

# Klimaneutraler Industriesektor am Beispiel der Zementindustrie?

Josef Waltisberg, dipl. Ing. ETH

08.08.2023



**satw** it's all about technology



Waltisberg Consulting

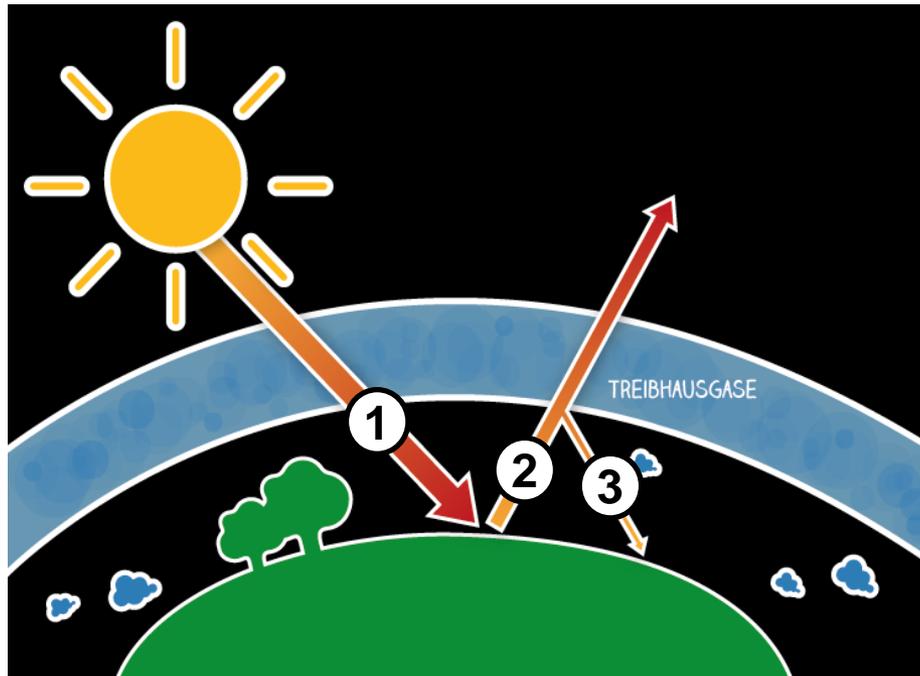
**TecNight**

Kantonsschule Obwalden, Sarnen  
Dienstag, 28. März 2023



Abgeänderte und erweiterte Version  
des gehaltenen Vortrags  
mit neusten verfügbaren Zahlen

# Erderwärmung – Warum?



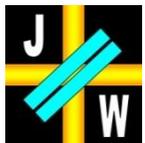
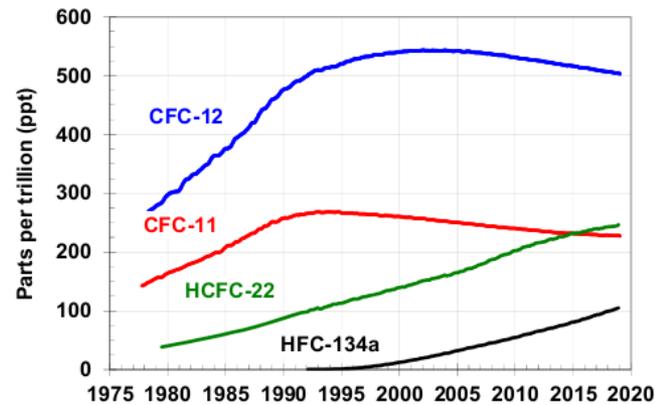
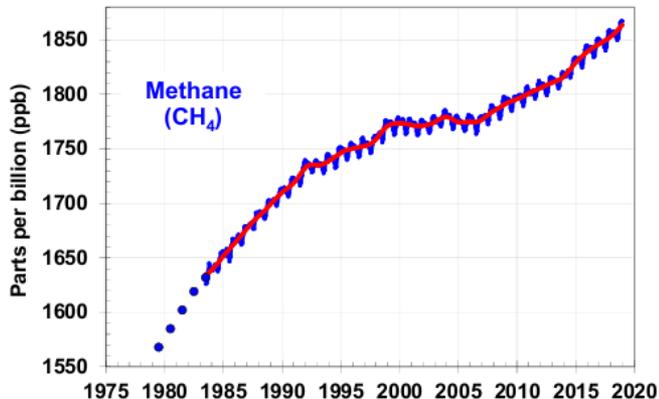
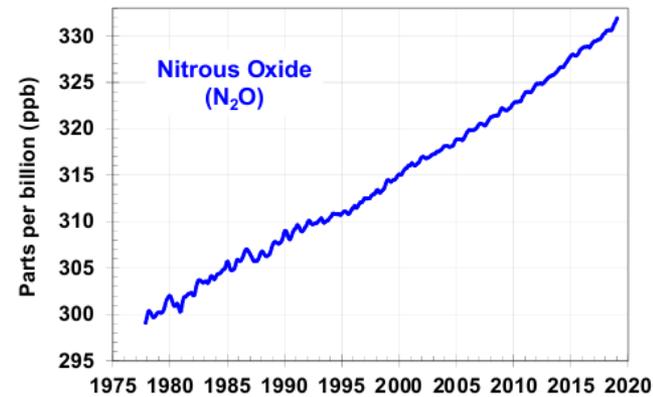
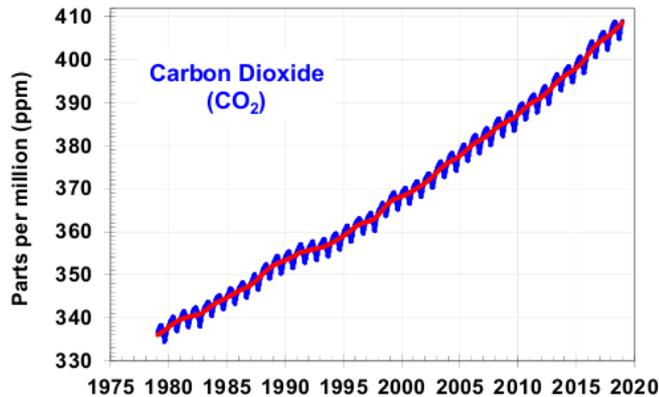
## Treibhausgase

Wasserdampf	H <sub>2</sub> O
<b>Kohlendioxid</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
Methan	CH <sub>4</sub>
Lachgas	N <sub>2</sub> O
andere	.....

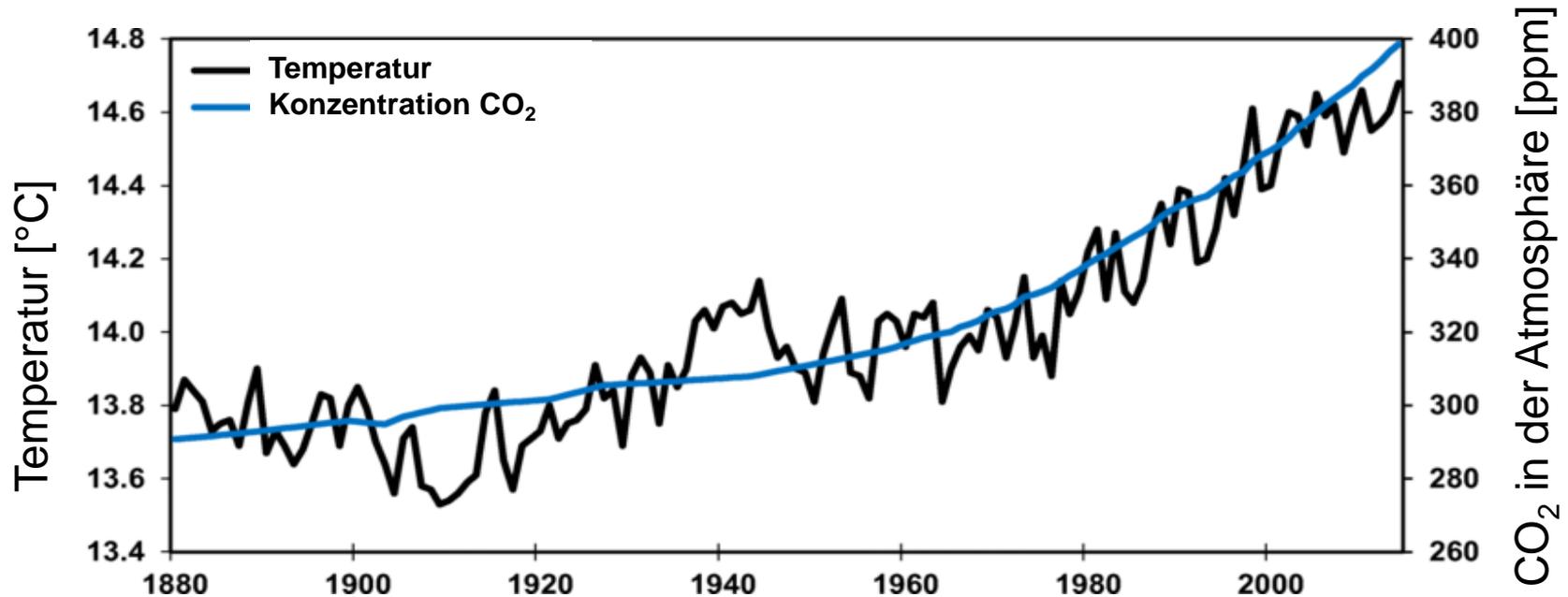
- ① Die Sonne sendet kurzwellige Strahlung auf die Erde und die Erde nimmt diese Wärmestrahlung auf
- ② Die Erde sendet aber einen Teil der Strahlungsenergie im infraroten Bereich zurück (Reflektion)
- ③ In der Atmosphäre absorbieren (aufnehmen) die Treibhausgase einen Teil der reflektierten infraroten Strahlung. Die Temperatur steigt dabei mit der Konzentration der Gase, z.B. der Konzentration von CO<sub>2</sub>

# Treibhausgase

Neben CO<sub>2</sub> tragen auch andere Treibhausgase zur Erderwärmung bei. In diesem Vortrag wird nur auf das wichtigste Treibhausgas CO<sub>2</sub> eingegangen.



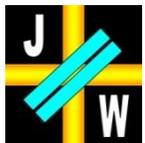
# Erderwärmung durch CO<sub>2</sub>-Anstieg



Average global temperature and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, 1880-2014.  
Source: Data from the Earth Policy Institute (2017)

Neuste Daten: August 2023

- [ppm] = parts per million (CO<sub>2</sub>-Moleküle pro Million Moleküle in der der Luft)
- 1 [ppm] = 0.0001 [%]



## CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre

global:

06. Aug.: 419.46 ppm

05. Aug.: 419.46 ppm

Mauna Loa, Hawaii:

06. Aug.: 419.77 ppm

04. Aug.: 421.23 ppm

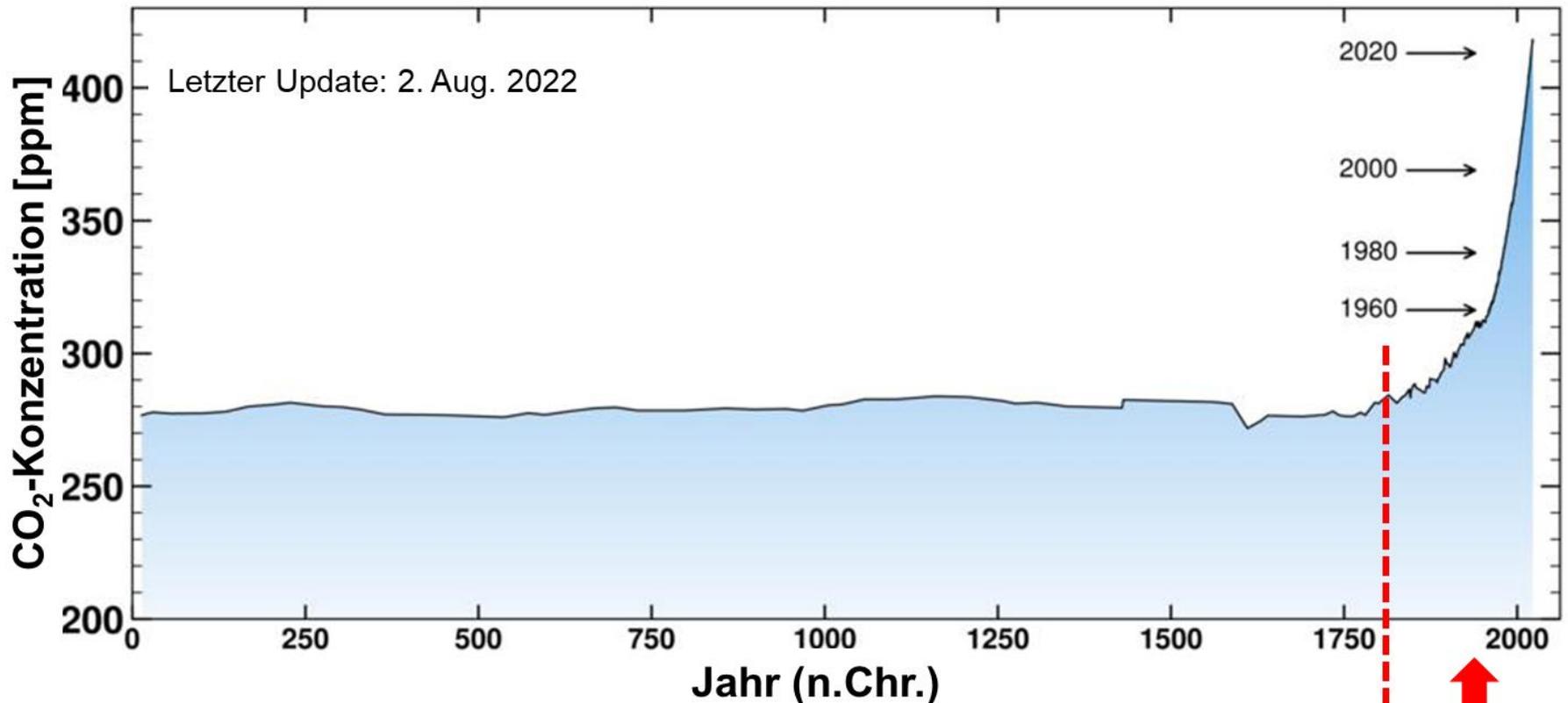
Letztes Update: 07. Aug. 2023

Quelle: NOAA

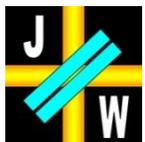
# CO<sub>2</sub>-Anstieg seit dem Jahr 0 (n.Chr)

Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre (0 - 2022)

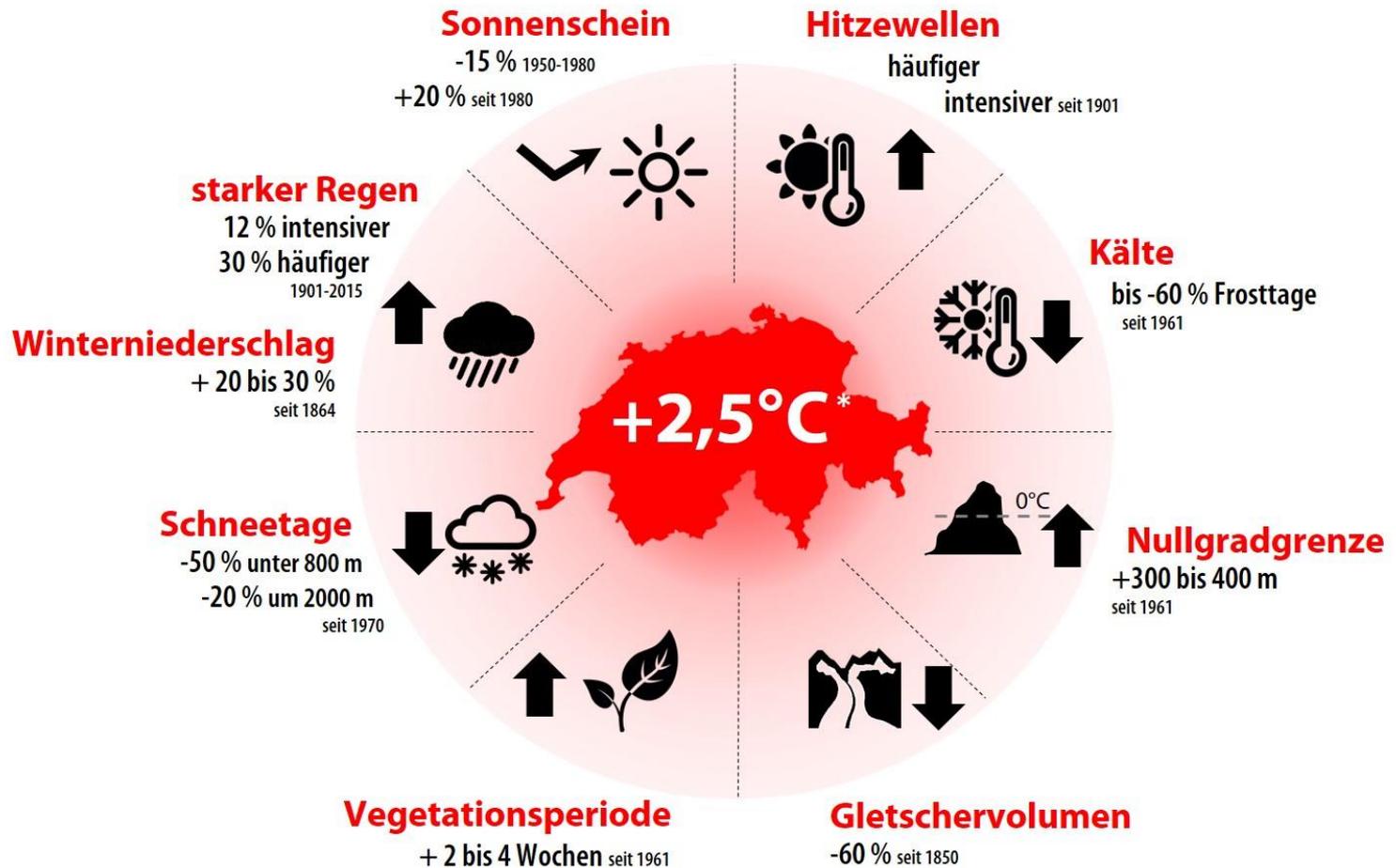
keelingcurve.ucsd.edu



Industrialisierung

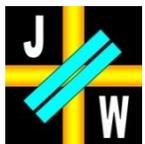


# Konsequenzen für die Schweiz



\*) In der Schweiz waren die letzten zehn Jahre (2013-2022) bereits 2,5 °C wärmer als der vorindustrielle Durchschnitt 1871-1900.

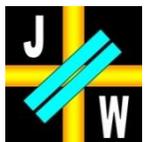
Wichtige Veränderungen des Schweizer Klimas basierend auf Beobachtungsdaten  
© BAFU/MeteoSchweiz (2020), aufdatiert und angepasst



# Das Abkommen von Paris



- Dezember 2015 beschlossen, in Kraft getreten am 4. November 2016
- Die Vertragsparteien haben vereinbart, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 [°C] und möglichst unter 1.5 [°C] **(1.5-Grad-Ziel)** zum vorindustriellen Stand (Mittelwert 1850 - 1900) zu begrenzen und in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts ein Gleichgewicht zwischen anthropogenen (vom Menschen verursachte) Treibhausgasemissionen und der **Aufnahme von Kohlenstoff in Senken** herstellen zu wollen.
- Das Pariser Abkommens ist für die Staaten **rechtlich nicht bindend**. Es setzt auf freiwillige Umsetzung.



# ICPP-Sonderbericht

## IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Okt. 2018; Sonderbericht «1.5 °C globale Erwärmung»

### 1.5-Grad-Ziel noch erreichbar wenn:

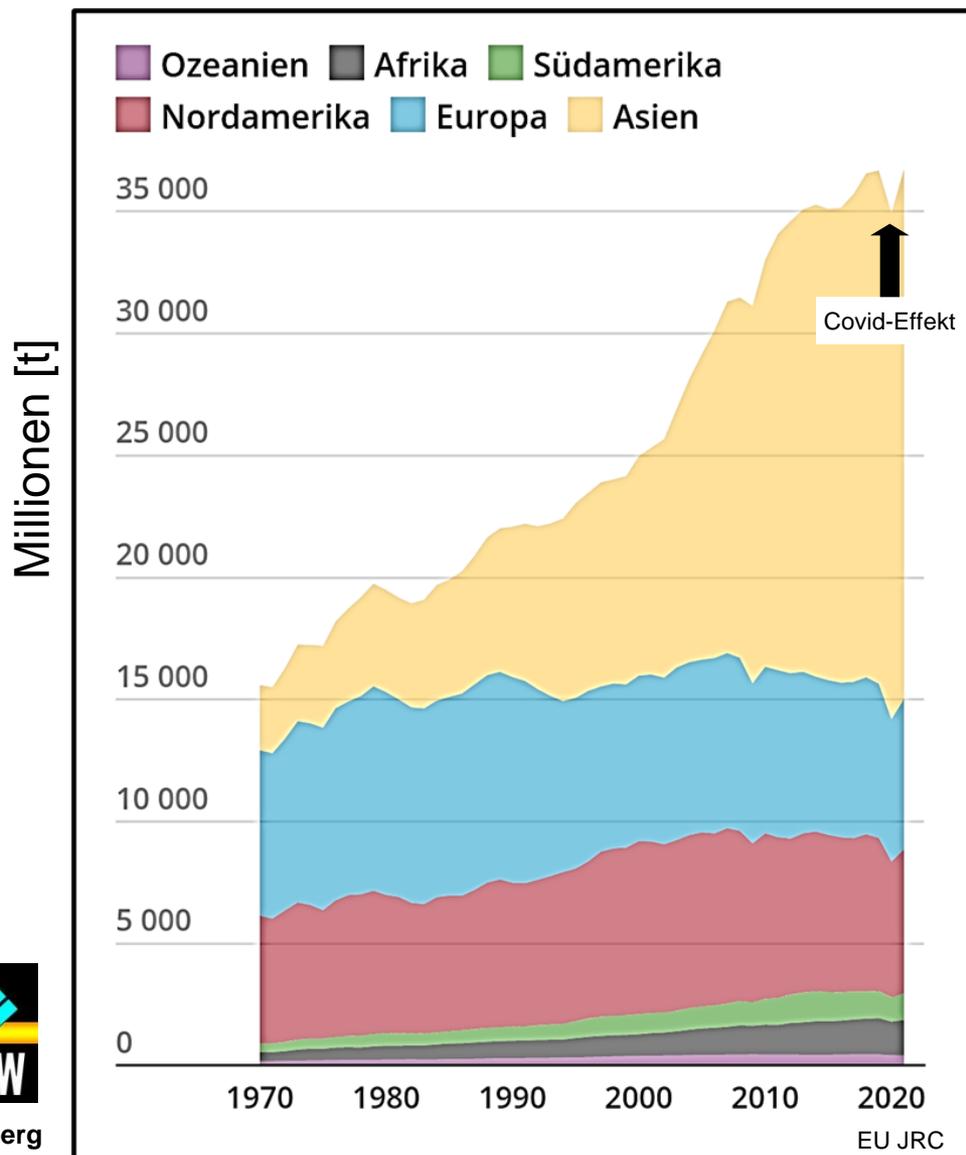
- CO<sub>2</sub>-Ausstoss der Menschheit vor 2030 deutlich sinkt
- Ab etwa 2050 «**Netto Null Emissionen**» erreicht werden

### Erforderlich ist unter anderem:

- Weg von fossiler Energie- hin zu **erneuerbaren Energiequellen**.
- Gleichzeitig sind **negative Emissionen** im Ausmass bis zu 1000 Milliarden [t] CO<sub>2</sub> bis Ende des Jahrhunderts erforderlich (Negative Emissionen = Endspeicherung in der Erde)



# CO<sub>2</sub> – Emissionen weltweit



## Energiebedarf in China

### Deutlich mehr Kohleförderung

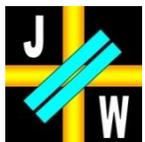
Neben der Förderung und dem Verbrauch von Kohle steigt in China auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoss Jahr für Jahr weiter. Erst ab Ende des Jahrzehnts soll der Kohlendioxid-Ausstoss der Volksrepublik zurückgehen.

Tagesschau ARD, 16. Nov.2021

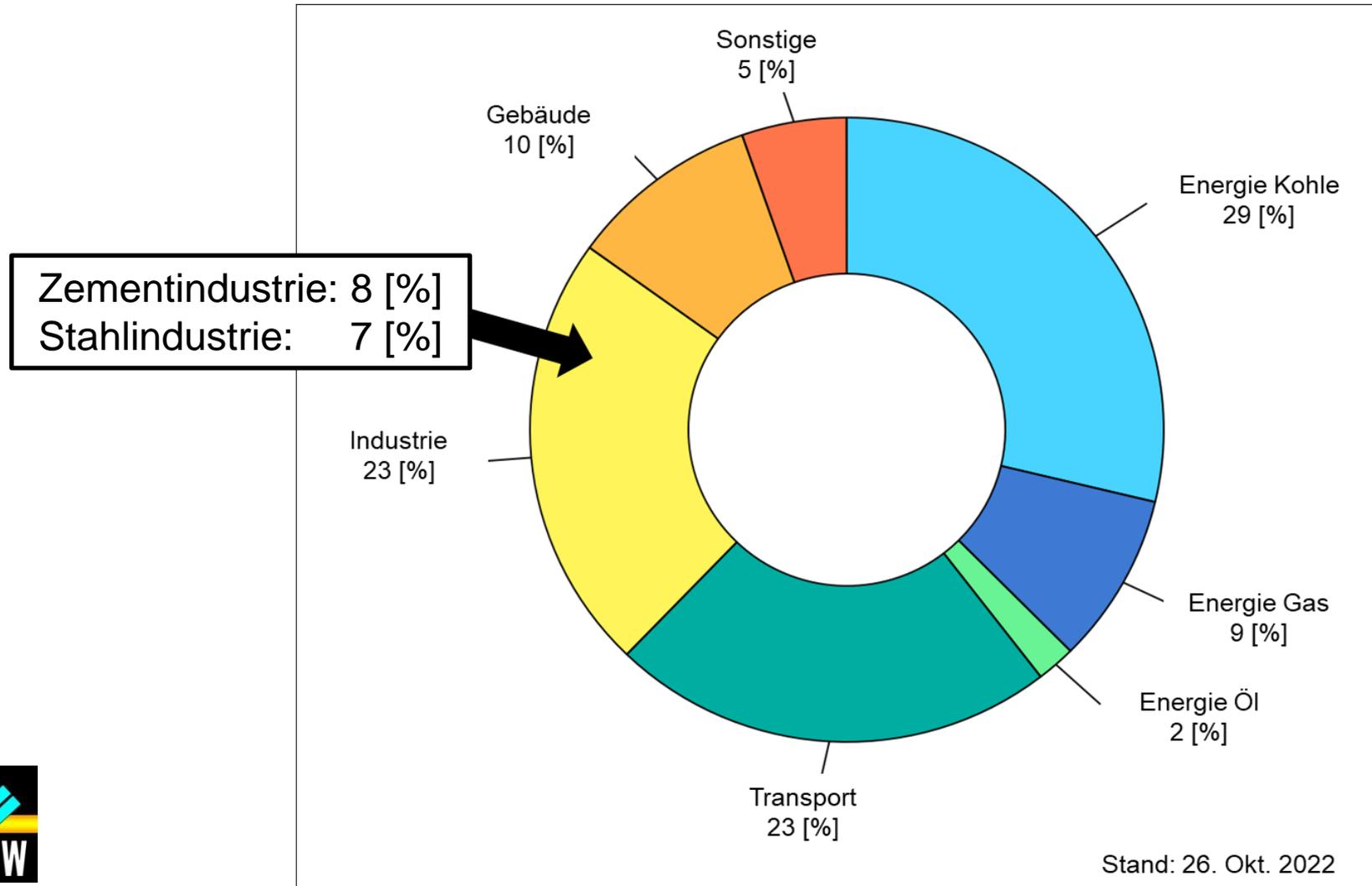
## Trotz Klimaversprechen China fährt Kohlenutzung deutlich hoch

Zugleich steigt der Energiebedarf des Landes weiter stark an. Chinas Präsident Xi Jinping hat dennoch angekündigt, dass sein Land von 2030 an seinen CO<sub>2</sub>-Ausstoss reduzieren und bis 2060 klimaneutral sein werde.

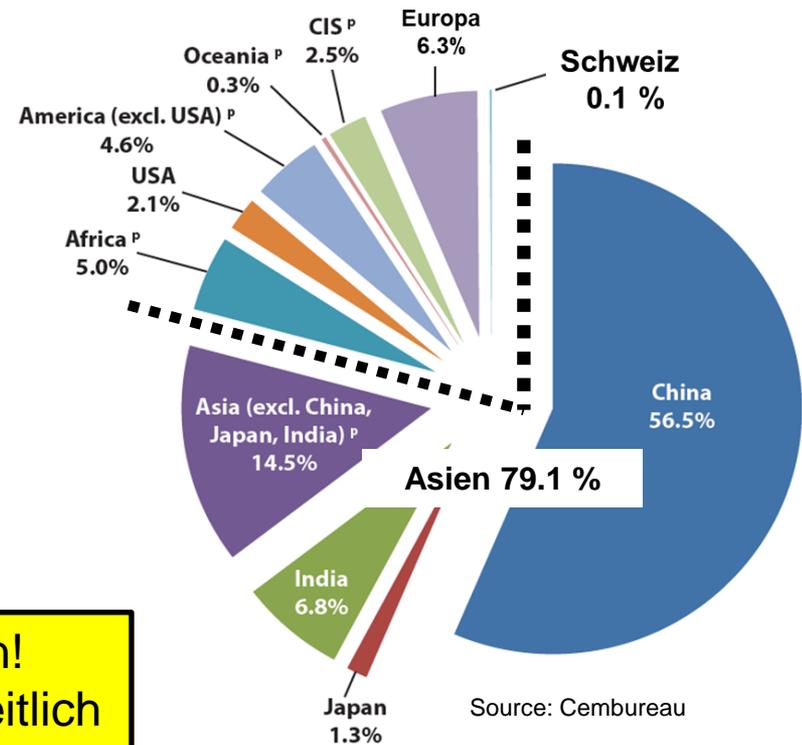
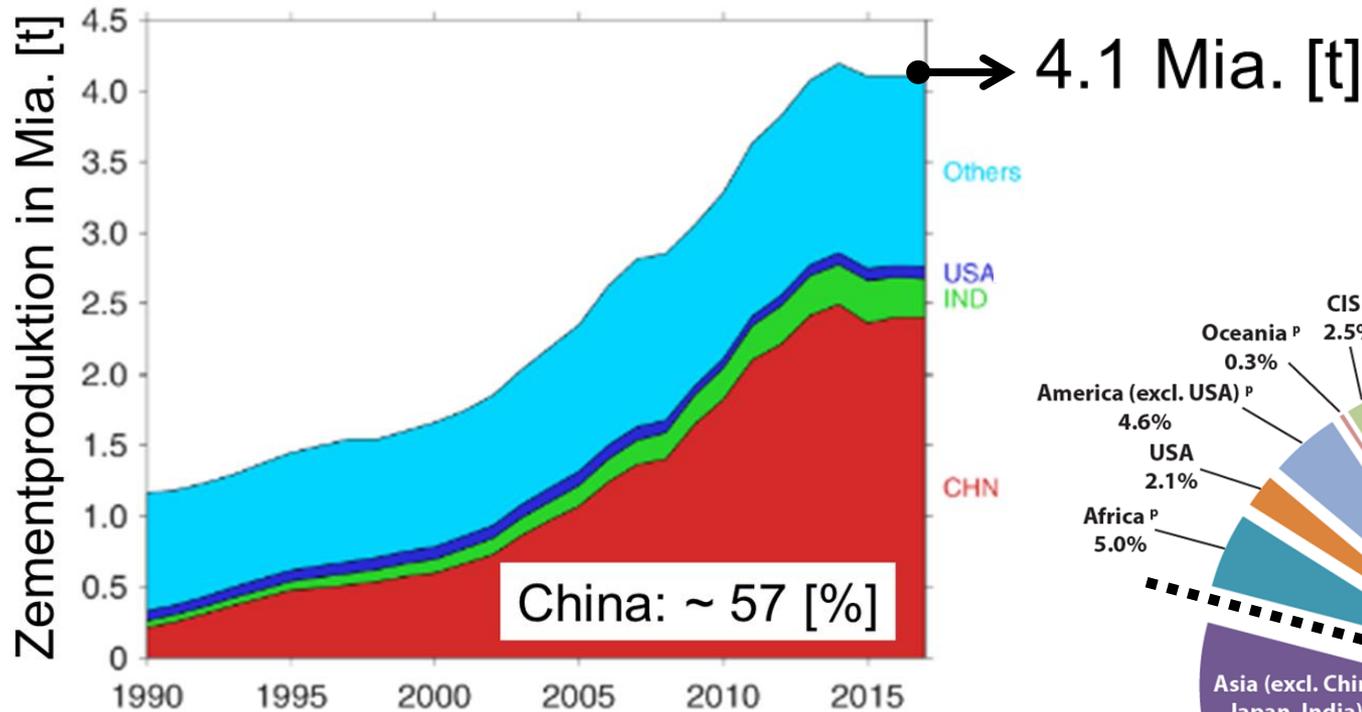
t-online, 24.04.2023



# CO<sub>2</sub> – Emissionen weltweit nach Sektoren



# Zementproduktion weltweit



Source: Cembureau

Zement: Das Hauptproblem ist in Asien!  
Andere Industrien: Problem oft mehrheitlich ebenfalls ausserhalb Europas



# CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementindustrie weltweit



Wäre die Zementindustrie ein Land (2019)

- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| 1. China         | 10.71 Mia. [t]      |
| 2. USA           | 4.82 Mia. [t]       |
| <b>3. Zement</b> | <b>2.6 Mia. [t]</b> |
| 4. Indien        | 2.46 Mia. [t]       |
| Schweiz          | 0.04 Mia. [t]       |

Carbon Dioxide Information Center; Nur CO<sub>2</sub> (2019)

Mit weltweit rund 2.8 Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen gehört die Zementindustrie zu den grossen Klimasündern. Der globale Zement- und Betonbedarf wird Schätzungen zufolge aufgrund von Urbanisierung und Infrastrukturprojekten bis 2050 im Vergleich zu 2014 sogar noch um 12 bis 23 Prozent steigen.

Energiezukunft 07.09.2021



**Schweizer Zementindustrie (2021): 2.45 Mio. [t]  
oder 78 Kilogramm pro Sekunde**



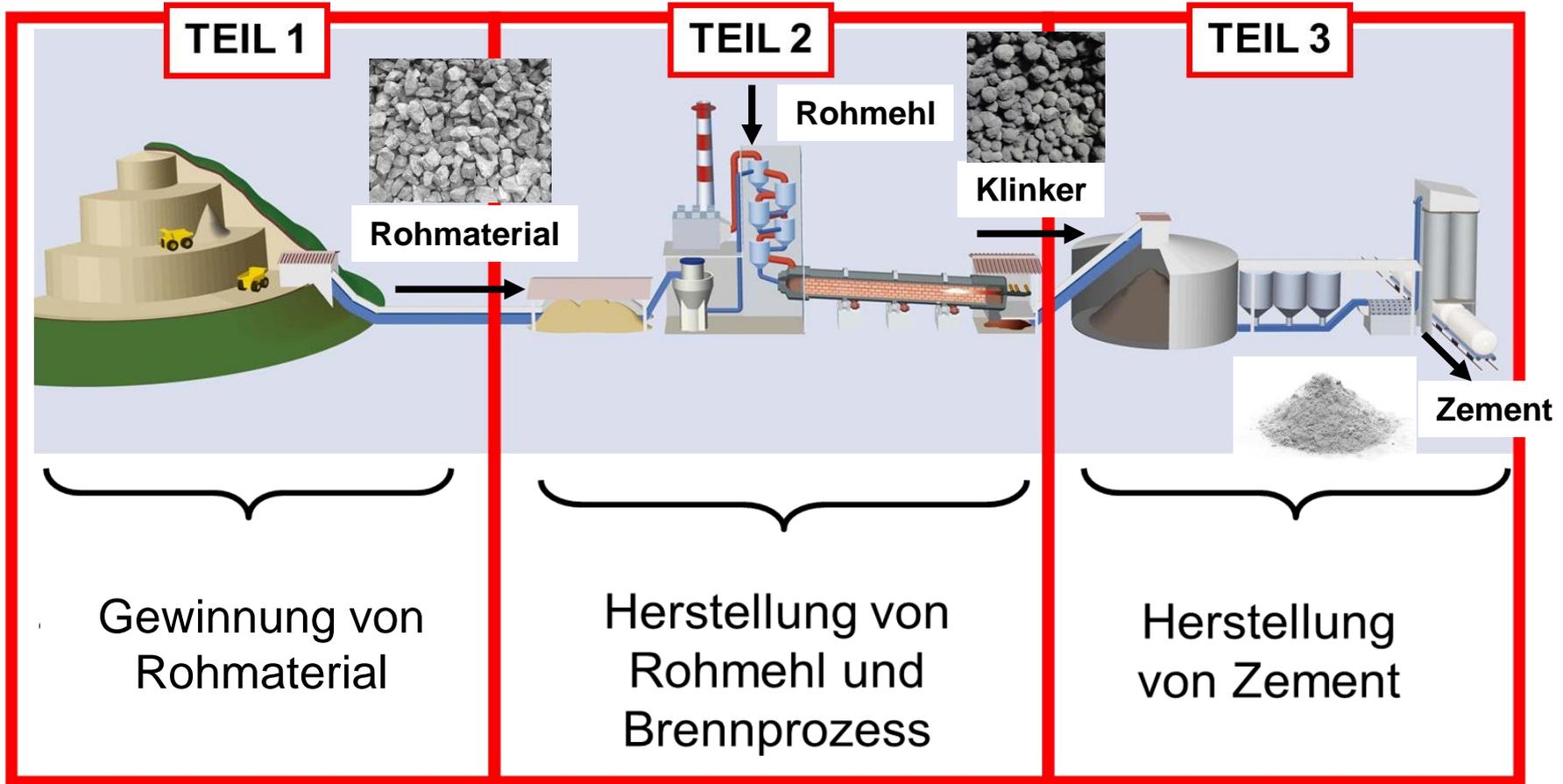
## Warum ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoss bei der Zementproduktion so hoch?

Hinweis:

Es wird nur auf die Produktion/Reduktion bei der Herstellung von Zement eingegangen. Nicht eingegangen wird auf andere Möglichkeiten, z.B. Reduktionen bei der Betonherstellung, etc.



# Zementherstellung

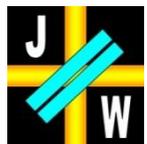


Rohmaterial  
4'000 [t/Tag]

**CO<sub>2</sub>**  
~1'700 [t/Tag]  
(~520'000 [t/Jahr])

Klinker  
2'400 [t/Tag]

Zement  
~3'500 [t/Tag]



# CO<sub>2</sub>-Ausstoss → Zwei CO<sub>2</sub>-Bildungen

## 1. Kalzinierung des Rohmehls

Typische Zusammensetzung

- ▶ Kalziumkarbonate **CaCO<sub>3</sub>** 77 [%]
- ▶ Siliziumoxide SiO<sub>2</sub> 13.5 [%]
- ▶ Aluminiumoxide Oxide Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.5 [%]
- ▶ Eisenoxide Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.5 [%]
- ▶ Andere Rest



Zerfall im Ofen

bis etwa 1000 [°C]

CaCO<sub>3</sub> → CaO + CO<sub>2</sub>

**CO<sub>2</sub> ~ 0.55 [kg/kg Klinker]**

## 2. Brennprozess

Aus den Oxiden CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> werden die Klinkermineralien im Drehofen gebrannt

- ▶ Sintertemperatur: 1450 [°C]
- ▶ Maximale Flammentemperatur: ca. 2000 [°C]
- ▶ Thermische CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung von modernen Öfen abhängig vom Ofen-Typ, vom Zustand des Ofens, vom eingesetzten Brennstoff, ...

**CO<sub>2</sub> ~ 0.12 bis 0.20 [kg/kg Klinker]**

**TOTALE CO<sub>2</sub>-PRODUKTION: 0.65 bis 0.85 [kg CO<sub>2</sub>/kg Klinker]**

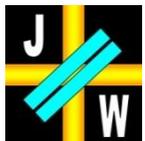
**Etwa 2/3 des CO<sub>2</sub> kommt aus der Kalzinierung  
(geogener Anteil) und etwa 1/3 aus der Verbrennung**





Zwei Ansätze zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Produktion des Zements:

- ▶ Verbesserung im Prozesses
  - ▶ Einsatz bzw. Erhöhung des Anteils an alternativen Brennstoffen («Abfälle») bei der Klinkerherstellung
  - ▶ Reduktion des Anteils von energieintensivem Klinker in der Zementproduktion («klinkerreduzierter Zement»)
- } **Verbrennung**



# Einsatz von «Alternativen Brennstoffe» (Abfall); Ersatz der Kohle



Kein unsortierter Müll (Kehricht), sondern klar definierte und kontrollierte Abfallfraktionen



Ein Zementwerk ist  
**KEINE**  
Kehricht-  
verbrennungsanlage!

Eingesetzte Brennstoffe  
(AF) in der Schweizer  
Zementindustrie (2020)  
Total: 357'113 [t] oder  
69.5 [%] des Wärmebedarfs

2020	Anteil [%]
Altöl	12.2
Lösungsmittel	14.1
Reifen/Gummiabfälle	10.6
Kunststoffe	20.7
Anderere fossile Abfälle	2.3
Trockenklärslamm	14.0
Tierfette/Tiermehle	6.7
Altholz	19.0
Anderere biogene Abfälle	0.3



Lösungsmittel



Altöl



Fleischmehl



Altreifen



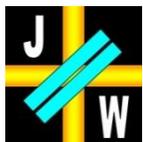
Klärslamm



Plastik



Altholz



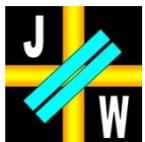
# CO<sub>2</sub>-Reduktion über «alternative» Brennstoffe

CO<sub>2</sub> kann durch alternative Brennstoffe reduziert werden:

- a. Alternative Brennstoffe haben in der Regel einen geringeren C-Gehalt und emittieren daher weniger CO<sub>2</sub>  
$$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$$
- b. Alternative Brennstoffe haben Anteile von sogenannten **biogenem** Kohlenstoff. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss dieses Anteils wird nicht gezählt.

Biogen sind Stoffe, die durch lebende Organismen in natürlichen Prozessen entstanden sind und nicht aus fossilen Ressourcen herrühren. Biogenes CO<sub>2</sub> entsteht bei der Verbrennung von Biomasse (z.B. Holz) oder von Biomasseanteilen.

Dass der biogene Anteil bei einer Verbrennung nicht zählt ist umstritten!



# Theor. CO<sub>2</sub>-Reduktion gegenüber Steinkohle

	EF [tCO <sub>2</sub> /TJ]	Anteil fossil [%]	EF(fossil) [tCO <sub>2</sub> /TJ]	Reduktion [%]
<b>Steinkohle</b>	<b>92.7</b>	<b>100.0</b>	<b>92.7</b>	<b>0.0</b>
Schweröl	77.3	100.0	77.3	(16.6)
Erdgas	56.0	100.0	56.0	(39.6)
Alternative Brennstoffe				
Altöl	73.2	92.7	67.9	<b>26.8</b>
Kunststoffe	84.5	76.6	64.7	<b>30.2</b>
Lösungsmittel	70.7	89.7	63.4	<b>31.6</b>
Impregniertes Sägemehl	112.2	27.0	30.3	<b>67.3</b>
Altpneu	84.0	73.0	61.3	<b>33.9</b>
Sägemehl	99.9	0.0	0.0	<b>100.0</b>
Trockenklärschlamm	94.5	0.0	0.0	<b>100.0</b>
Tiermehl	86.7	0.0	0.0	<b>100.0</b>

EF = CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor



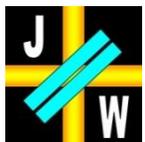
# «Alternative Brennstoffe» - Voraussetzungen

- Zementwerk
  - ▶ Klar definierte Zusammensetzung, Eingangskontrolle, ...
  - ▶ Möglichst zeitlich konstanter «Brennstoff-Cocktail»
  - ▶ ... ..
  
- Abgeber
  - ▶ Genügend grosse Menge
  - ▶ Konstante Anlieferungen und Menge
  - ▶ Externe Sammelorganisation, z.B. staatlich vorgeschrieben

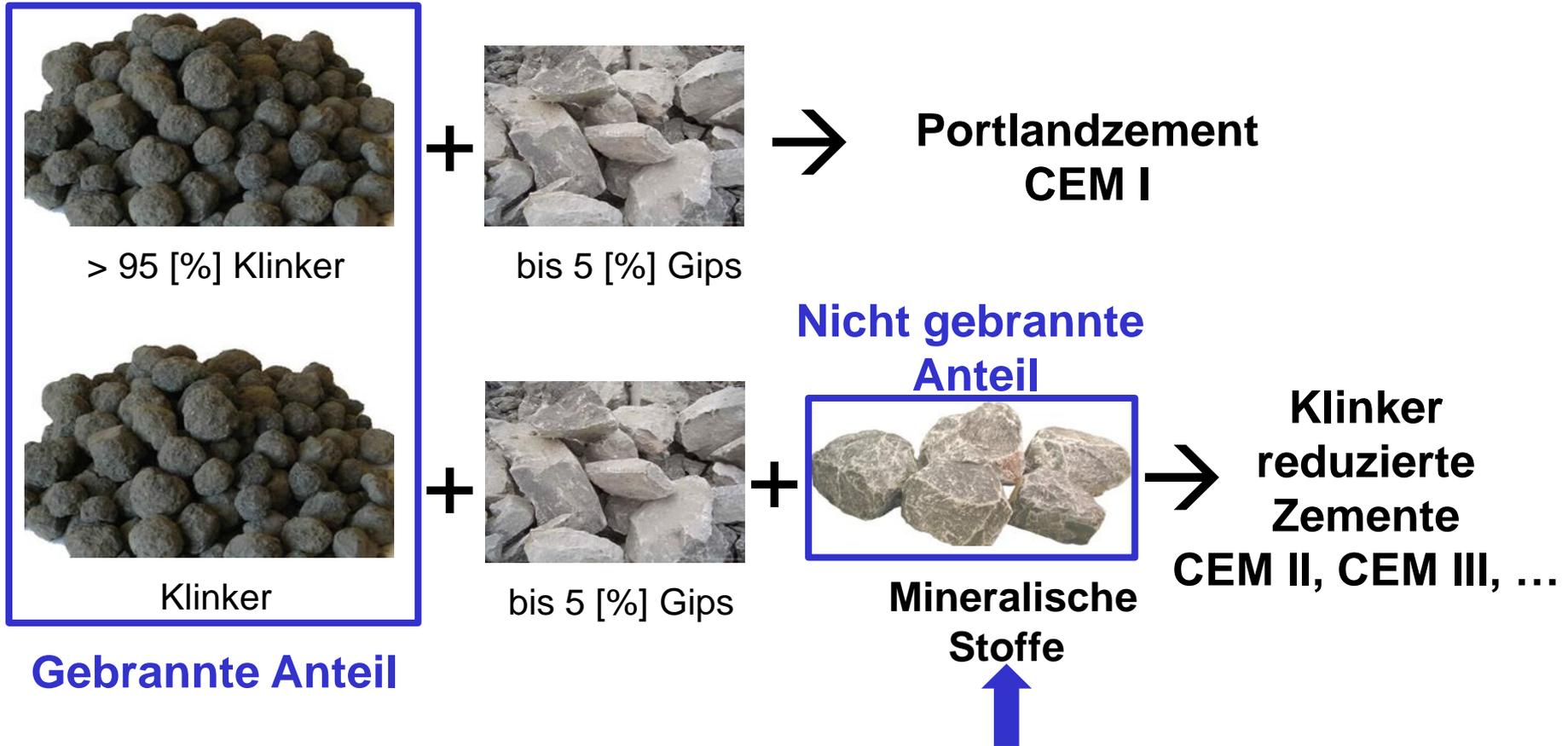
Beispiele:

  - Reifen
  - Altöl
  - Holz aus Bauabfällen
  - Plastik aus Separatsammlungen
  - ... ..

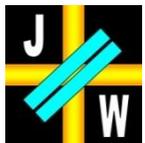
**In vielen Ländern fehlen diese Voraussetzungen. «Abfälle» sind vorhanden, aber sind «verstreut» und so nicht verfügbar.**



# Reduktion des Klinkeranteils im Zement

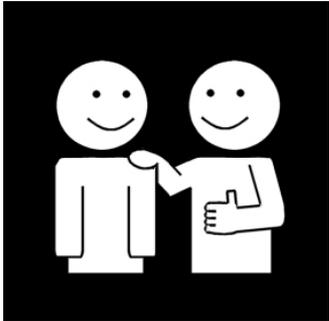


(Hochofenschlacke, Flugasche, natürlicher Pozzolan, Kalkstein, ...)



# Reduktion

## Aussagen der cemsuisse dazu?



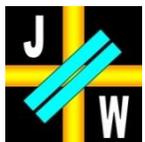
### ■ Cemsuisse (2021):

1. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen [t CO<sub>2</sub>/Jahr] aus primär-fossilen Emissionen konnten seit 1990 um **69.7 [%]** gesenkt werden.
2. Insgesamt konnte der CO<sub>2</sub>-Ausstoss pro Tonne Zement seit 1990 **um 28 Prozent** gesenkt werden.

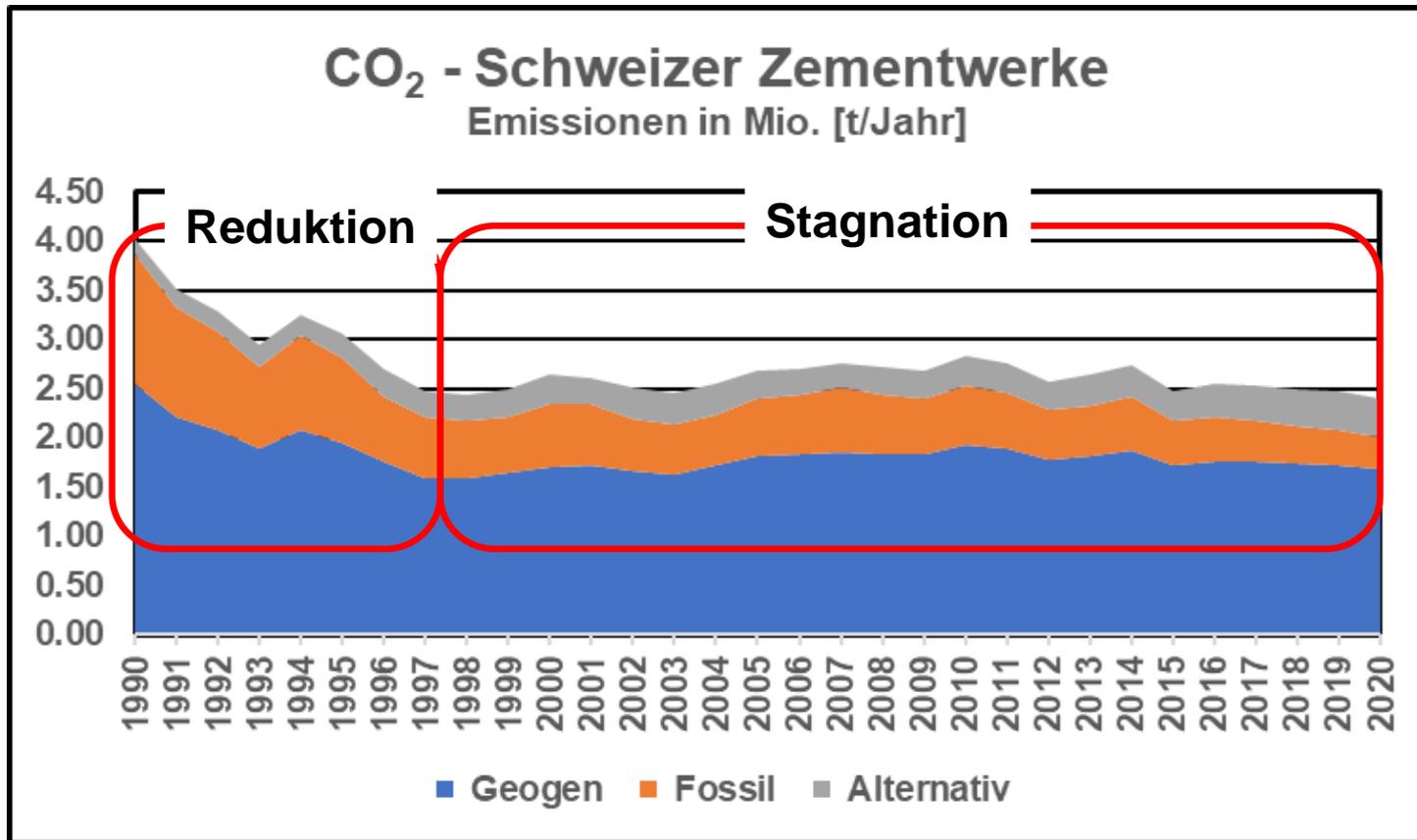
Cemsuisse, Kennzahlen 2022 (Werte 2021)

### ■ Präzisierung:

1. Entscheidend ist der Gesamtausstoss der Zementwerke.
2. Basis der cemsuisse ist das Jahr 1990 mit einem Ausstoss von 4.03 Mio. [tCO<sub>2</sub>]
3. Heute (2021) liegt dieser Ausstoss bei 2.45 Mio. [tCO<sub>2</sub>]  
**Die Reduktion seit 1990 beträgt also 1.58 Mio. [t] oder 39.2 [%]**
4. Die Reduktion bleibt seit etwa 1997 etwa bei diesem Wert (Stagnation)

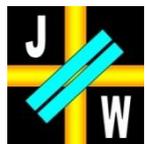


# Erfolg dieser Reduktionsmassnahmen

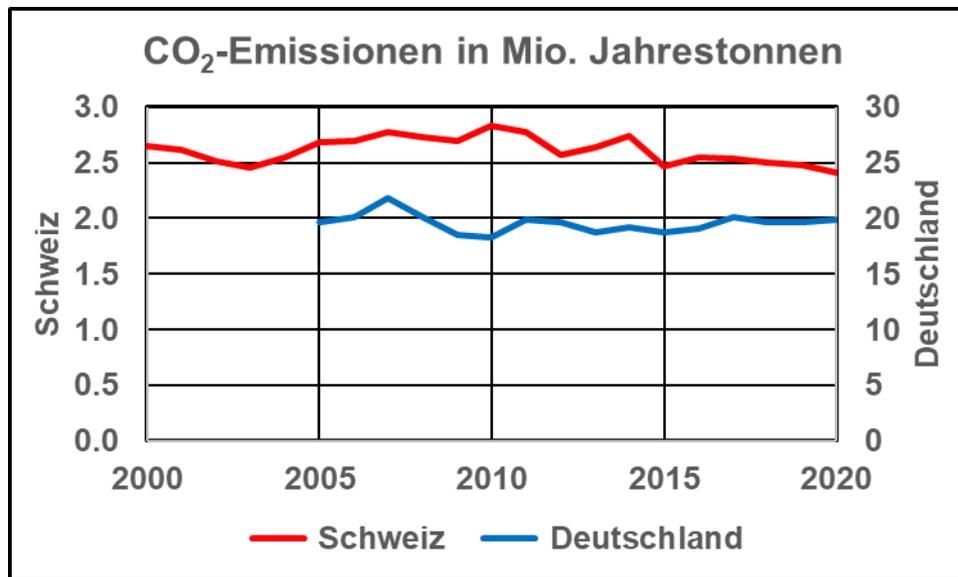


**Reduktion: 39.2 [%]**  
1990: 4.03 Mio. [t CO<sub>2</sub>/Jahr]  
2021: 2.45 Mio. [t CO<sub>2</sub>/Jahr]

**Spezifische Reduktion: 27.8 [%]**  
1990: 790 [kg CO<sub>2</sub>/t Zement]  
2021: 570 [kg CO<sub>2</sub>/t Zement]



# Ein Blick über die Grenze



CO <sub>2</sub> Mio. [t]	Schweiz	Deutschland
Mittelwert	2.63	19.8
Standardabweichung	0.128	0.87

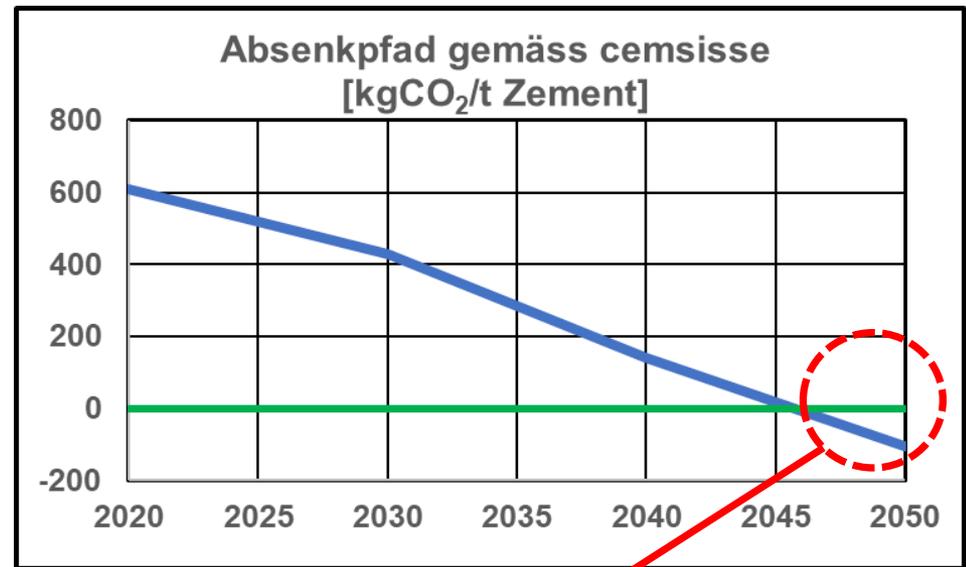
Alternative Brennstoffe  
Klinker-Reduktion  
Produktion



**STAGNATION!**

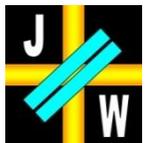


# Geplante CO<sub>2</sub>-Reduktionen der Schweizer Zementindustrie 2019 – 2050



Sogar negativ!

JW: «Tönt doch hervorragend in  
einem Hochglanzpapier!»



# Geplante Reduktionsmassnahmen 2019 – 2050



Reduktion gemäss Roadmap	CO <sub>2</sub> -Reduktion	
	[kg/t Zement]	Mio. [t/Jahr] *)
1. Brennstoffe	-125.8	-0.53
2. Neue Zementsorten und Beton	-101.9	-0.43
Transport	-21.0	-0.09
Elektrizität	-15.1	-0.06
Rekarbonatisierung	-58.6	-0.25
3. CCS/CCU	-423.7	-1.79

\*) Bezogen auf die Jahresproduktion von 2019 → 4.214 Mio. [t] Zement

## 1. Brennstoffe:

Steigerung der Alternativen von heute 79 auf 100 [%] und Steigerung der biogenen Brennstoffe → **Schwierig zu realisieren**

## 2. Neue Zementsorten und Beton

Für alle «neuen» Zementarten gilt: Solange sich die mindestens gleichwertige Leistungsfähigkeit dieser sogenannten Öko-Zement nicht aufzeigen lässt, werden die heutigen Zemente weiterhin das massgebliche Baumaterial bleiben.

Es ist **schwierig abzuschätzen**, welche Bedeutung die neuen Zemente (Ökozemente) bis 2050 erreichen und welche CO<sub>2</sub>-Reduktionen zu erwarten sind.



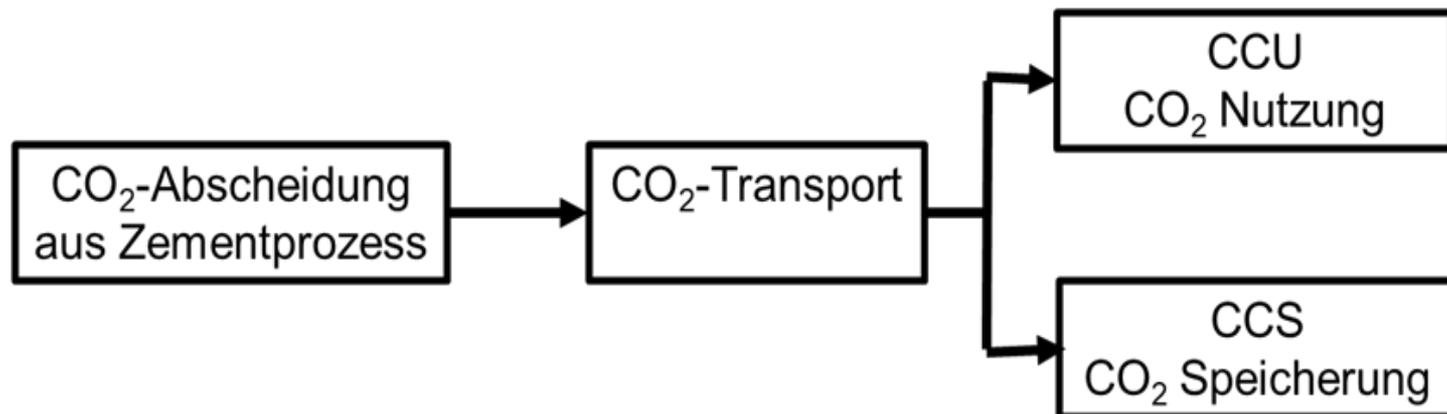
# Reduktionsmassnahmen 2019 – 2050

## 3. CCS und CCU: - 423.7 [kg/t Zement] oder -1.79 Mio. [t/Jahr]

CCS (Carbon Capture and Storage) – Kohlenstoffabscheidung und Speicherung

CCU (Carbon Capture and Utilization) – Kohlenstoffabscheidung und Nutzung.

**Neue Massnahme: Es muss etwa 70 [%] des CO<sub>2</sub>-Ausstosses der sechs Schweizer Zementwerke abgeschieden werden!**

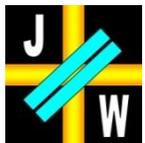


# CCS/CCU: CO<sub>2</sub> – Abscheidung

**Abscheidung aus der Atmosphäre**  
Schweizer Startup-Unternehmen Climeworks hat die weltweit erste Industrieanlage zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entwickelt.

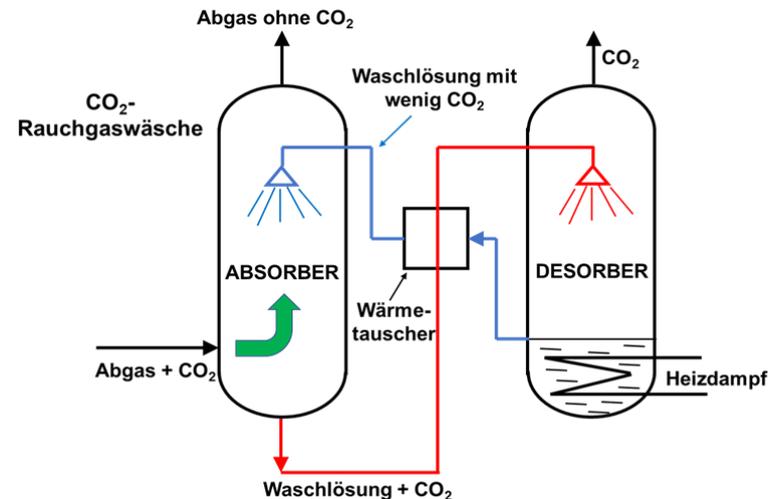


In der Atmosphäre beträgt der CO<sub>2</sub>-Gehalt heute (Mai 2019) 419 [ppm] oder 0.0419 [%]



**Abscheidung aus Abgasen von grossen Emittenten (Zementwerke)**

- Der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Abgas von Zementanlagen ist relativ hoch (ca. 17 bis 20 [vol-%]).



- Mit entsprechenden Anlagen (hier ein Beispiel) kann CO<sub>2</sub> direkt aus dem Abgas gewonnen werden.

# CCU : CO<sub>2</sub> – Abscheidung und Nutzung

KOHLENDIOXID ALS WERTVOLLER ROHSTOFF

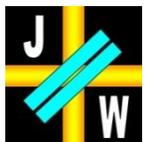
## Rohrdorfer baut als erstes deutsches Zementwerk eine CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage

OVB-online  
(Oberbayerisches Volksblatt)

veröffentlicht: 17.03.2022 - 08:41



- Ende Juni 2022: Inbetriebnahme des Prototyps mit einer Abscheideleistung von zwei [t CO<sub>2</sub>/Tag] (ohne Ameisensäure-Anlage)
- Abgeschiedenen CO<sub>2</sub> wird die Herstellung von Ameisensäure verwendet. (1800 Liter pro Tag)
- Später Ausbau wird geplant. Problem: wohin mit der Ameisensäure 50 [%] Abscheidung → ca. 60'000 Liter pro Tag

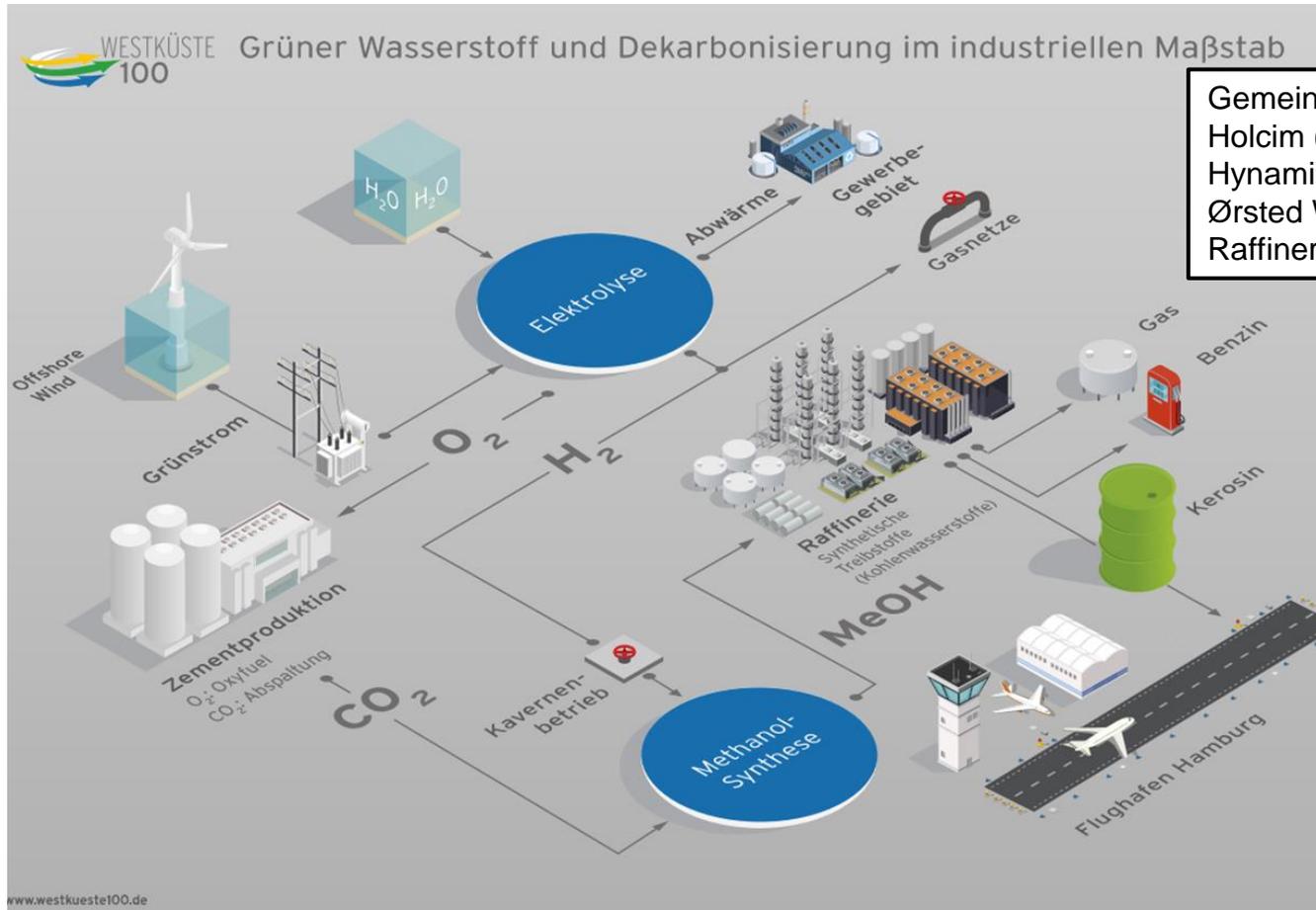


Waltisberg  
Consulting

**Das ist nicht mehr als ein kleiner Prototyp  
2 [t CO<sub>2</sub>/Tag] → ca. 1.5 [%] der täglichen CO<sub>2</sub>-Emission**

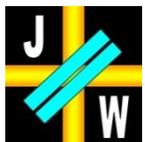
# CCU: Projekt in Norddeutschland

- Abscheidung von CO<sub>2</sub> im Zementwerk
- Elektrolyse von Wasser mit «grünem Strom»:  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$ 
  - H<sub>2</sub> → Herstellung von **Methanol**:  $3 \text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$
  - O<sub>2</sub> → Anreicherung der Verbrennungsluft im Zementwerk



Gemeinschaftsprojekt:  
Holcim (Deutschland)  
Hynamics Deutschland  
Ørsted Wind Power Germany  
Raffinerie Heide

Projekt:  
Westküste 100

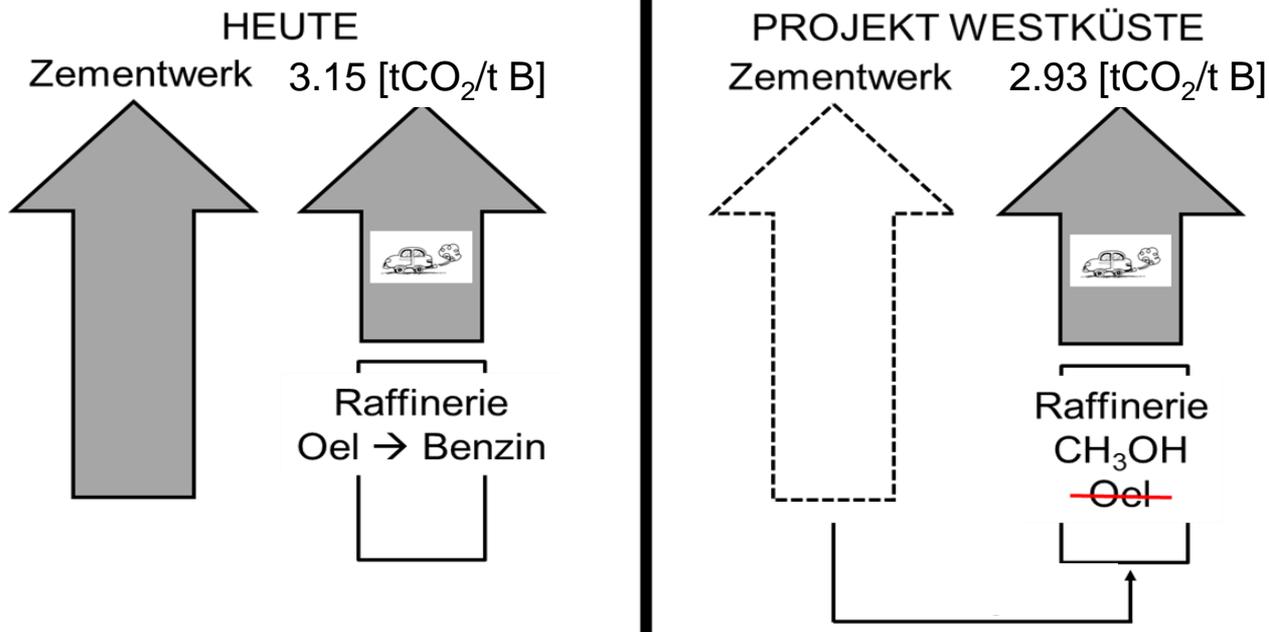


# CCU: Projekt in Norddeutschland

Theoretische Rechnung (nächste Folie): Es soll die gleiche Energie (Heizwert) mit Methanol wie mit Benzin erzeugt werden.

Benzin:  $hu = 42.6$  [MJ/t];  $EF = 3.15$  [tCO<sub>2</sub>/t] } Emission (Methanol)  
Methanol:  $hu = 19.9$  [MJ/t];  $EF = 1.37$  [tCO<sub>2</sub>/t] }  $\underbrace{42.6/19.9}_{2.14} \times 1.37 = \mathbf{2.93}$  [tCO<sub>2</sub>/B]

Masse Methanol ist 2.14x grösser



**Emission von klimaktivem CO<sub>2</sub> wird deutlich verkleinert, aber keinesfalls vollständig eliminiert!**

# CCU: Projekt in Norddeutschland

## Abschätzung des Energieverbrauchs (JW)

- CO<sub>2</sub>-Abscheidung: ca. 5 [MJ/Liter] → ca. 6 [MJ/kg]
- Elektrolyse/Synthese: ca. 27 [MJ/Liter] → ca. 34 [MJ/kg]
- TOTAL ca. 32 [MJ/Liter] → ca. 40 [MJ/kg]

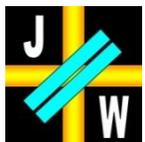
Heizwert Methanol: ca. 16 [MJ/Liter] oder 20 [MJ/kg]

## Aussage von Silent Power

Laut Schätzungen von Silent Power, einem Schweizer Unternehmen, das sich der Energieproduktion aus Methanol verschrieben hat, werden für die Herstellung von 1 Kilogramm Methanol etwa 12 Kilowattstunden (kWh) Energie benötigt.

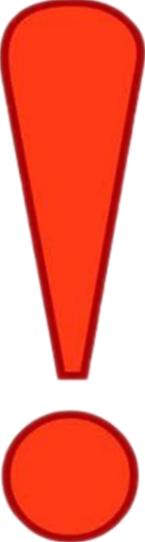
12 [kWh/kg] → ca. 43 [MJ/kg]

<https://www.fuw.ch/article/mit-methanol-aus-co-gegen-den-klimawandel>



**Weniger als 50 [%] der aufgewendeten Energie erreicht den Motor eines Fahrzeugs. Realistisch wahrscheinlich etwa 30 [%]!**

# CCS: Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub>

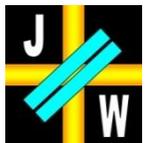


Weltklima-Rat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change):

«Die internationalen Klimaziele werden nur dann erreicht, wenn CO<sub>2</sub> auch aus der Atmosphäre entfernt und im Boden eingelagert wird.»

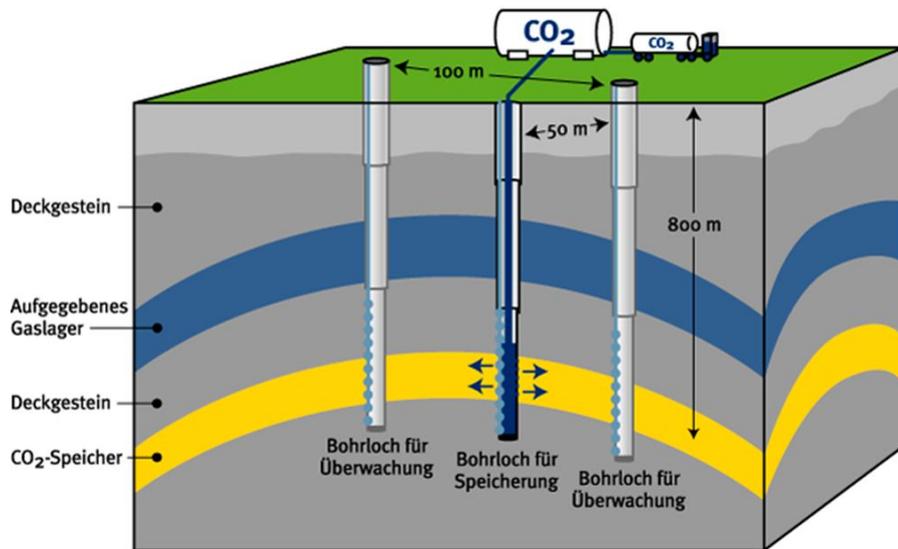


- Fakt ist, dass grosse Mengen von CO<sub>2</sub> in der Erde eingelagert werden müssen.
- Das gilt nicht nur für die Zementindustrie, sondern auch für andere Industrien, z.B. für die ca. 30 Kehrlichtverbrennungswerke der Schweiz
- N.B. Selbst die Swiss rechnet damit, CO<sub>2</sub> aus der Luft abzuscheiden und in der Erde zu speichern.
- **Es ist ein weltweites Problem!**



# CCS – Endlagerung an Land

## CO<sub>2</sub>-Speicher Ketzin



CC BY-NC-ND

www.weltderphysik.de

Verein Deutscher Zementwerke (VDZ)  
«Heute ist die Rechtslage in  
Deutschland so, dass de facto eine  
CO<sub>2</sub>-Speicherung an Land nicht  
möglich ist.»



Waltisberg  
Consulting

- Voraussetzung:  
geeignete Deckgesteine, die möglichst undurchlässig sind
- Erfolgreiche und abgeschlossene Versuche in Ketzin (Brandenburg/ D)  
→ **Projekt aufgeben**  
Opposition mit Argumenten:
  - Möglichkeit der Undichtigkeit
  - Gefährdung Grundwasser
  - etc.
- Schweiz: Versuche im Mont Terri, Kanton Jura (Versuche in Kleinmassstab)



# CCS – Risiko einer Endlagerung?

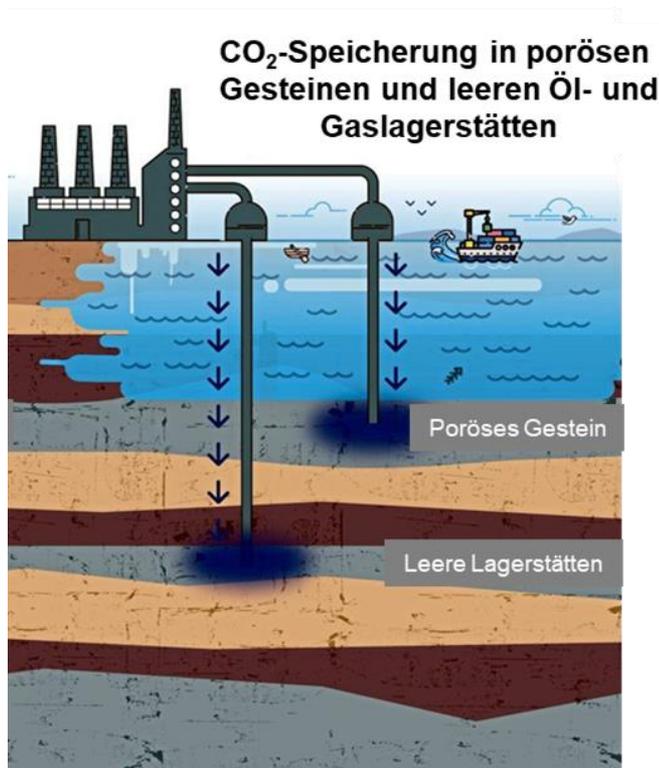
## Gefährlichkeit von solchen Anlagen! Panikmache oder Realität?

- Salah / Zentral-Algerien: Erdöl und Erdgasgewinnung und **CCS-Anlage**
- Zwischen 2004 und 2011 wurden 3.8 [Mio.t] CO<sub>2</sub> in ein Reservoir in 1'800 Metern Tiefe eingeleitet.
- Deckschicht: ca. 1000 [m] dick **undurchlässig** für das CO<sub>2</sub>-Gas.
- **Juni 2011:**
  - ▶ Signifikante Hebungen wurden in allen Sektoren der Anlage
  - ▶ Erhöhter Porendruck in den unteren 200 Metern der Deckschicht
- **Folgerungen aus den Hebungen:**
  - ▶ Das Einpumpen des CO<sub>2</sub> hat zu Rissen und anderen Veränderungen sowohl im Reservoir als auch im Deckgestein geführt.
  - ▶ In Salah ist die Deckschicht dick genug, um Lecks auszuschliessen.
  - ▶ **Für ein anderes Reservoir könnte dies aber anders aussehen.**

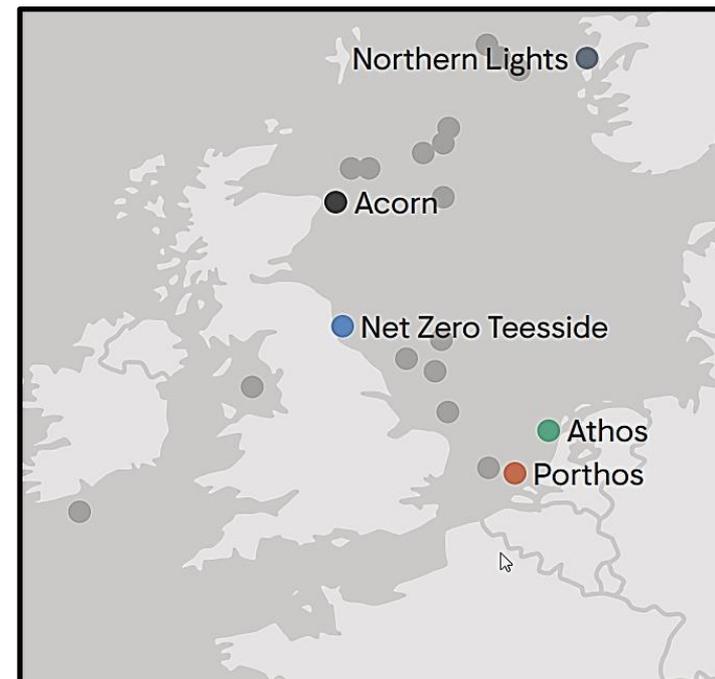


# CCS – Lagerstätten unter dem Meeresboden

- Potential in ausgeschöpften Erdgas- oder Erdöllagerstätten unter dem Meeresboden
- Technologien zur geologischen Speicherung sind seit etwa 1970 in der Öl- oder Gasgewinnung vorhanden
- Schweiz: Speichermöglichkeiten weit entfernt; mindestens 1000 [km]



CO<sub>2</sub>-Speicherprojekte bis zu 3.7 Mia. [t]



# Weltweit erste CO<sub>2</sub>-Abscheidungsanlage

- Zementfabrik Norcem (HeidelbergCement) in Brevik, Norwegen, installiert Abscheideanlage in einem Zementwerk im Industriemassstab; Inbetriebnahme im Sommer 2024
- Geplant: Abscheidung von 400'000 [t/Jahr] CO<sub>2</sub>, etwa 50 [%] der gesamten Emission
- CO<sub>2</sub> wird abgeschieden, komprimiert und verflüssigt (Aker Carbon Capture und MAN Energy Solution) und mit dem Schiff zu einem unterirdischen Speicherort transportiert.

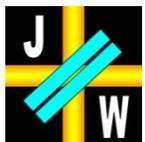


# Noch ein Zitat aus dem ICPP-Sonderbericht

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)  
Okt. 2018; Sonderbericht «1.5 °C globale Erwärmung»

Der Weltklimarat weiter: « ... **dass bisher noch nicht bestätigt ist, dass solche Technologien** (CCS = Carbon Capture Storage - Kohlenstoffabscheidung und Speicherung) **im grossen Massstab funktionieren** »

Wird «Brevik» ein Erfolg, so können solche Anlagen auch in anderen Zementwerken installiert werden. Es bleibt aber die Frage nach der Speicherung und nach dem Transport!



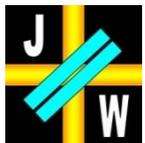
# Lösungen ?



Die Zementindustrie sagt:  
**«Wir wollen bis 2050 klimaneutral sein!»**

(World Cement and Concrete Association)

Mehr als 40 Jahre Zementbusiness ... Ich bezweifle es ...  
Zweifel sind ein Indiz für Dinge, die uns am Herzen liegen.



## Schlusswort der «Klima-Ikone»



«Es hilft nur die Abschaffung des Kapitalismus und ein Staat, der dem Menschen bis ins Detail sein Leben vorschreibt!»

Zitat von Greta Thunberg  
aus ihrem Buch «The Climate Book»

**Nein Greta, so sicher nicht!!!**

