

CO₂ aus der Welt schaffen.

Überflüssiges CO₂ aus der Welt schaffen, das klingt zu schön um wahr zu sein. – Ist es aber doch! Am Beispiel der Zementherstellung ist erkennbar, dass die Industrie dabei ist, branchenspezifische Konzepte zur CO₂-Reduktion zu entwickeln. Die Zementindustrie hat das Ziel, bis 2045 klimaneutral zu sein [1], was nachgerade bei dieser Industriebranche alles andere als einfach ist.

Zement ist das graue Pulver, das dem Beton die Festigkeit verleiht und dürfte deshalb auch in Zukunft unverzichtbar sein. In jedem Kubikmeter Beton stecken etwa 400 kg Zement. So wichtig die Stabilität von Beton für unser Dasein ist, müssen wir andererseits beachten, dass allein die Zementindustrie 8 % der weltweiten CO₂-Emissionen erzeugt und damit zu den großen Emittenten gehört. Dabei stammen etwa 2/3 der Emission aus dem Rohstoff, dem Kalkstein, und 1/3 aus dem Brennstoff, der für die Prozess-Temperatur von ca. 1.400 °C sorgt.

Die Zementhersteller haben die Zeichen der Zeit erkannt und beginnen, Maßnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen umzusetzen.

Auch beim eher mittelständisch geprägten Bauschuttrecycling werden Techniken zur CO₂-Sorptions getestet.

Auf der Grundlage einer Publikation im vierteljährlich erscheinenden Magazin

„Erneuerbare Energie“ herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft erneuerbare Energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft Heft Nr. 1.2024 [2]

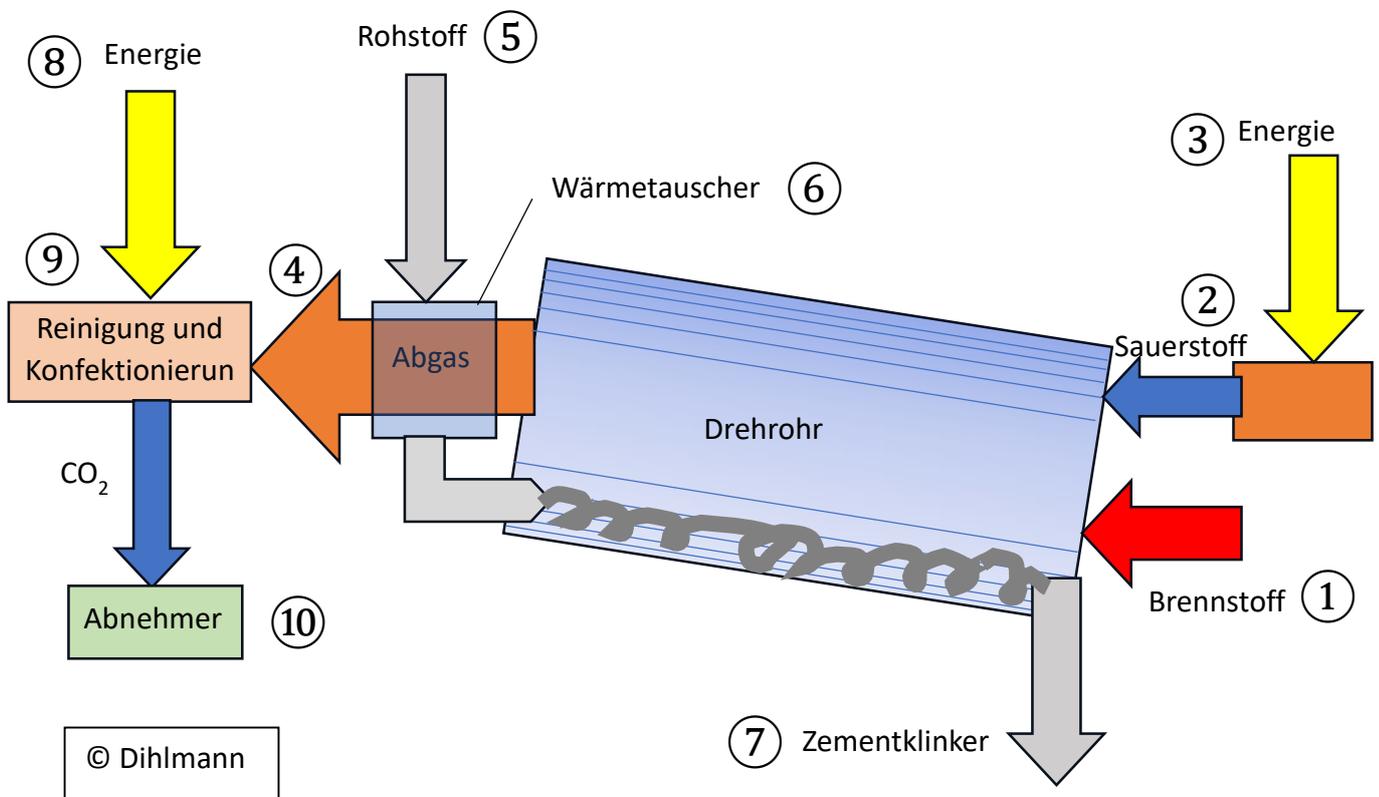
stellen wir drei Projekte vor:

- ein Zementwerk in Österreich, das CO₂ aus der Prozessabluft separieren will.
- den Neubau eines Zementwerks in Schleswig-Holstein, das statt Verbrennungsluft reinen Sauerstoff verwenden und CO₂ einfangen will
und
- eine Firma, die Bauschutt mit CO₂ beschickt, das darin fixiert wird.

Exkurs: Wie wird Zement hergestellt?

Da sich zwei der beschriebenen Projekte mit der Zementherstellung befassen, lohnt sich ein schematischer Blick in die Verfahrenstechnik.

Abbildung 1: Schematische Darstellung Zementwerk; hier bei Verwendung von Reinsauerstoff



Anhand obiger Abbildung 1 lässt sich die Zementherstellung wie folgt erklären: Das verfahrenstechnische Kernstück eines Zementwerks ist ein Drehrohrföhrer. Dieser ist etwa 80 Meter lang und hat einen Durchmesser von etwa 3 Metern. Innen ist das Rohr hitzebeständig ausgemauert und ein Antrieb versetzt es in eine langsame Rotation. Auf der heißen Seite wird das Drehrohr durch Brennstoff (1) auf etwa 1.400 °C erhitzt. Damit ein Brennstoff brennt, benötigt man Sauerstoff (2). Will man reinen Sauerstoff an Stelle von Umgebungsluft verwenden, wird zunächst Energie (3) benötigt, um den Sauerstoff herzustellen. Am oberen, „kalten“ Ende tritt Abgas (4) aus. Der Rohstoff Kalkstein (5) wird am kalten Ende aufgegeben, das aber immer noch mehrere 100 Grad heiß ist. Zur thermischen Effizienzsteigerung wird der Kalkstein durch einen Wärmetauscher (6) vorgewärmt. Der Kalkstein wandert durch den Drehrohrföhrer, verliert dabei CO₂ und tritt als Zementklinker (7) am heißen Ende aus. Dieser wird noch zu feinem Zementpulver gemahlen. Das aus CO₂ bestehende und mit Staub beladene Abgas (4) wird unter Aufwand von Energie (8) gereinigt und zu transportablem CO₂ konvertiert (9). Danach kann es in den Untergrund verpresst oder anderweitig genutzt (10) werden.

1. CO₂-Separation aus dem Abgas

Das erste Projekt, auf das wir hinweisen möchten, ist ein Zementwerk in Österreich. Es soll bereits in der Lage sein, 10% seiner CO₂-Emissionen zu verflüssigen. Das damit in Reinform vorliegende CO₂ kann entweder auf den Markt gebracht oder im Untergrund verpresst werden.

2. Reines CO₂ als Abgas

Das zweite Projekt betrifft das mit Hilfe von 110 Mio. Euro Bundes-Zuschuss im Bau befindliche Zementwerk in Lägerdorf (Schleswig-Holstein). Dort ist vorgesehen, an Stelle von simpler Verbrennungsluft reinen Sauerstoff zu verwenden. Dies hat den Vorteil, dass nicht noch die 4-fache Menge an Stickstoff durch den Verbrennungsraum gejagt werden muss (bekanntlich enthält unsere Umgebungsluft 20 % Sauerstoff und 80 % Stickstoff) und dass damit das Abgas praktisch frei von Stickoxiden ist und fast ausschließlich aus CO₂ besteht. So kann es einfacher weiterbehandelt werden.

Unter der Voraussetzung, dass Lägerdorf auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig sein wird, d.h. die CO₂-Konfektionierung und Vermarktung sowie die Sauerstoffherstellung keinen übermäßigen Energieaufwand und Kosten bei der Verfahrenstechnik nach sich ziehen, könnte ein nachhaltiger Lösungsansatz gefunden sein.

3. CO₂-Fixierung in Bauschutt

Das in dem Artikel [2] beschriebene dritte Projekt betrifft Anlagen der Firma *neustark*. Neustark stützt sich auf die Idee, zu idealen Korngrößen gemahlene Recycling-Baustoffe mit CO₂ zu beschicken. Die freigelegten Bruchflächen und Poren von Beton-Bauschutt sind offenkundig in der Lage, CO₂ zu binden. Den Fotos und Beschreibungen der Firma Neustark auf deren Homepage zufolge wird der in einer Brecheranlage gemahlene und gesiebte Recycling-Baustoff in einen Autoklav (eine Art Dampfkochofen im großen Maßstab) gefüllt. Dieser wird mit CO₂ unter Druck gesetzt. Sobald der Bauschutt mit CO₂ gesättigt ist, wird der Autoklav geöffnet und entleert. Er steht danach für die nächste Charge zur Verfügung. Dem Bauschutt selbst schadet die Prozedur nach den Informationen von Neustark wohl nicht. Er kann danach wie bisher aus natürlichen Vorkommen gewonnenen Kies oder Schotter ersetzen.

Zur Quantitätsangabe schreibt der unbekannte Autor in [2]:

„neustark speichert etwa 10 kg CO₂ pro Tonne Abbruchbeton. Eine Anlage kann in einer Stunde das leisten, wofür 50 Bäume ein Jahr brauchen.“

Solchen Vergleichen ist mit Vorsicht zu begegnen. Zunächst, weil ein alter Baum mehr CO₂ aufnehmen kann als ein Jungbaum und unterschiedliche Baumarten sich stark in der CO₂ Aufnahme unterscheiden können. Laubbäume speichern mehr als Nadelbäume, wobei es immer auf die Holzdichte ankommt. Deshalb muss klar definiert werden, worüber man spricht, genau gesagt sollte man auch nicht von „CO₂ Speicherung“ sprechen, weil ein Baum

ja nur C (Kohlenstoff) speichert und das O₂ zu unserem Glück wieder an die Atmosphäre abgibt. Vor allen Dingen müsste man wissen, wie groß die Kapazität (Tonnen/Jahr) der betreffenden Anlage ist. Zur Abschätzung, ob *10 kg CO₂ pro Tonne Abbruchbeton viel oder wenig* ist, müssten wir in die Materie einsteigen: Zunächst ist auf den Begriff „Beton“ zu achten, denn andere, aber übliche Bestandteile von Bauschutt, nämlich Ziegelsteine, Fliesen, Putze etc. nehmen an der CO₂-Bindung nicht teil.

Stöbert man im Internet, kommt man z.B. auf

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221298201730207X>

und gewinnt ähnliche Ergebnisse, nämlich Sorptionsraten von um die 10 kg CO₂ pro Tonne Bauschutt. Da wir immer noch nicht wissen, ob das *viel oder wenig* ist, rechnen wir mal nach: In Baden-Württemberg wurden im Jahr 2022 landesweit 13,2 Mio. Tonnen Bauschutt produziert (aus Abfallbilanz 2023 des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg [3]). Baden-Württemberg hat, ebenfalls der Abfallbilanz zu entnehmen, 11.311.741 Einwohner (Stand 30.06.2023). Dies bedeutet, jeder Einwohner hat im Mittel 1,167 Tonnen Bauschutt produziert. In den 1,167 Tonnen sind auch Ziegelsteine, Fliesen, Putze etc. enthalten, bei diesen Bestandteilen funktioniert – wie gesagt – die CO₂-Bindung nicht. Diese Bestandteile dürften schätzungsweise knapp die Hälfte ausmachen. Wie in dem Bericht dargelegt, wurde das Ergebnis 10 kg pro Tonne ausschließlich mit reinem Betonbruch (und dazu hin unter optimierten Bedingungen Korngröße, Feuchtigkeit, Temperatur und Druck) erzielt. Somit stehen zur CO₂-Bindung nicht 1.167, sondern nur etwa 600 kg zur Verfügung. Und 0,600 t pro Einwohner und Jahr multipliziert mit 10 kg/t ergibt 6 kg gespeichertes CO₂ pro Einwohner und Jahr. Nun wissen wir immer noch nicht, ob das *viel oder wenig* ist. Zur Klärung hilft das Bundesumweltministerium. Laut Bundesumweltministerium <https://www.bmu.de/media/kohlenstoffdioxid-fussabdruck-pro-kopf-in-deutschland> produziert jeder bundesdeutsche Einwohner 10.300 kg CO₂ pro Jahr.

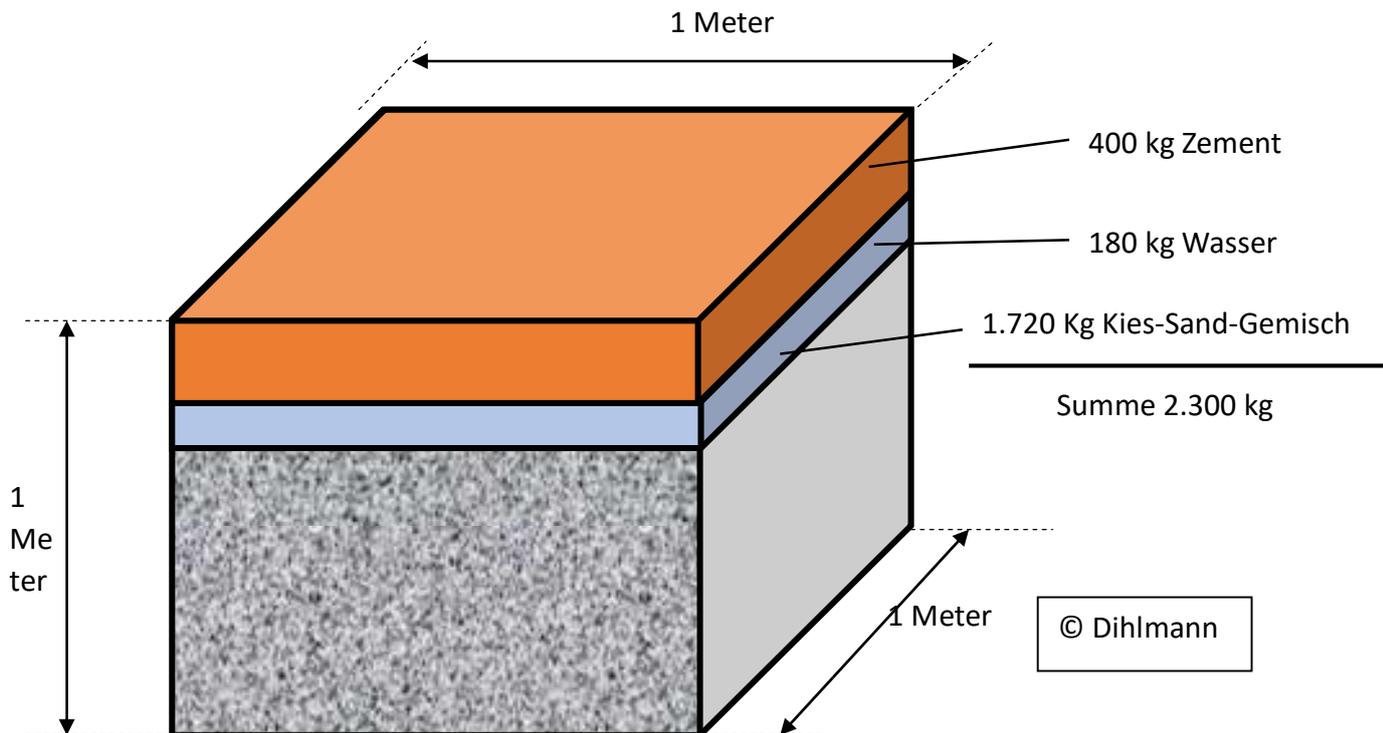
Fazit: Es scheint zu wenig Bauschutt zu geben. Erfreulicherweise. Denn es gibt Regionen in der Welt, in denen derzeit der Anfall an Bauschutt größer ist, als der betroffenen Bevölkerung recht sein kann.

Eine durchaus positive Perspektive ergibt sich aber, wenn man die Zementindustrie und separat betrachtet. Aus dem Vortrag

„DEKARBONISIERUNG DER BAUSTOFFINDUSTRIE: Welche Rolle können RC-Baustoffe spielen?“,

gehalten von Herrn Tino Villano, OPTERRA Zement, auf dem 26. Recyclingtag des Industrieverbandes Steine Erden Baden-Württemberg [4] ist zu entnehmen, dass im Jahr 2021 in Deutschland 35 Mio. Tonnen Zement erzeugt wurden. Dabei wurden, so der Vortrag weiter, 19,8 Mio. Tonnen CO₂ emittiert. Aus den beiden Zahlen ergibt sich, dass pro produzierte Tonne Zement 560 kg CO₂ emittiert wurden. Aus nachfolgender Abbildung ist zu entnehmen, wieviel Zement in einem Kubikmeter Beton enthalten ist.

Abbildung 2: Zusammensetzung von Beton



Nachdem 400 Kg Zement enthalten sind, bewirkt der betonierte Würfel mit 0,4 Tonnen mal 560 kg CO₂ pro Tonne Zement eine Emission von 224 kg CO₂. Weitere CO₂-Quellen infolge Rohstoffabbau, Transport etc. bleiben, da eher vergleichsweise marginal, unberücksichtigt. Den Betrag von 224 kg CO₂ müssen wir noch zum Gesamtgewicht des Würfels (= 2,3 Tonnen) in Bezug setzen und erhalten 97,4 Kg CO₂ pro Tonne Beton. Wird der Würfel als Bauschutt wieder zerkleinert, kann er bei 10 kg pro Tonne 23 Kg CO₂ binden. D.h. bezogen auf die Branche selbst könnte über ein Viertel der CO₂-Emission kompensiert werden. Weitere Optimierungen könnten gelingen. Dem Vernehmen nach zeigt sich die Zementindustrie optimistisch.

Wie man aus den Zahlen sehen kann, ist klar, dass die Zementindustrie und die Bauschuttzubereitung zwar nicht die Welt retten können, aber die Branche ist offenkundig dabei, vor ihrer eigenen Türe zu kehren und es wäre gut, weitere Branchen würden ihr folgen.

Neben industriellen Aktivitäten zur CO₂-Reduktion zeigt beispielsweise [#KohlendioxidbindungdurchPflanzenkohle](#) Wege auf, um CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen.

Literatur und Quellen:

- [1] Industriebverband Steine und Erden Baden-Württemberg e.V., Jahresbericht 2023/24
- [2] Arbeitsgemeinschaft erneuerbare Energie Gleisdorf (Österreich), Zeitschrift „Erneuerbare Energie“ für eine nachhaltige Energiezukunft Heft Nr. 1.2024

[3] Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg,
Abfallbilanz 2023

[4] Proceedings des 26. Recyclingtags des Industrieverbandes Steine und Erden e.V., Baden-
Württemberg

Verantwortlich für diesen Beitrag:
Peter Dihlmann, Winterbach