

KALK ALS NATÜRLICHE KOHLENSTOFFSENKE

Beispiele zur Karbonatisierung
in Kalkanwendungen



INHALT

EINLEITUNG	3
KALK UND SEINE ANWENDUNGSGBIETE	4
DER LEBENSZYKLUS VON KALK	6
WAS SIND DIE VORTEILE DER KARBONATISIERUNG?	8
BEISPIELE VON KARBONATISIERUNG IN KALKANWENDUNGEN	11
FAZIT	14
ANHÄNGE	15
Stahl	
Kalkmörtel	
Hanfkalk	
Trinkwasser	
Rauchgasreinigung	
Zellstoff und Papier	
Aluminium	
DEFINITIONEN	30
ÜBER EULA	32

EINLEITUNG

Jedes Jahr werden in Europa mehr als 20 Millionen Tonnen Kalk produziert. Als gut verfügbares und multifunktionales Material wird Kalk für viele wichtige Prozesse – von der Herstellung von Eisen und Stahl bis hin zur Trinkwasserversorgung – benötigt. Kalk wird als Reinigungsmittel eingesetzt und kann sogar in den extremsten industriellen Umgebungen Schadstoffe absorbieren. Gleichzeitig ist er nützlich für die Lebensmittelherstellung und die Bodenverbesserung. Daher hat Kalk eine große gesellschaftliche Bedeutung.

Bei der Herstellung von Kalk wird Kalkstein (CaCO_3) erhitzt, um ihn in hochreines Kalziumoxid (CaO) umzuwandeln, eine chemische Reaktion, bei der Kohlenstoffdioxid (CO_2) zwangsweise freigesetzt wird – das prozess- oder rohstoffbedingte CO_2 . Die Kalkproduktion ist grundsätzlich ein CO_2 -intensives Verfahren. Die europäische Kalkindustrie (in Brüssel vertreten vom europäischen Kalkverband, European Lime Association, kurz EuLA) weiß daher um die wichtige Rolle, die sie beim Erreichen des EUZiels der Klimaneutralität bis 2050 haben wird und schließt sich den Zielen des EU Green Deals ausdrücklich an [1].

Die Kalkindustrie liefert ihren Beitrag zu diesem Übergang, indem sie auf CO_2 -arme Brennstoffe umsteigt und die Energieeffizienz ihrer Produktionsverfahren erhöht. Hierdurch werden die durch den Brennstoff verursachten Emissionen reduziert. Die Brennstoffe sind jedoch für weniger als ein Drittel des gesamten bei der Produktion freigesetzten CO_2 verantwortlich. Die verbleibenden CO_2 -Emissionen sind prozessbedingtes CO_2 , das nicht vermieden werden kann. Daher sind eine CO_2 -Abscheidung und

-Nutzung oder -Speicherung erforderlich, um die Kalkproduktion zukünftig CO_2 -neutral zu gestalten, indem die CO_2 -Vermeidung bereits an der Quelle beginnt. Diese Technologien sind jedoch noch in der Entwicklung und zurzeit noch nicht wirtschaftlich.

Allerdings besitzt Kalk noch eine weitere wichtige Eigenschaft, die bisher bei der Berechnung des CO_2 -Fußabdrucks noch nicht vollständig dokumentiert und berücksichtigt wird. Kalk nimmt während seines Lebenszyklus wieder CO_2 aus der Umgebungsluft auf, indem er wieder zu Kalkstein wird – ein natürlicher Prozess, der Karbonatisierung genannt wird (oder Mineralisierung durch Karbonatisierung).

Das Ausmaß, in dem dies in der Praxis stattfindet, hängt von der Art der Nutzung des Kalks ab. Studien haben gezeigt, dass in Anwendungen wie der Trinkwasseraufbereitung die Karbonatisierungsrate bis zu 100% beträgt, was bedeutet, dass die vollständige Menge an prozessbedingtem CO_2 , das während der Kalkproduktion freigesetzt wurde, wieder aufgenommen wird. Dieses CO_2 wird dauerhaft gespeichert und nicht wieder in die Atmosphäre freigesetzt, da der Kalk in Kalkstein – CaCO_3 – umgewandelt wurde.

In diesem Dokument präsentieren wir, die EuLA, die Ergebnisse einer von der Politecnico di Milano (PoliMI) durchgeführten Literaturstudie, bei der die verfügbaren Daten in Bezug auf die Karbonatisierungsraten unterschiedlicher Kalkanwendungen gesammelt wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass im Durchschnitt 33% des während der Kalkproduktion freigesetzten, prozessbedingten CO_2 über Karbonatisierung wieder aufgenommen wird.



KALK UND SEINE ANWENDUNGSGEBIETE

Ein wichtiges Hilfsmittel

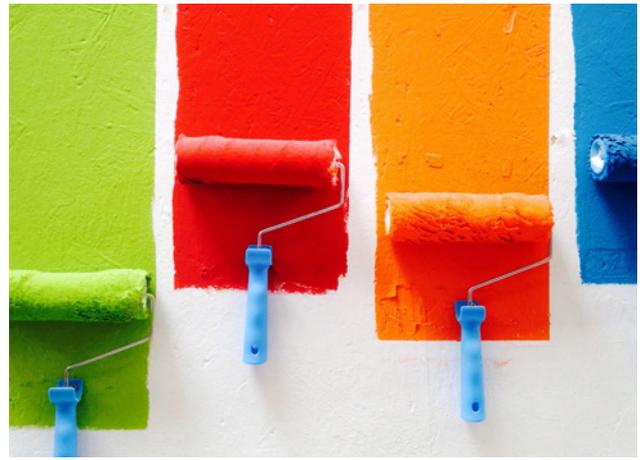
Kalk ist ein Produkt, das wir normalerweise nicht wahrnehmen, welches aber für unseren Alltag unerlässlich ist. Er kommt bei zahlreichen industriellen Verfahren zum Einsatz, zum Beispiel in der Stahlproduktion, im Baugewerbe, der Lebensmittelindustrie und Landwirtschaft und sogar im Umweltschutz – um nur einige Anwendungsgebiete zu nennen. Er wurde während der gesamten Menschheitsgeschichte verwendet, bereits die Römer haben ihr Imperium mit Kalkmörtel gebaut. Seine vielseitigen und einzigartigen Eigenschaften helfen heutzutage im Bau- und produzierenden Gewerbe bei der Optimierung von Produkten. Kalk spielt zudem eine wichtige Rolle in der chemischen Industrie, Glas- und Soda-Industrie sowie bei der Wasseraufbereitung.

Im Bau wird Kalk häufig als Mörtel verwendet, wobei man sich seine Eigenschaft, dass er im nassen Zustand formbar ist und sich nach dem natürlichen Karbonatisierungs- und Aushärtungsprozess wieder in Kalkstein verwandelt, zunutze macht. Dieser Prozess ist vor allem bei der Restaurierung von denkmalgeschützten Gebäuden wichtig. Moderne Mörtelprodukte mischen Kalk mit anderen Bestandteilen, die den bindenden Effekt beschleunigen. Auf ähnliche Weise

wird aus einer Kombination von Kalk und Hanffasern Hanfkalk hergestellt.

In vielen modernen Anwendungen wird industrieller Kalk als alkalische Komponente zur Neutralisierung von Säuren oder zur Elimination von säurehaltigen Verunreinigungen eingesetzt. Vor allem in der Eisen- und Stahlindustrie, wo Kalk beim Schmelzvorgang saure Bestandteile und weitere Nebenbestandteile durch die Bildung von Schlacke sowie ihrer Abtrennung beseitigt. Kalk kam im letzten Jahrhundert bei der Bekämpfung des sauren Regens zum Einsatz und wird immer noch zur Rauchgasreinigung in Fabriken und Kraftwerken verwendet. Bei der Aluminiumproduktion kommt Kalk zur Anwendung, um das Bauxit (Aluminiumerz) aufzuschließen.

Kalk wird verwendet, um Trinkwasser zu reinigen und zu enthärten sowie um Abwasser und Klärschlamm aufzubereiten. Für manche Anwendungen wird Kalk in Wasser gelöst und mit CO_2 in Verbindung gebracht, um unterschiedliche Kristallstrukturen und Formen von gefällttem oder präzipitiertem Kalziumkarbonat (PCC = hochreines Kalziumkarbonat), herzustellen. Dieses wird als Pigment oder Füllstoff in Materialien wie Papier und Farbe verarbeitet.



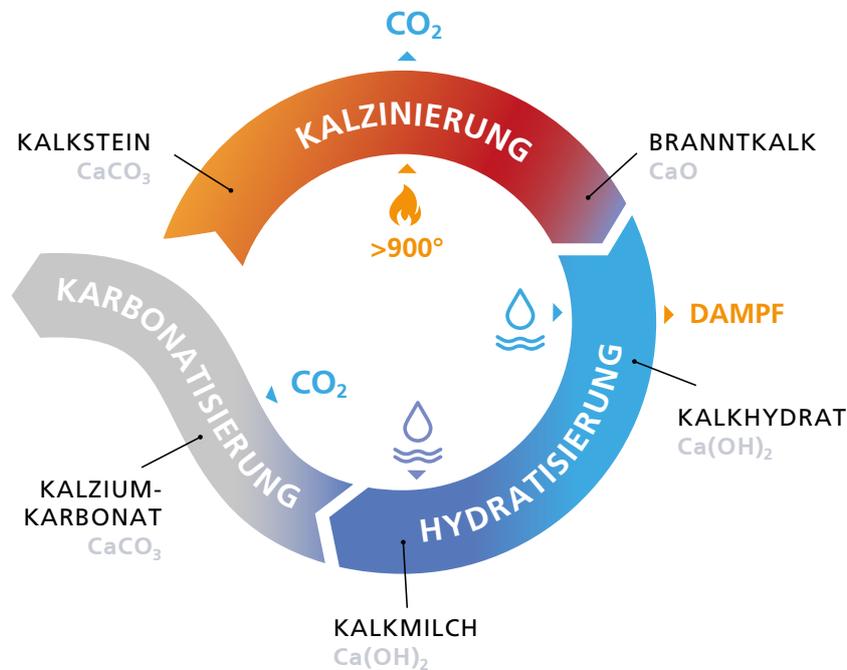


DER LEBENSZYKLUS VON KALK

Der Kalkkreislauf und die zugehörigen Kalkprodukte

Der Kalkkreislauf ist für viele Kalkanwendungen von zentraler Bedeutung. Er erlaubt

es uns, den geförderten Grundstoff Kalkstein in unterschiedliche Produktfamilien wie Branntkalk, Kalkhydrat und dessen gelöste Form – Kalkmilch – umzuwandeln. Jedes dieser Produkte wird auf unterschiedliche Art und Weise verwendet.



Prozessbedingtes, unvermeidbares CO_2

Die Kalkproduktion ist ein CO_2 -intensiver Prozess, da dabei aus dem Kalkstein sogenanntes prozess- oder rohstoffbedingtes CO_2 freigesetzt wird. Die Verbrennung, die für die Erzeugung der erforderlichen Hitze notwendig ist, erzeugt ebenfalls CO_2 , nämlich Verbrennungs- CO_2 . Im Allgemeinen sind mehr als zwei Drittel der CO_2 -Emissionen der europäischen Kalkindustrie prozessbedingt, wohingegen Verbrennungs- CO_2 weniger als ein Drittel ausmacht. Während die durch Verbrennung erzeugten CO_2 -Emissionen durch einen Wechsel zu CO_2 -neutralen Energiequellen weitestgehend reduziert werden können, ist dies bei den prozessbedingten Emissionen nicht möglich, da diese zwangsweise bei der Entsäuerung von Kalkstein entstehen.

Kalk als natürliche Kohlenstoffsenke

Durch den natürlichen Prozess der CO_2 -Wiederaufnahme wird Kalk in seinem Lebenszyklus erneut in Kalkstein umgewandelt. Diesen Vorgang bezeichnet man als Karbonatisierung (oder Mineralisierung durch Karbonatisierung). Er bildet die Basis für viele Kalkanwendungen. So nehmen z.B. kalkhaltige Mörtel CO_2 aus

der Umgebungsluft auf, das mit dem Kalk reagiert und Kalziumkarbonatkristalle bildet. Aus diesem Grund härten Kalkmörtel mit der Zeit weiter aus. Bei der Umkristallisation zu Kalziumkarbonat werden Porenräume und Risse durch das Kristallwachstum aufgefüllt und verschlossen. Diese „selbstheilende“ Eigenschaft reduziert die Wasserdurchlässigkeit und erhöht die Haltbarkeit des Mörtels.

Karbonatisierungsrate

Die Karbonatisierungsrate einer Anwendung beschreibt die Menge des wiederaufgenommenen CO_2 als prozentuellen Anteil des prozessbedingten CO_2 , das beim Brennprozess des Kalks freigesetzt wurde. Die Trinkwasseraufbereitung (Enthärtung) hat zum Beispiel eine Karbonatisierungsrate von 100%. Bei dieser Anwendung wird Kalk dem im Wasser gelösten CO_2 gezielt ausgesetzt, um Kalziumkarbonat auszufällen. Wenn der gesamte im Wasser vorhandene Kalk mit dem CO_2 zu Kalziumkarbonat reagiert hat, wird dabei genau die Menge an CO_2 gebunden, die der Menge des im Herstellungsprozess freigesetzten, prozessbedingten CO_2 entspricht. Bei der Stahlproduktion wird Kalk eingesetzt, um Verunreinigungen zu beseitigen.



WAS SIND DIE VORTEILE DER KARBONATISIERUNG?

Die Karbonatisierung findet nicht während sondern nach dem Prozess der eigentlichen Stahlherstellung statt. Die Karbonatisierungsrate ist im Vergleich geringer, jedoch wird durch die hohe Absatzmenge und Stahlproduktion auch die größte Menge an CO₂ im Vergleich aller Kalkanwendungen wieder aufgenommen. In der jüngsten Vergangenheit wurden zahlreiche Studien über die dauerhafte CO₂-Wiederaufnahme durch Kalk durchgeführt und publiziert. Um den CO₂-Fußabdruck der Kalkindustrie richtig zu berechnen, muss die Menge an CO₂, die durch Kalk bei seinen unterschiedlichen Anwendungen wieder gebunden wird, berücksichtigt werden. Hierzu sind Daten über die Karbonatisierungsraten aller relevanten Kalkanwendungen und über ihre jeweiligen Anteile am gesamten Kalkabsatz erforderlich.

Um diese Wissenslücke zu füllen, hat die EuLA im Jahr 2018 die Politecnico di Milano (PoliMI) mit einer Literaturstudie beauftragt, in der wissenschaftlich geprüfte Veröffentlichungen

über die Karbonatisierung von Kalk ausgewertet wurden [2]. Die PoliMI hat die natürliche und beschleunigte Karbonatisierung (siehe weiter unten) bei unterschiedlichen Kalkanwendungen unter Berücksichtigung der Anzahl und Zuverlässigkeit der verfügbaren Informationen und Daten bewertet.

Was wissen wir sicher?

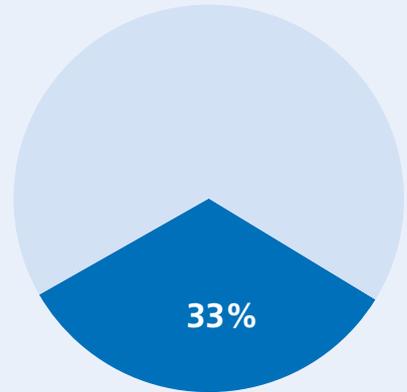
Für acht Anwendungen gibt es wissenschaftlich gesicherte Daten zur Karbonatisierungsrate. Diese werden als „gesicherte Anwendungen“ bezeichnet. Hierzu gehören die größte und zweitgrößte Kalkanwendung, die Eisen- und Stahlproduktion sowie die Rauchgasreinigung. In allen acht Anwendungen zusammen werden 23% der gesamten prozessbedingten CO₂-Emissionen der europäischen Kalkproduktion wiederaufgenommen. Für sechs weitere verbreitete Anwendungen sind weniger Daten verfügbar, aber diese legen die Vermutung nahe, dass weitere 10% der prozessbedingten CO₂-Emissionen der europäischen Kalkindustrie wiederaufgenommen werden.

Die natürliche Karbonatisierungsrate der europäischen Kalkindustrie beträgt durchschnittlich ~33% der durch die Produktion von Kalk freigesetzten, prozessbedingten CO₂-Emissionen.

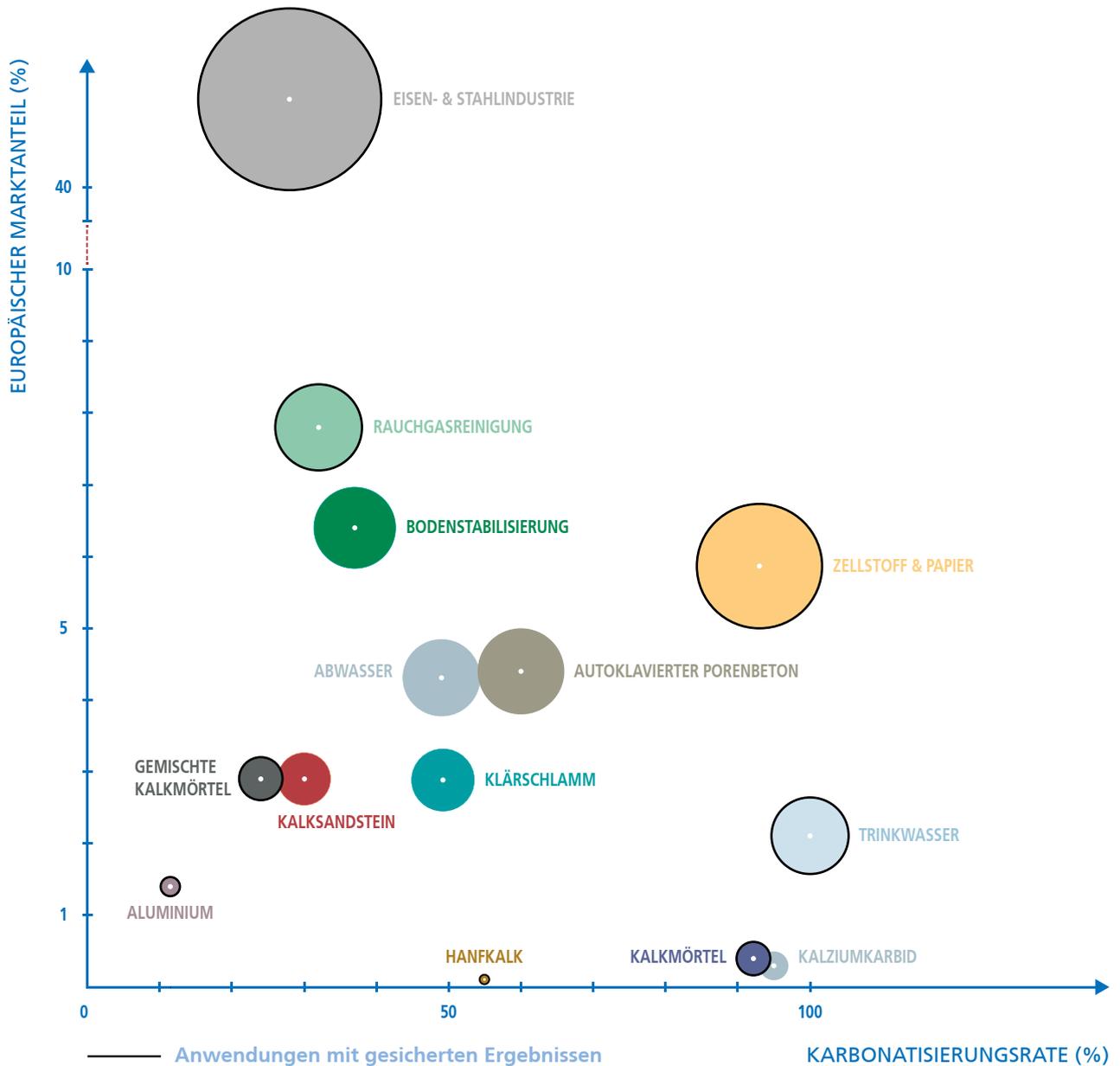
Durch die natürliche Karbonatisierung von Kalk werden durchschnittlich 33% der während der Produktion freigesetzten, prozessbedingten CO₂-Emissionen wiederaufgenommen.

Die folgende Grafik zeigt die Menge CO₂, die durch natürliche Karbonatisierung gebunden wird. Pro Anwendung stellt die Größe des Kreises die Menge des wieder aufgenommenen CO₂ als prozentualen Anteil der gesamten prozessbedingten CO₂-Emissionen der Kalkproduktion für den europäischen Markt dar.

Prozessbedingtes CO₂ gesamt



Gesamte CO₂-Wiederaufnahme durch natürliche Karbonatisierung



Beschleunigte Karbonatisierung

Karbonatisierung ist ein natürlicher Prozess, der durch die Nutzung von Kalk entsteht. In einigen Fällen ist es möglich, die Kalknutzung so anzupassen, dass die Karbonatisierungsrate maximal erhöht wird. Dies lässt sich am besten erreichen, indem der Kontakt zwischen dem Kalk und dem CO₂ in Bezug auf die Oberfläche, die CO₂-Konzentration, den Druck und die Expositionszeit maximiert wird. Andere Möglichkeiten sind: Verbesserung der Prozesseffizienz, Anpassung des Verhältnisses zwischen Kalk und Reaktionsmitteln oder die Minimierung von Verunreinigungen sowie Kontrolle der relativen Feuchtigkeit, des Säuregrads und der Temperatur bei der Reaktion.

Die PolIMI hat Daten gesammelt die zeigen, dass bei Anwendung natürlicher und beschleunigter Karbonatisierungstechniken ein kombiniertes Karbonatisierungspotenzial von ca. 40% der prozessbedingten CO₂-Emissionen besteht.

Zeitraumen der Karbonatisierung

Wenn Kalk in der Rauchgasreinigung, zur Trinkwasseraufbereitung oder bei der Zellstoff- und Papierproduktion verwendet wird, findet die Karbonatisierung unmittelbar statt. In der Eisen- und Stahlindustrie geschieht die Karbonatisierung während der Lagerung der Schlacke unter freiem Himmel, ein Prozess der normalerweise 3 bis 6 Monate dauert. Der Kalk, der in unterschiedlichen Baumaterialien wie Mörtel und Hanfkalk verwendet wird, karbonatisiert allmählich im Laufe der Lebensdauer eines Gebäudes.

Obwohl der zeitliche Rahmen, in denen die Karbonatisierung stattfindet, für die verschiedenen Anwendungen sehr unterschiedlich ist, findet der größte Teil der Karbonatisierungsreaktionen innerhalb des ersten Jahres statt.

Karbonatisierung ist dauerhaft

Die CO₂-Wiederaufnahme durch Karbonatisierung ist dauerhaft, da für eine erneute Freisetzung sehr hohe Temperaturen erforderlich sind. Das heißt, wenn der Kalkstein nicht wieder durch Produktionsverfahren zu Kalk verarbeitet wird, ist das CO₂ dauerhaft gespeichert.

Daher kann Kalk mit Recht als eine dauerhafte Kohlenstoffsенke betrachtet werden.





BEISPIELE VON KARBONATISIERUNG IN KALKANWENDUNGEN

Auf den folgenden Seiten zeigen wir Beispiele von Kalkanwendungen, für die gesicherte Daten über Karbonatisierung verfügbar sind. Die PoliMI hat eine noch detailliertere Bewertung erarbeitet [2]. Die Anhänge am Ende dieser Broschüre enthalten zusätzliche Daten aus der Studie. Die folgenden Seiten beschreiben, welche Rolle Kalk bei der jeweiligen Anwendung spielt und wann und auf welche Weise die natürliche Karbonatisierung stattfindet. Für jede Anwendung sind die folgenden Daten angegeben:

- **Karbonatisierungsrate:** das CO_2 , das während der Anwendung wiederaufgenommen wird, ausgedrückt als prozentualer Anteil des bei der Kalkproduktion für diese Anwendung freigesetzten, prozessbedingten CO_2 .
- **Beschleunigte Karbonatisierungsrate:** gibt die Karbonatisierungsrate(n) an, die durch die Nutzung zusätzlicher, speziell auf die Maximierung der Karbonatisierung ausgerichtete Maßnahmen erreicht werden kann/können.
- **Relevante Publikationen:** die Anzahl der Publikationen, die belastbare Daten für eine Anwendung enthalten, im Vergleich zur Gesamtzahl der für diese Anwendung geprüften Publikationen.

STAHLPRODUKTION



Anwendung: Kalk neutralisiert saure Bestandteile, beseitigt Verunreinigungen, macht Schlackenbildung in Lichtbogenöfen (EAF) möglich und schützt Feuerfestmaterialien

Natürliche Karbonatisierung: findet während der Lagerung von Stahlschlacke an der Außenluft über einen Zeitraum von 3 bis 6

Monaten statt. Karbonatisierungsrate: 5-28%

Beschleunigte Karbonatisierungsrate: 39-56%

Relevante Publikationen: 55 von 72 ausgewerteten Publikationen

HANFKALK



Anwendung: Kalk gemischt mit Hanfschäben zur Herstellung von Ziegeln oder Betonwänden, die durch Karbonatisierung weiter aushärten

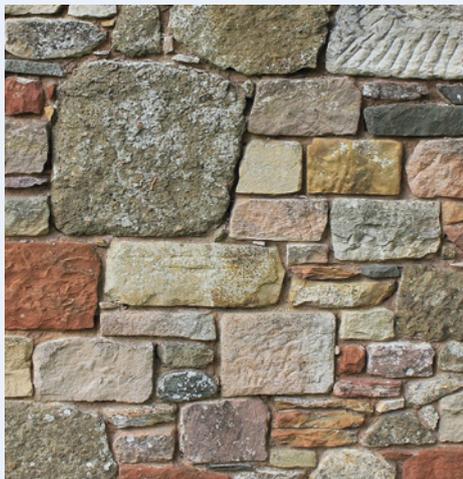
Natürliche Karbonatisierung: im Laufe der Lebensdauer des Gebäudes

Karbonatisierungsrate: 55%

Beschleunigte Karbonatisierungsrate: 65%

Relevante Publikationen: 9 von 15 ausgewerteten Publikationen

KALKMÖRTEL



Anwendung: Kalk gemischt mit Gesteinskörnungen, um Mörtel herzustellen, der durch Karbonatisierung weiter aushärtet

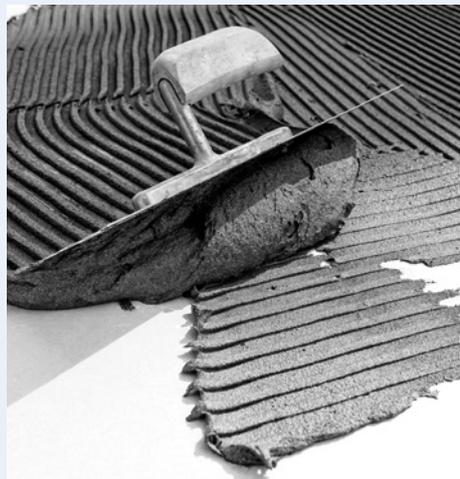
Natürliche Karbonatisierung: im Laufe der Lebensdauer des Gebäudes

Karbonatisierungsrate: 80%

Beschleunigte Karbonatisierungsrate: 92%

Relevante Publikationen: 21 von 100 ausgewerteten Publikationen

GEMISCHTE KALKMÖRTEL



Anwendung: Kalk gemischt mit einem zusätzlichen Binder und Gesteinskörnungen. Das Kalkhydrat härtet u.a. durch Karbonatisierung aus, während der zusätzliche Binder durch Hydratisierung aushärtet

Natürliche Karbonatisierung: im Laufe der Lebensdauer des Gebäudes

Karbonatisierungsrate: 20%

Beschleunigte Karbonatisierungsrate: 23%

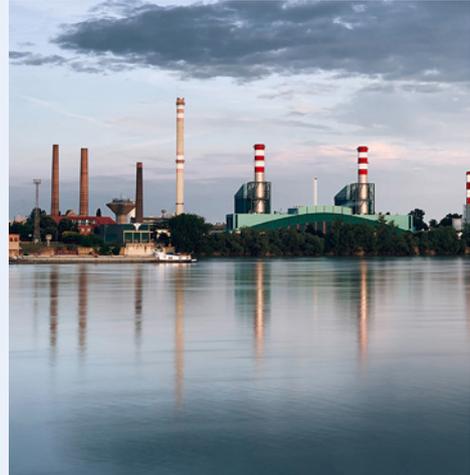
Relevante Publikationen: 27 von 90 ausgewerteten Publikationen

TRINKWASSER



Anwendung: Kalkhydrat reagiert mit CO_2 , fällt als Kalziumkarbonat aus, beseitigt Verunreinigungen und reguliert die Wasserhärte
Natürliche Karbonatisierung: Reaktion findet direkt nach der Zugabe des Kalkhydrats statt
Karbonatisierungsrate: 100%
Beschleunigte Karbonatisierungsrate: 100%
Relevante Publikationen: 2 von 14 ausgewerteten Publikationen

RAUCHGASREINIGUNG



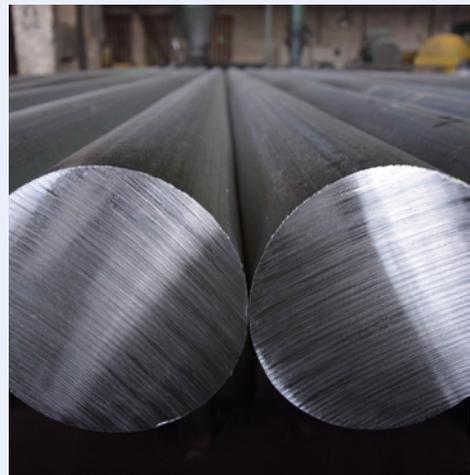
Anwendung: Kalkhydrat reagiert mit sauren Schad- und Abgaskomponenten
Natürliche Karbonatisierung: Kalk reagiert direkt mit dem Abgas
Karbonatisierungsrate: 32%
Beschleunigte Karbonatisierungsrate: 59-64%
Relevante Publikationen: 23 von 39 ausgewerteten Publikationen

ZELLSTOFF UND PAPIER



Anwendung: Durch Fällung von Kalkhydrat entstehen unterschiedliche Kristallisationsformen von Kalziumkarbonat
Natürliche Karbonatisierung: CO_2 wird während des PCC-Prozesses hinzugefügt, um die Fällung herbeizuführen
Karbonatisierungsrate: 93%
Beschleunigte Karbonatisierungsrate: 100%
Relevante Publikationen: 26 von 41 ausgewerteten Publikationen

ALUMINIUM



Anwendung: Kalziumoxid oder Kalkhydrat wird in einer Mischung zum Aufschluss von Bauxit verwendet
Natürliche Karbonatisierung: Kalk reagiert mit CO_2 in der Luft während der Lagerung der Restprodukte
Karbonatisierungsrate: 12%
Beschleunigte Karbonatisierungsrate: 12%
Relevante Publikationen: 13 von 52 ausgewerteten Publikationen

FAZIT

Durchschnittlich 33% des gesamten bei der Kalkproduktion in Europa freigesetzten, prozessbedingten und unvermeidbaren CO₂ werden durch Karbonatisierung während der Anwendung wiederaufgenommen – durch den Einsatz spezieller Techniken könnte dieser Anteil sogar auf 40% erhöht werden.

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass diese Karbonatisierung zum größten Teil im ersten Jahr stattfindet.

Da es sich dabei um eine dauerhafte CO₂-Abscheidung handelt, sollte dies bei der Berechnung des CO₂-Fußabdrucks der Kalkindustrie berücksichtigt werden.

Eine eindeutige Anerkennung und Berücksichtigung der Rolle von Kalk bei der Wiederaufnahme und dauerhaften Speicherung von CO₂ wird es der europäischen Kalkindustrie erlauben, ein starker Partner beim Erreichen des gemeinsamen Ziels eines CO₂-neutralen

Europas zu werden, während die Wettbewerbsfähigkeit auf dem weltweiten Markt gesichert bleibt.

Die Kalkindustrie unterstützt die Vision eines CO₂-neutralen Europas bis 2050 und ist sich bewusst, dass hierzu sowohl technologische Innovationen als auch ein robuster regulatorischer Rahmen erforderlich sind. Wir sind der Meinung, dass eine angemessene Berücksichtigung der durch die weitverbreitete Nutzung von Kalk stattfindenden Karbonatisierung in entsprechenden Regelwerken verankert werden sollte.

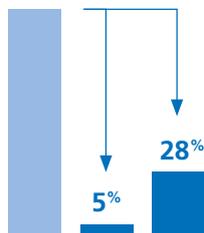
Die Kalkindustrie ist dabei, Forschungsthemen zu entwickeln, um dort wo die aktuell verfügbaren Daten oder wissenschaftlichen Studien keine belastbaren Ergebnisse liefern, zusätzliche Daten über die natürliche und beschleunigte Karbonatisierung bei den verschiedenen Kalkanwendungen zu generieren. Hierdurch wird eine noch detailliertere Berücksichtigung der aus Kalkanwendungen resultierenden Karbonatisierung möglich.

REFERENZEN

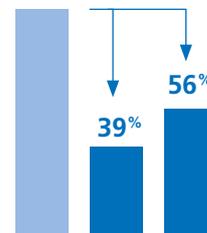
1. Europäische Kommission. 2019. Kommunikation der Kommission über den Grünen Deal. COM(2019) 640 final. Brüssel. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu_de
2. Grosso M., Biganzoli L., Campo F. P., Pantini S., Tua C. 2020. Literaturstudie über die Bewertung des Karbonatisierungspotenzials von Kalk in unterschiedlichen Märkten und darüber hinaus. Bericht der Forschungsgruppe Assessment on Waste and Resources (AWARE) an der Politecnico di Milano (PoliMI), durchgeführt für den europäischen Kalkverband European Lime Association (EuLA). S. 333.
3. Campo F. P., Tua C., Biganzoli L., Pantini S., Grosso M. 2021. Natural and enhanced carbonation of lime in its different applications: A review. [Natürliche und optimierte Karbonatisierung von Kalk in seinen unterschiedlichen Anwendungen: eine Übersicht.] Eingereicht beim Environmental Technology Journal.



ANHÄNGE



NATÜRLICHE KARBONISIERUNGSRATE
ALLMÄHLICHER ANSTIEG IM LAUFE DER ZEIT



OPTIMIERTE KARBONISIERUNGSRATE
ALLMÄHLICHER ANSTIEG IM LAUFE DER ZEIT

Natürliche Karbonatisierungsrate von 5% bis 28% (< 1 Jahr) während der Lagerung von Stahlschlacke.
Beschleunigte Karbonatisierungsrate von 39% bis 56% (< 5 Jahr) während der Lagerung von Stahlschlacke.

DIE KARBONISIERUNGSRATE BEEINFLUSSENDE FAKTOREN

Die natürliche Karbonatisierung von Kalk bei der Stahlproduktion wird durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Die Größe der exponierten Oberfläche der Stahlschlackenhalde.
- Geringe Porosität der Halde vermindert den Kontakt mit CO₂.

Die beschleunigte Karbonatisierungsrate wird durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Zusammensetzung der Stahlschlacke.
- Partikelgröße und Größe der mit CO₂ in Kontakt stehenden Oberfläche.

Einsatz von Kalk bei der Eisenund Stahlproduktion

Die Anwesenheit von Kalziumanteilen in der Stahlschlacke ist das Ergebnis des Einsatzes von Kalk (CaO) oder Kalkstein (CaCO₃) während der Eisen- und Stahlproduktion. Kalk wird in der Roheisenschwefelung sowie im Sauerstoffaufblaskonverter (BOF) und Lichtbogenofenverfahren (EAF) verwendet. Er funktioniert wie ein Flussmittel, um eine alkalische Schlacke zu bilden, die die Feuerfestmaterialien schützt, die sauren Bestandteile neutralisiert und die Schwefel-, Phosphor-, Siliziumdioxid- sowie Aluminiemeinschlüsse beseitigt. Kalk wird auch in einer großen Bandbreite an sekundären

metallurgischen Verfahren für die Entfernung von weiteren Verunreinigungen und zur Verhinderung der Resorption von Verunreinigungen aus der Schlacke eingesetzt. Außerdem kann es zusammen mit anderen Materialien wie Fluorit zur Bildung einer synthetischen Schlacke verwendet werden, die als Flussmittel bei der Stahlveredelung verwendet wird, um noch mehr Schwefel zu beseitigen. Bei der Roheisenproduktion wird Kalk weitaus seltener verwendet. Hier wird er mit Kalkstein in einem Verhältnis von 1:6 vermischt, hauptsächlich während des Sintervorgangs.

Karbonatisierungsverfahren

Natürliche Karbonatisierung findet während der Lagerung von Stahlschlacke an der Außenluft statt, wenn das Kalkhydrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in der Schlacke mit dem CO_2 in der Luft reagiert. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ist das Ergebnis der vollständigen Hydratisierung des in der Schlacke verbleibenden CaO . Diese Hydratisierung ist erforderlich für die Wieder-

verwertung der Schlacke als Baumaterial und geschieht dadurch, dass die Schlackenhalden, üblicherweise für einen Zeitraum von 3 bis 6 Monaten, der Außenluft ausgesetzt werden. Die Karbonatisierung von Eisenschlacke ist selbst nach 100 Jahren noch als vernachlässigbar zu betrachten.

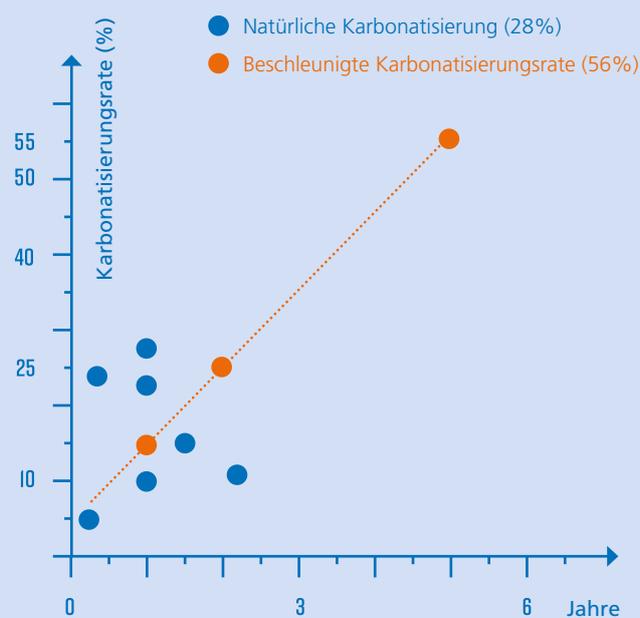
Zeitraumen der Karbonatisierung

Die Karbonatisierung des Kalks in der Stahlschlacke im Zeitverlauf wird in der folgenden Gleichung dargestellt.

Karbonatisierungsrate

- Für die ersten 5 Jahre:
= $0,0085\sqrt{\text{Anzahl Tage}}$.
- Nach den ersten 5 Jahren: 39-56%.

Nach der Gleichung wird die minimale beschleunigte Karbonatisierungsrate von 39% nach 5 Jahren erreicht. Dieser Wert ist leicht überschätzt, wenn man bedenkt, dass 2/3 des freien Kalks in Stahlschlacke innerhalb der ersten 5 Jahre reagiert. Die Karbonatisierung von Kalziumsilikaten und Kalziumaluminaten dauert dahingegen mehr als 5 Jahre und erreicht einen endgültigen Karbonatisierungsgrad von lediglich 1/3. Daher können die 39% als eine theoretische maximale Karbonatisierungsrate betrachtet werden, die normalerweise nach mehr als 5 Jahren erreicht wird. Da die Oberfläche der Schlackenhalde nach der Karbonatisierung weniger porös ist, nimmt die CO_2 -Diffusion mit der Zeit ab.



Stahlschlacke

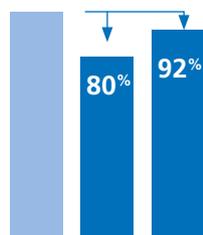
Ausgewertete Publikationen: 72

Publikationen mit relevanten und belastbaren Informationen und Daten: 34

Eisenschlacke

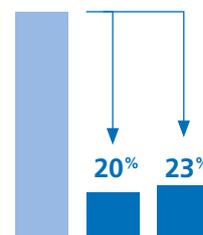
Ausgewertete Publikationen: 72

Publikationen mit relevanten und belastbaren Informationen und Daten: 21



KALKMÖRTEL

ALLMÄHLICHER ANSTIEG IM LAUFE DER ZEIT



GEMISCHTER KALKMÖRTEL

ALLMÄHLICHER ANSTIEG IM LAUFE DER ZEIT

NATÜRLICHE KARBONATISIERUNGSRATE

Die natürliche Karbonatisierungsrate ist abhängig von der Mörteldicke. Es ist davon auszugehen, dass Kalk in einer Tiefe von 0 bis 191 mm unter der Mörteloberfläche über einen Zeitraum von 100 Jahren karbonatisiert.

Verwendung von Kalk als Mörtel

Kalkmörtel werden seit der Antike verwendet. **Kalkmörtel** werden aus Kalkhydrat hergestellt ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Gemischter Kalkmörtel sind eine Mischung aus Kalk und anderen Materialien, die die Bindung beschleunigen, z. B. Portlandzement.

Karbonatisierungsverfahren

Kalkmörtel härten infolge ihrer Exposition zu CO_2 in der Luft, wobei Kalziumkarbonat (CaCO_3) gebildet wird. Die Karbonatisierung ist also ein Teil des Aushärtungs- und Selbstheilungsprozesses von Kalkmörtel.

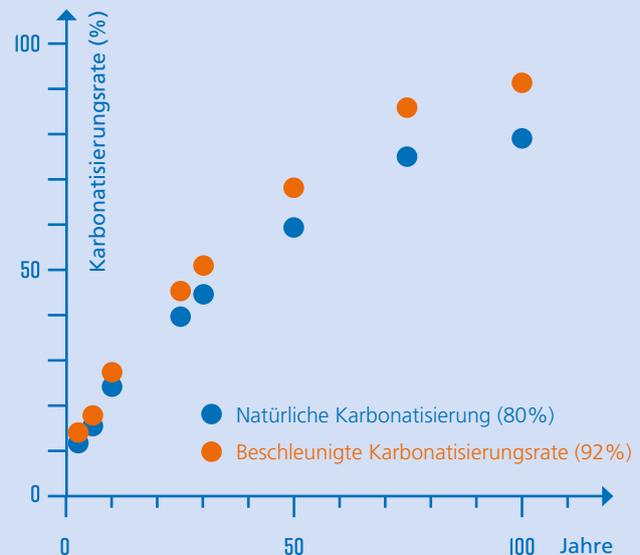
In gemischten Kalkmörteln härtet das Kalkhydrat durch Karbonatisierung zu Kalkstein, während der zusätzliche Binder durch Hydratisierung aushärtet.

Zeitraumen der Karbonatisierung für Kalkmörtel

Die vermutete natürliche Karbonatisierungsrate von Kalkmörtel im Zeitverlauf wird in der folgenden Gleichung dargestellt:

$$[CR=NCR \cdot K \cdot \sqrt{t}/Tiefe]$$

- **CR** = Karbonatisierungsrate (%).
- **NCR** = Natürliche Karbonatisierungsrate (80%).
- **t** = Zeit in Tagen.
- **K** = Karbonatisierungskonstante gleich 1 mm/ $\sqrt{\text{Tag}}$.
- **Tiefe** = die Anwendungsstärke, die nach 100 Jahren karbonatisiert (191 mm).

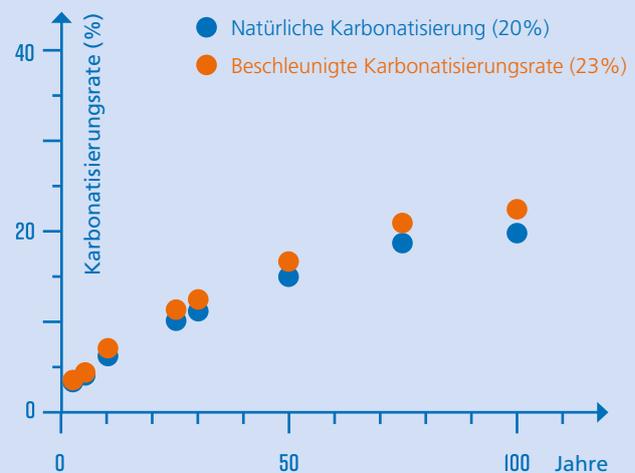


Zeitraumen der Karbonatisierung für gemischte Kalkmörtel

Die natürliche Karbonatisierung in gemischten Kalkmörteln ist abhängig von der Substitutionsrate des Portlandzements, welches die Porosität reduziert. Dadurch wird wiederum die Karbonatisierungsrate auf ein Viertel der Rate des Kalkmörtels reduziert. Gleichung:

$$[CR=NCR \cdot K \cdot \sqrt{t}/Tiefe]$$

- **CR** = Karbonatisierungsrate (%).
- **NCR** = Natürliche Karbonatisierungsrate (20%).
- **t** = Zeit in Tagen.
- **K** = Karbonatisierungskonstante gleich 0,25 mm/ $\sqrt{\text{Tag}}$.
- **Tiefe** = die Anwendungsstärke, die nach 100 Jahren karbonatisiert (191 mm).



Luftkalkmörtel

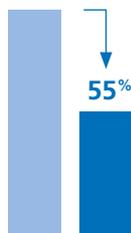
Ausgewertete Publikationen: 100

Publikationen mit relevanten und belastbaren Informationen und Daten: 21

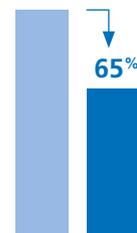
Gemischte Luftkalkmörtel

Ausgewertete Publikationen: 90

Publikationen mit relevanten und belastbaren Informationen und Daten: 27



NATÜRLICHE KARBONISIERUNGSRATE
ALLMÄHLICHER ANSTIEG IM LAUFE DER ZEIT



OPTIMIERTE KARBONISIERUNGSRATE
ALLMÄHLICHER ANSTIEG IM LAUFE DER ZEIT

Die Karbonatisierungsrate wird beeinflusst durch:

- Zusammensetzung des Binders.
- Kontakt mit CO₂.

Der Einsatz von Hanfkalk als Baumaterial

Baumaterialien aus Hanfkalk werden vor allem in Frankreich und Großbritannien eingesetzt, wo es dementsprechend die meisten Publikationen darüber gibt. Hanfkalkmaterial wird mit Hanfschäben, dem zerhackten holzigen Kern des Hanfstängels,

hergestellt. Diese werden mit einem Kalkbinder gemischt, der als Zusatzstoffe Puzzolanazement oder hydraulischen Kalk und in manchen Fällen Tenside enthält.

Karbonisierungsverfahren

Das Kalkbindemittel besteht aus Kalkhydrat (Ca(OH)₂). Während der Nutzungsphase des Baumaterials aus Hanfkalk, karbonatisiert das Kalkhydrat, indem es

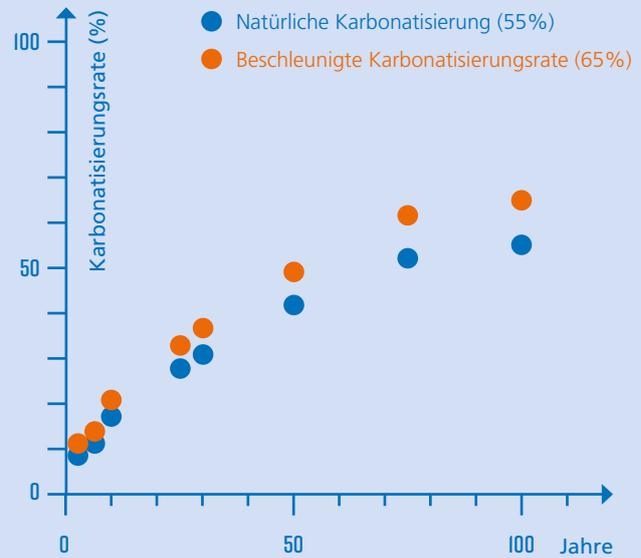
mit CO₂ aus der Luft reagiert, wobei Kalziumkarbonat (CaCO₃) entsteht. Die Literaturstudie zeigt, dass die natürliche Karbonatisierungsrate 55% beträgt.

Zeitraumen der Karbonatisierung

Dies geschieht bis zu einer Tiefe von 50 mm, wo der Kalk nach 91 Tagen vollständig karbonatisiert ist. Daher ist die Karbonatisierungskonstante, die den Fortschritt der Karbonatisierungstiefe im Zeitverlauf misst, gleich $5,24 \text{ mm}/\sqrt{\text{Tag}}$ entsprechend dem Verhältnis von 50 mm dividiert durch die Quadratwurzel von 91 Tagen. Die vermutete natürliche Karbonatisierungsrate von Hanfkalk im Zeitverlauf wird in der folgenden Gleichung dargestellt:

$$[CR = NCR \cdot K \cdot \sqrt{t} / \text{Tiefe}]$$

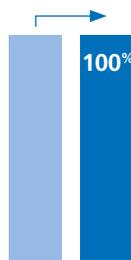
- **CR** = Karbonatisierungsrate (%).
- **NCR** = Natürliche Karbonatisierungsrate (55%).
- **t** = Zeit in Tagen.
- **K** = Karbonatisierungskonstante gleich $5,24 \text{ mm}/\sqrt{\text{Tag}}$.
- **Tiefe** = die Anwendungsstärke, die nach 100 Jahren karbonatisiert (1001 mm).



Hanfkalk

Ausgewertete Publikationen: 15

Publikationen mit relevanten und belastbaren Informationen und Daten: 9



NATÜRLICHE KARBONISIERUNGSRATE
UNMITTELBAR

Die Karbonatisierungsrate wird beeinflusst durch:

- Geringe Löslichkeit von Kalziumkarbonat und Magnesiumhydroxid.
- Zusatz von Koagulations- und Flockungshilfsmitteln, um den Prozess zu beschleunigen.
- Zusatz von inerten feinen Partikeln, wie Sand oder vorher gefälltes CaCO_3 , die als Kristallisationskeim fungieren und die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen.

Einsatz von Kalk bei der Trinkwasseraufbereitung

In der Trinkwasseraufbereitung kommt Kalk bei zahlreichen Verfahren zum Einsatz, zum Beispiel bei der Wasserenthärtung, pH-Wertanpassung, Neutralisierung von Säuren, Beseitigung von Metallen, Anpassung der Alkalinität oder der Beseitigung von Fluorid, Phosphat, Sulfat

und Stickstoff. Eine der wichtigsten Anwendungen ist die Wasserenthärtung, wobei die Härte (durch Kalzium- und Magnesiumbikarbonat) und die Alkalität des Rohwassers reduziert und Kieselsäure beseitigt werden, um unerwünschte Ablagerungen zu vermeiden.

Karbonatisierungsverfahren

Das harte Wasser wird durch die Anwendung von Kalkhydrat ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) enthärtet, das das gelöste Kalzium und Magnesium zu unlöslichem Kalziumkarbonat bzw. Magnesiumhydroxid präzipitiert. Nach der Ablagerung werden diese

unlöslichen Bestandteile durch Filtrierung beseitigt. Der zur Wasserenthärtung verwendete Kalk gilt als vollständig karbonatisiert, da der Kalk im resultierenden Abbauprodukt, vollständig in Form von Karbonat (CaCO_3) vorliegt.

Zeitraumen der Karbonatisierung

Die natürliche Karbonatisierungsrate für Trinkwasser im Zeitverlauf ist in der ausgewerteten Literatur nicht aufgeführt. Die Karbonatisierung findet jedoch höchstwahrscheinlich unmittelbar statt,

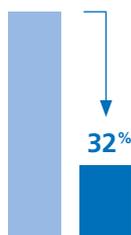
was bedeutet, dass 100% der prozessbedingten Emissionen während der Nutzungsphase der Trinkwasseraufbereitung absorbiert werden.

Trinkwasser

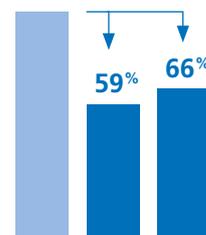
Ausgewertete Publikationen: 14

Publikationen mit relevanten und belastbaren Informationen und Daten: 2

RAUCHGASREINIGUNG



NATÜRLICHE KARBONISIERUNGSRATE
UNMITTELBAR



OPTIMIERTE KARBONISIERUNGSRATE
UNMITTELBAR

Die Karbonatisierungsrate wird beeinflusst durch:

- Rauchgaseigenschaften (Zusammensetzung, Temperatur, usw.).
- Die Bildung einer Außenschicht von Kalziumverbindungen, die eine niedrige Porosität aufweisen, wodurch die CO₂-Diffusion gehemmt wird.
- Das Rauchgasreinigungsverfahren hat Auswirkungen auf die Karbonatisierungsrate: ein suboptimal gestaltetes Verfahren kann zu einer höheren spezifischen Dosierung für die Beseitigung von sauren Schadgas-komponenten (höheres stöchiometrisches Verhältnis) führen, wodurch wiederum die potenzielle Reaktion mit dem CO₂ im Rauchgas und somit die natürliche Karbonatisierung erhöht wird.

Die Karbonatisierungsrate wird beeinflusst durch:

- Temperatur:
 - 20-30 °C für wässrige Karbonatisierung,
 - über 350 °C für Gas-Feststoff-Karbonatisierung.
- Flüssig-Fest-Verhältnis für wässrige Karbonatisierung:
 - Verhältnis von 0,2-0,3 für eine optimale Karbonatisierung.
- Anwesenheit von SO₂:
 - SO₂ verstopft die Poren der Rauchgasreinigungsstoffe, wodurch die Karbonatisierung verringert wird.

Einsatz von Kalk bei der Rauchgasreinigung

Kalk wird für die Beseitigung saurer Bestandteile (HCl, SO_x, HF) aus den Abgasen von Verbrennungsanlagen, d. h. fossil befeuerte Kraftwerke, Biomasse- und Müllverbrennungsanlagen, verwendet. Ein Rauchgasreinigungsverfahren kann abhängig von der verwendeten Kalksorte halbtrocken oder trocken sein.

Bei (halb-)nassen Verfahren wird Kalk als wässrige Lösung oder Suspension, z. B. Kalkmilch oder

Kalklösung (Ca(OH)₂), hinzugegeben. Bei der Reaktion mit dem Rauchgas in nassen Verfahren entsteht Schlamm, der weiterbehandelt werden muss. Während im halb-nassen Verfahren das Wasser verdampft und die Reaktionsprodukte trocken sind, wird im (halb-)trockenen Verfahren Kalkhydratpulver als Sorptionsmittel hinzugefügt (Ca(OH)₂). Für beide Verfahren werden die Reaktionsprodukte in einer herkömmlichen Entstaubungsanlage (üblicherweise ein Gewebefilter) separiert.

Karbonatisierungsverfahren

Während der Rauchgasreinigung reagiert Kalk mit HCl, HF und SO_x aber auch mit CO₂, wobei Kalziumkarbonat gebildet wird.

Wegen der kurzen Kontaktzeit zwischen dem Kalksorptionmittel und dem Abgas – normalerweise nicht mehr als ein paar Sekunden – sowie der kinetischen Einschränkungen der chemischen Reaktionen, wird Kalk überstöchiometrisch im Verhältnis von 1,3 bis 2,5 hinzugegeben. Daher enthalten die festen Rückstände, die durch das Verfahren entstehen, eine bestimmte Menge an freiem Kalk, der für die Karbonatisierung zur Verfügung steht.

Eine technische Beschleunigung der Karbonatisierung der Rückstände wurde vor allem als Technologie zur Verbesserung der chemischen Stabilität und des Auswaschungsverhaltens vor der Entsorgung oder Aufbereitung vorgeschlagen. Außerdem erlaubt eine beschleunigte Karbonatisierung der Rückstände eine kontextbezogene CO₂-Abscheidung direkt an der Stelle, an der die CO₂-Emissionen entstehen und die Rückstände generiert werden.

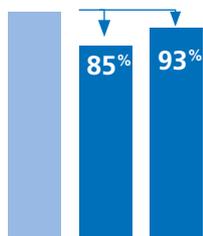
Rauchgasreinigung

Ausgewertete Publikationen: 39

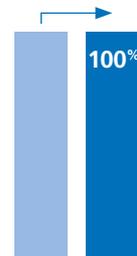
Publikationen mit relevanten und belastbaren Informationen und Daten: 23



ZELLSTOFF UND PAPIER



NATÜRLICHE KARBONISIERUNGSRATE
UNMITTELBAR



OPTIMIERTE KARBONISIERUNGSRATE
UNMITTELBAR

Die Karbonatisierungsrate wird beeinflusst durch:

- Auflösungsrate des Kalziumhydroxids im Kalkschlamm.
- Druckbeaufschlagung der Karbonatisierungsreaktion.
- Einsatz von bestimmten Zusatzstoffen.

Einsatz von Kalk bei der Zellstoff- und Papierproduktion

Präzipitiertes Kalziumkarbonat (PCC) wird vor allem als Beschichtungspigment oder Füllstoff für Zellstoff und Papier aber auch in anderen industriellen Anwendungen verwendet. PCC wird chemisch hergestellt, indem Kohlenstoffdioxid (CO₂) unter kontrollierten Bedingungen mit Kalk (CaO) in Verbindung gebracht wird. Kalkhydratschlamm wird mit CO₂-haltigen Gasen in Kontakt gebracht, was zu einer Rekarbonatisierung des Kalks führt. Dadurch wird durch Fällung erneut in Wasser unlösliches Kalziumkarbonat gebildet.

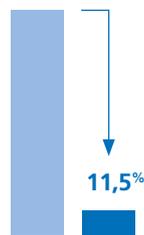
Durch die Separierung von Verunreinigungen aus dem Kalkschlamm erhält man hochreines PCC.

Bei der Präzipitation können abhängig von den Fällungsbedingungen drei unterschiedliche kristalline Formen (Kalzit, Aragonit und Vaterit) entstehen. Die Eigenschaften des PCC können durch Regulierung der Temperatur, der CO₂-Konzentration und -Flussrate, der Rührrate, der Partikelgröße, der Konzentration des Kalkhydratschlammes sowie durch den Einsatz von Zusatzstoffen gesteuert werden.

Zellstoff und Papier

Ausgewertete Publikationen: 52

Publikationen mit relevanten und belastbaren Informationen und Daten: 13



NATÜRLICHE KARBONATISIERUNGSRATE
ZEITRAHMEN IN DER AUSGEWERTETEN LITERATUR NICHT ERWÄHNT

Die natürliche Karbonatisierungsrate wird beeinflusst durch:

- Rotschlammzusammensetzung.
- Expositionszeit seit der Auflösung der Ca-haltigen Mineralien, die üblicherweise im Rotschlamm enthalten sind.
- Bewegung des Rotschlammes während der Lagerung und demzufolge die Menge und Größe der Oberflächen, die dem CO₂ in der Luft ausgesetzt sind.

Einsatz von Kalk bei der Aluminiumproduktion

Kalk wird zur Anwendung des Bayer- Verfahrens, die wichtigste Methode zur Überführung von Bauxit in Aluminiumerz, benötigt. Während des Bayer-Verfahrens wird Bauxit in einer Natronlauge, die unter anderem Kalk enthält, aufgeschlossen. Bei diesem Prozess entstehen einerseits eine aluminiumreiche Lauge, aus der anschließend Aluminium hergestellt wird, und andererseits ein fester Abfallstoff, der sogenannte Rotschlamm,

der entsorgt werden muss. Dieser Abfallstoff ist ein alkalischer Schlamm mit einem Wassergehalt von etwa 50-70% und einem pH-Wert, der üblicherweise über 13 liegt. Aktuell besteht die Entsorgung des Rotschlammes darin, diesen trocknen zu lassen, bis er einen Feststoffanteil von mindestens 48-55% erreicht hat. Der verdickte Rotschlamm wird dann auf Deponien gelagert, bis er sich verdichtet und austrocknet.

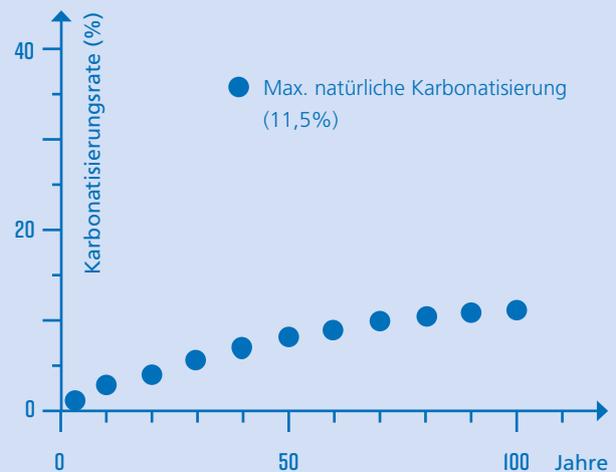
Karbonatisierungsverfahren

Die natürliche Karbonatisierung von Rotschlamm erfolgt sowohl über das Porenwasser als auch durch die Auflösung von Trikalziumaluminat (TCA) und Kalzitfällung im festen Zustand.

Zur Neutralisierung des Schlamms und Reduzierung seines pH-Werts werden unterschiedliche Neutralisierungsmethoden vorgeschlagen, bei denen unter anderem Meereswasser oder künstlich hergestellte Ca- und Mg-reiche Salzlauge zum Einsatz kommen. Andere Neutralisierungsverfahren basieren auf CO₂, d. h. Karbonatisierung unter optimierten Bedingungen.

Zeitraumen der Karbonatisierung

Der Zeitraum für eine natürliche Karbonatisierung wird in der ausgewerteten Literatur nicht erwähnt. Im ungünstigsten Fall ist von einer Karbonatisierung über einen Zeitraum von 100 Jahren auszugehen. Diese Grafik stellt den geschätzten Verlauf dieses Szenarios dar.



Aluminium

Ausgewertete Publikationen: 41

Publikationen mit relevanten und belastbaren Informationen und Daten: 26

DEFINITIONEN

BESCHLEUNIGTE KARBONATISIERUNG

Prozess, bei dem die Karbonatisierung durch eine optimale Kohlenstoffdioxidkonzentration und/oder durch optimierte Prozessparameter wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Reaktionsfläche, pH-Wert, usw., abhängig von der Reaktionsmatrix in der festen, flüssigen oder gasförmigen Phase, begünstigt wird. Dadurch wird die Karbonatisierungszeit verkürzt.

GEMISCHTE KALKMÖRTEL

Heutzutage ist es üblich, Mörtelgemische mit einem Bindemittel wie Portlandzement zu versehen. Dieses sorgt dafür, dass die Festigkeit schneller zunimmt, wodurch der Bauprozess beschleunigt werden kann. Kalk (normalerweise Kalkhydrat) ist in diesen Mischungen enthalten, um eine bessere langfristige Haltbarkeit und Qualität des Mauerwerks zu gewährleisten.

HANFKALK

Ein Baumaterial, das ursprünglich entwickelt wurde, um Ausfachungen aus Holzgeflechten und Lehmewurf in Holzfachwerkhäusern zu ersetzen. Die Bestandteile von Hanfkalk sind Hanfschäben, d. h. die zerhackten holzigen Kerne der Hanfstängel (*Cannabis sativa*), Kalkbinder mit Puzzolanzement oder hydraulischem Kalk als Zusatzstoffe und in manchen Fällen Tenside.

HYDRATISIERUNG

Der Prozess, bei dem Wasser zu Branntkalk hinzugefügt wird, um Kalkhydrat (Ca(OH)_2) zu erhalten.

KALK

Der gebräuchliche Begriff sowohl für Kalziumoxid/Branntkalk als auch für Kalkhydrat/Löschkalk.

KALKHYDRAT ODER LÖSCHKALK

Kalziumhydroxid (Ca(OH)_2) ist das Produkt der Reaktion von Kalziumoxid und Wasser.

KALKMÖRTEL

In den meisten Baumaterialanwendungen, einschließlich Mörtel und Putz, ist Kalziumhydroxid, auch Kalkhydrat oder Löschkalk genannt, enthalten. Es härtet langsam, wenn es mit Kohlenstoffdioxid in der Umgebungsluft reagiert, und bildet dabei Kalziumkarbonat – diese Reaktion wird Karbonatisierung genannt.

KALZINIERUNG

Bezieht sich auf die Erhitzung von Kalkstein oder anderen Gesteinen, die hauptsächlich aus Kalziumkarbonat (CaCO_3) bestehen, zur Herstellung von Branntkalk oder ungelöschtem Kalk, d. h. Kalziumoxid (CaO). Während der Kalzinierung von CaCO_3 entstehen zwei Produkte: CaO und CO_2 .

KALZIUMOXID ODER BRANNTKALK

Kalziumoxid (CaO) ist das Produkt der Kalzinierung.

KARBONATISierter KALK

Der Kalkanteil, der durch die Reaktion mit Kohlenstoffdioxid (CO₂) in CaCO₃ (Karbonat) umgewandelt wurde.

KARBONATISIERUNGSKONSTANTE (K)

Parameter der Gleichung, welche die Progression der Karbonatisierung anhand der Tiefe im Verhältnis zur Zeit (t) für Baumaterialien ausdrückt: Karbonatisierungstiefe = $K\sqrt{t}$.

KARBONATISIERUNGSRATE

Der prozentuale Anteil der Menge an CO₂, die bei der Karbonatisierung absorbiert wird, an der Menge des prozessbedingten CO₂, das bei der Kalzinierung freigesetzt wird.

KARBONATISIERUNGSTIEFE

Der Abstand von der Oberfläche des Kalks, bis zum Bereich, in dem der Kalk nur wenig bis gar nicht karbonatisiert. Die Tiefe kann mit einer Phenolphthalein-Lösung gemessen werden und wird in mm ausgedrückt.

KOHLNSTOFFSENKE

Natürliches System, das Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre absorbiert und speichert.

NATÜRLICHE KARBONATISIERUNG

Der Prozess, in dem Kalk mit Kohlenstoffdioxid reagiert und dabei Kalziumkarbonat (CaCO₃) produziert, welches das Kohlenstoffdioxid dauerhaft speichert. Diese Reaktion ist exotherm und daher thermodynamisch günstig. Abhängig von der Reaktionsmatrix kann das CO₂ in festem, wässrigem oder gasförmigem Zustand aus der Luft, dem Wasser oder aus einer anderen Quelle stammen.

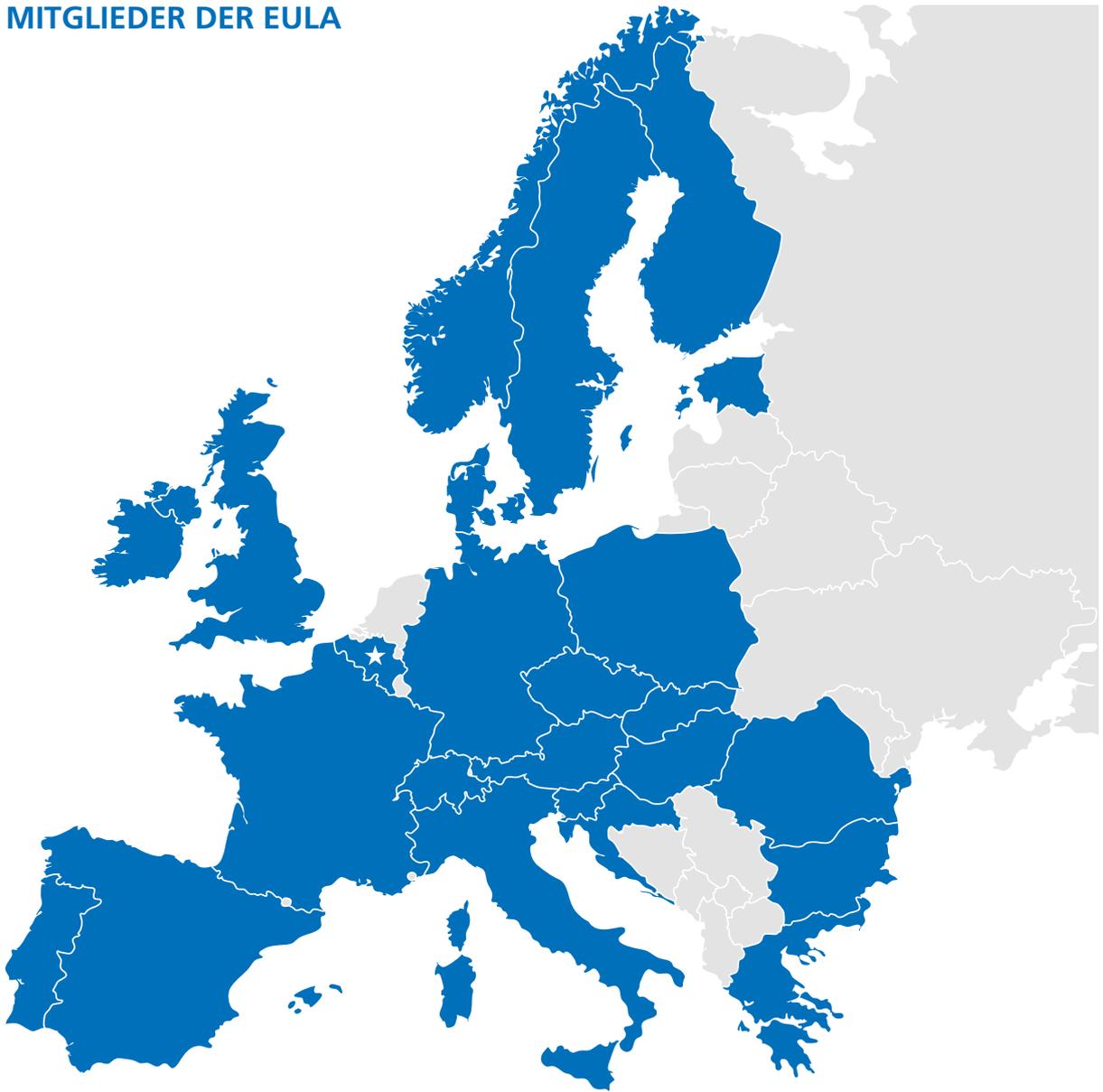
PROZESS- ODER ROHSTOFFBEDINGTES CO₂

Das CO₂, das durch die Aufspaltung von CaCO₃ in CaO und CO₂ unvermeidbar freigesetzt wird. Wenn über prozessbedingtes CO₂ gesprochen wird, ist das freiwerdende Verbrennungs-CO₂ nicht darin enthalten, da dieses von der Art des genutzten Brennstoffs abhängt.

RAUCHGASREINIGUNG

Rauchgase, die als Abgase von Verbrennungsanlagen, vor allem Kohlekraftwerke und Müllverbrennungsanlagen, generiert werden, enthalten eine bedeutende Menge an sauren Bestandteilen (HCl, SO_x, HF). Die Beseitigung von sauren Abgasen kann durch den Einsatz unterschiedlicher alkalischer Mittel, wie Kalk, Kalkstein usw. erfolgen. Diese Anwendung ist auch bekannt als Rauchgasentschwefelung oder Abgasreinigung.

MITGLIEDER DER EULA



Der europäische Kalkverband, die European Lime Association, unterstützt die Kalkindustrie beim Umsetzen ihrer Visionen. Er verteidigt die Interessen der europäischen Kalkproduzenten auf europäischer Ebene und unterstützt seine Mitglieder beim Erreichen ihrer nationalen Ziele, indem er ihnen eine gemeinsame Stimme verleiht. EuLA ist Mitglied der IMA-Europe (Industrial Minerals Association Europe).



European Lime Association
c/o IMA-Europe
Rue des Deux Eglises, 26
1000 Brussels, Belgium
info@eula.eu | www.eula.eu