	3000 m
2100	0.78 ± 0.06	0.91 ± 0.05	0.99 ± 0.01
2200	0.50 ± 0.06	0.74 ± 0.07	0.94 ± 0.06
2300	0.36 ± 0.06	0.60 ± 0.08	0.87 ± 0.10
2400	0.28 ± 0.07	0.49 ± 0.09	0.79 ± 0.12
2500	0.23 ± 0.07	0.42 ± 0.09	0.71 ± 0.14

Vergleiche: im Jahre 2000 jährlicher CO₂-Anfall 0.0022×10^{13} , in 100 Jahren mindestens 0.22×10^{13} tCO₂

Ozeanische Kapazität: IPCC $(0.2-1.2) \times 10^{13}$ tCO₂, IEA usw.: $(0.51-10) \times 10^{13}$ tCO₂

in 100 Jahren könnte der Ozean voll sein, „für alle Zeiten“

Dauerhafte Bindung von CO₂ in Mineralien

Serpentine:

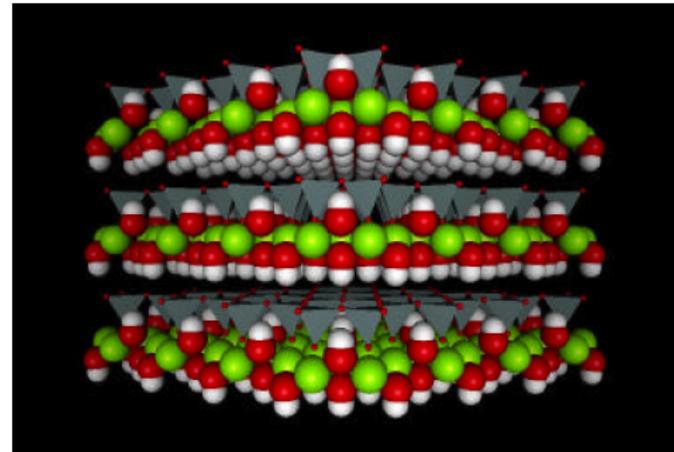
- $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 3\text{CO}_2 \rightarrow 3\text{MgCO}_3 + 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- Exothermic reaction: + 64 kJ/mole
- One ton to dispose of 1/2 ton of CO₂

403kWh/tCO₂

Forsterite:

- $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2$
- Exothermic reaction: + 95 kJ/mole
- One ton to dispose of 2/3 ton of CO₂

598kWh/tCO₂



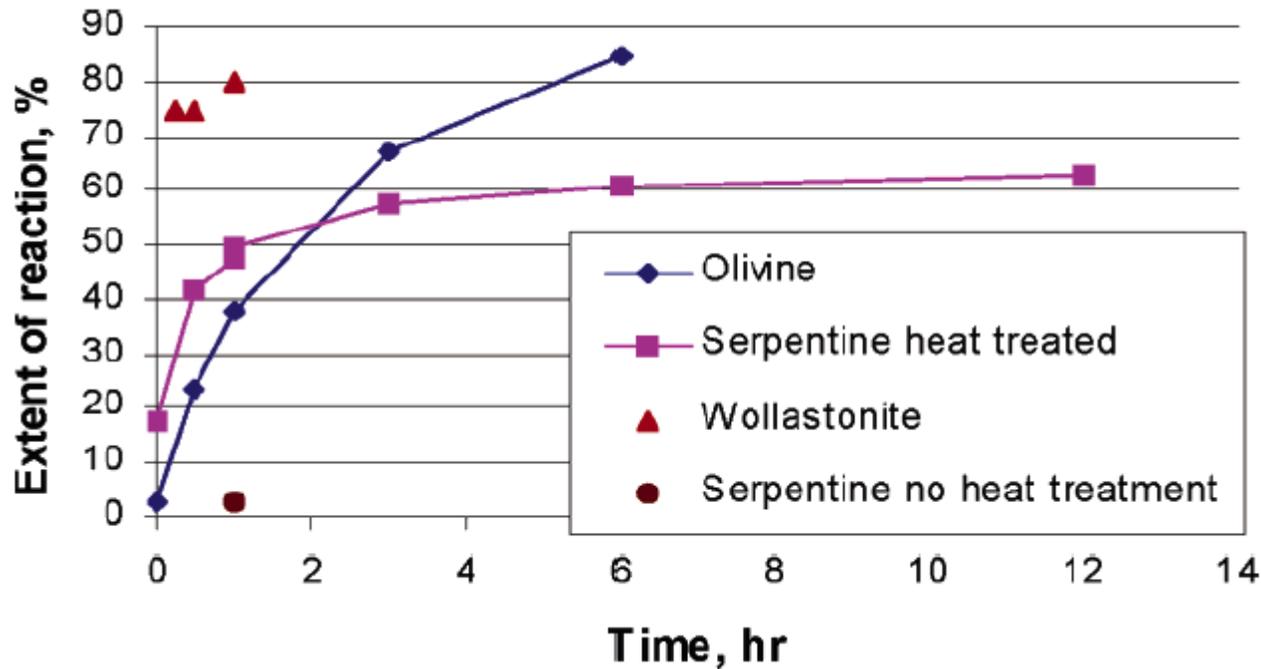
Structural model of Serpentine (Lizardite)

Energie zu CCS aus der Luft 42.6 GJ/tC = 11833kWh/tC;

Energieinhalt eines barrel Erdöl = 6.1×10^9 J,

daraus folgt Energieinhalt bezogen auf C im Erdöl 13329kWh/tC = 3635 kWh/tCO₂

Wärmegewinn bei CO₂ Bindung in Mineralen ca 11 – 16% des auf Erdöl bezogenen Energieinhalts. Sollte das Verfahren nicht einfach sein?



Extraction at 185 °C and 150 atm CO₂ in NaCl /NaHCO₃ solution.

Mineral Carbonation nur bei hoher Temperatur und hohem Druck!

Kohlekraftwerk 1GW thermisch, benötigte Menge an Mineral zur mineralischen Speicherung des abgegebenen CO₂, Energie zum Zermahlen des mineralischen Gesteins zur Aufnahme des CO₂.

Ex Situ Aqueous Mineral Carbonation, S. J. Gerdemann et al. Environ. Sci. Technol. 2007, 41, 2587-2593

The basis for this calculation is a 1-GW, coal-fired power plant, burning coal with an as-fired heat value of 29 100 kJ/kg and carbon content of 74%, at 35% plant efficiency. The calculated CO₂ emissions (25.4 kt/day) were then used to calculate the daily ore requirement to sequester 100% of the CO₂ emissions.

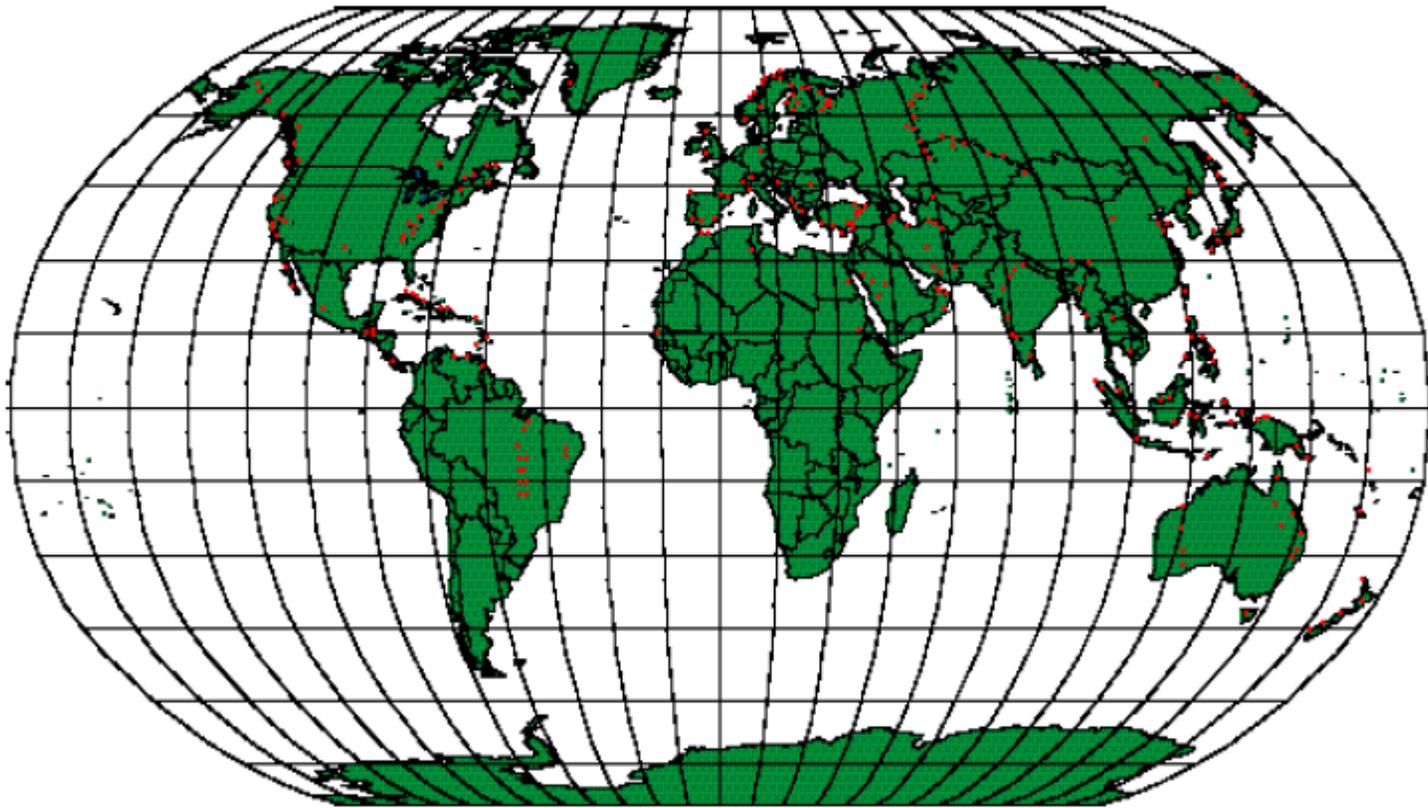
TABLE 3. Energy Cost by Pretreatment

region	ore mineral and grade	pretreatment methodology	R_{CO_2}	R_x , %	ore or conc, kt/day	% of total plant energy
1	olivine, 100%	ball mill (-75 μ m)	1.8	16	286	15
		ball mill (-38 μ m)	1.8	61	75	26
		SMD mill	1.8	81	56	55
2-4	serpentine (lizardite), 100%	ball mill (-75 μ m)	2.5	9	706	37
		heat treatment (-38 μ m)	2.5	40	158	222
		SMD mill	1.8	81	56	55
5	olivine, 70%	ball mill (-75 μ m)	1.8	16	286	22
		ball mill (-38 μ m)	1.8	61	75	28
		SMD mill	1.8	81	56	56
6	serpentine (antigorite), 100%	ball mill (-75 μ m)	2.1	12	445	24
		heat treatment (-75 μ m)	2.1	62	86	110
		heat treatment (-38 μ m)	2.1	92	58	90
7	wollastonite, 50%	ball mill (-38 μ m)	2.8	43	165	67
		SMD mill	2.8	82	87	61
R_{CO_2} is defined as the mass of ore necessary to convert a unit mass of CO ₂ to a carbonate.					viel Gestein	viel Energie

Mineralien zur CO₂-Fixierung mehr als Kohle? Meinung A

Vast Raw Material Deposits Worldwide

- Vast capacity - readily accessible deposits of ultramafic rocks exceeding even the most optimistic estimate of coal reserves



National Energy Technology Laboratory- the only US Nat. Lab. devoted to fossil energy technology.

Mineral disposal, Meinung B

IPCC Special Report: Carbon Dioxide Capture and Storage

„The extent to which mineral carbonation may be used can currently not be determined, since it depends on the unknown amount of silicate reserves that can be technically exploited and on environmental issues such as the volume of product disposal.“

“Environmental impacts of large-scale mineral carbonation would be a consequence of the required mining and disposal of resulting products that have no practical use. Industrial fixation of one tonne of CO₂ requires between 1.6 and 3.7 tonnes of silicate rock. The impacts of mineral carbonation are similar to those of large-scale surface mines. They include land-clearing, decreased local air quality and affected water and vegetation as a result of drilling, moving of earth and the grading and leaching of metals from mining residues, all of which indirectly may also result in habitat degradation. Most products of mineral carbonation need to be disposed of, which would require landfills and additional transport”.

Mineralische Fixierung von CO₂

IPCC Special Report: Carbon Dioxide Capture and Storage

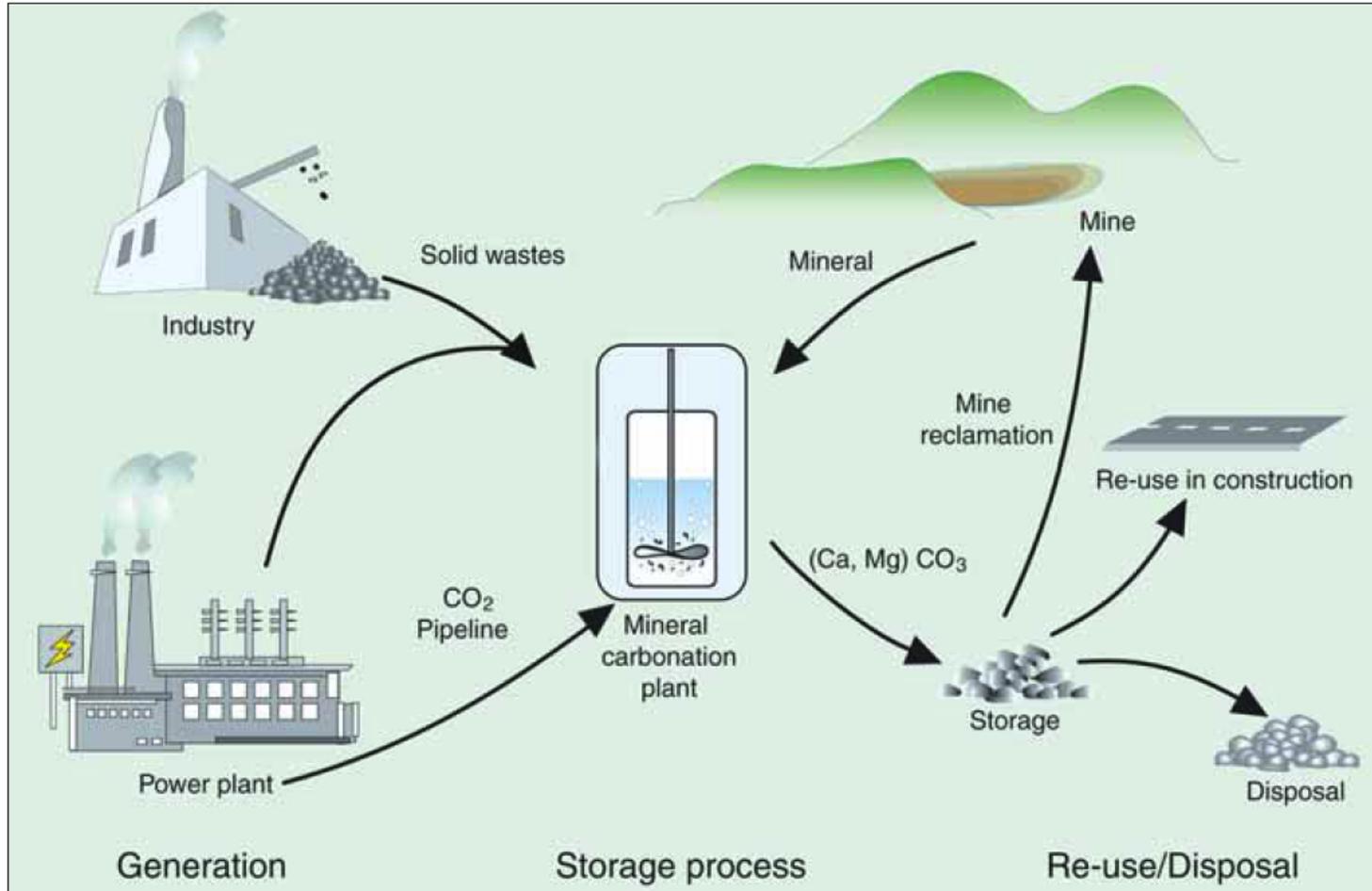


Figure TS.10. Material fluxes and process steps associated with the mineral carbonation of silicate rocks or industrial residues (Courtesy ECN).

The carbonation process energy required would be 30 to 50% of the capture plant output. Considering the additional energy requirements for the capture of CO₂, a CCS system with mineral carbonation would require 60 to 180% more energy input per kilowatt-hour than a reference electricity plant without capture or mineral carbonation.

Das Problem des globalen CO₂-Entzugs aus der Luft mit den bisher vorgeschlagenen Techniken

(Waschtürme und mineralische Speicherung)

- 1) Number of required washing towers of 76000tCO₂/a to wash out world wide traffic emissions of 4.830Gt CO₂/a : 63550 towers, requiring an area of 127100 km². Compare to area of Germany: 357020km² or to 5 continents with dedicated areas 250 x 250km² = 312500km²
- 2) As rough estimate, this technique requires nonfossil energy twice as much as the original fossil energy. Therefore, it is wiser to use nonfossil energy resources to directly replace fossil energy sources and techniques. Produce steel with non fossil energy and addition of carbon. Start research on building material without calcination

Alternative CO₂-Extraktions-Anlagen?

Prinzip: Angesaugte Luft wird mit feinkörnigem Mineral in passende wässrige Lösungen bei optimalen Werten von Temperatur und Druck geblasen, der abgeführten CO₂-freien Luft wird die thermische Energie im Gegenstromverfahren entzogen, die Karbonate werden abgeschieden („Beschleunigung der geologischen Verwitterung“). Falls dieses Verfahren weniger Energie benötigt als der ursprüngliche fossile Brennstoff, könnte das Verfahren im Vergleich des direkten Ersatzes fossiler durch nichtfossile Energie von Vorteil sein.

Zitat aus www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/6c1.pdf

Carbon sequestration by reacting naturally occurring Mg and Ca containing minerals with CO₂ to form carbonates has many unique advantages. Most notably is the fact that carbonates have a lower energy state than CO₂, which is why mineral carbonation is thermodynamically favorable and occurs naturally (e.g., the weathering of rock over geologic time periods). Secondly, the raw materials such as magnesium based minerals are abundant. Finally, the produced carbonates are unarguably stable and thus re-release of CO₂ into the atmosphere is not an issue. However, conventional carbonation pathways are slow under ambient temperatures and pressures. The significant challenge being addressed by this effort is to identify an industrially and environmentally viable carbonation route that will allow mineral sequestration to be implemented with acceptable economics..

Optimaler Standort der CO₂ –Extraktionsanlagen?

- An abgelegenen Oberflächen-Lagern von Fixierungs-Mineralien.
- Dort nicht fossile Zentralen für die Bereitstellung der Prozesswärme bei der CO₂-Gewinnung aus der Luft und elektrischer Energie zur mechanischen Zerkleinerung der Mineralien.
- Abgebaute Teil des Oberflächenlagers = Deponie der CO₂-gesättigten Mineralien

Zusammenfassung

- 1) Je schneller Einsparung und Energieeffizienz , Solarthermie, Kern-und Fusions-energie wachsen, desto weniger braucht man fossile Brennstoffe und um so weniger CCS .
- 2) Globaler CO₂ – Entzug aus der Luft im großen Stil ist nicht allein mit Biomasse durchführbar.
- 3) Die sicherste Methode der CO₂ Sequestrierung ist die mineralische. Diese ist mit den hier besprochenen und veröffentlichten Methoden zu energie-intensiv.
- 4) Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß die geologische Verwitterung mit CO₂ Fixierung hinreichend beschleunigt werden kann , und man dabei mit weniger Energie als der der verbrannten fossilen Brennstoffe auskommt. (Das wäre ein neuer Vortrag!)