CO2 2.0



KALKSANDSTEIN

WEGE IN EINE ZUKUNFTSORIENTIERTE TRANSFORMATION:
ROADMAP 2.0 FÜR EINE TREIBHAUSGASNEUTRALE KALKSANDSTEININDUSTRIE IN DEUTSCHLAND

www.kalksandstein.de

INHALT



1. EDITORIAL 4

2. RAHMENBEDINGUNGEN und Hintergrund der Aktualisierung 6

3. HERAUSFORDERUNGEN 10

Wege zur Treibhausgasneutralität 11

Referenzpfad 12

Pionierpfad 12

Klimaneutralitätspfad 12

Die Emissionsentwicklungen unter den Pfaden im Überblick 13

Die Wirkung der natürlichen und forcierten Recarbonatisierung und Implikationen für Negativemissionen 14

Decarbonatisierung der Dampferzeuger im Klimaneutralitätspfad 15

Kosten für den Referenz-, den Pionier- und den Klimaneutralitätspfad 16

4. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE 17

Pfade ohne Recarbonatisierung 17

Klimaneutralisierungspfad mit Recarbonatisierung 17

Vergleich der Ursprungsversion der Roadmap und der Aktualisierung 2.0 18

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN 20

Maßnahmen der Kalksandsteinindustrie 21

Unsere Forderungen an die Politik 22

6. FAZIT 24

IMPRESSUM 26

1. EDITORIAL

Sehr geehrte Damen und Herren,

wie kann eine Industrie treibhausgasneutral werden und zugleich wettbewerbsfähig bleiben? Diese Frage ist seit unserer ersten Roadmap von 2021 noch drängender geworden. Unser Ziel bleibt klar: eine treibhausgasneutrale Kalksandsteinindustrie bis 2045. Mit der Roadmap 2.0 zeigen wir, wie sich der Weg dorthin unter veränderten Bedingungen gestalten lässt und welche neuen Chancen sich dabei eröffnen.

Die Krise im Wohnungsbau, höhere Energiekosten und Verzögerungen beim Ausbau der Energieinfrastruktur erschweren Investitionen. Doch weniger Produktion ist keine Zukunftsstrategie für den Klimaschutz. Unser Anspruch ist es, Emissionen zu senken und zugleich Wertschöpfung und Arbeitsplätze in Deutschland zu sichern. Unsere Unternehmen bringen dafür viel Erfahrung mit: Sie investieren seit Jahren in effizientere Anlagen, verbesserte Rezepturen und gemeinsame Forschung.

Gemeinsam mit der FutureCamp Climate GmbH haben wir die bisherigen Annahmen überprüft und die möglichen Entwicklungspfade neu berechnet. Die Ergebnisse zeigen nicht nur, wo die Herausforderungen gewachsen sind. Sie eröffnen auch eine Perspektive, die über Treibhausgasneutralität hinausgeht: Kalksandstein nimmt CO_2 auf und bindet es dauerhaft. Durch die forcierte Recarbonatisierung lässt sich dieser natürliche Vorgang technisch beschleunigen. Zusammen mit der Dekarbonisierung der gesamten Produktionskette, einschließlich der Kalkherstellung, könnte unsere Branche künftig mehr CO_2 aufnehmen, als sie verursacht.

Was technisch möglich ist, muss allerdings auch wirtschaftlich tragfähig werden. Unsere mittelständisch geprägten Unternehmen brauchen dafür bezahlbare erneuerbare Energie, leistungsfähige Netze und verlässliche Förderprogramme, die sie tatsächlich erreichen. Ebenso wichtig ist es, den zusätzlichen Klimaschutzbeitrag der forcierten Recarbonatisierung anzuerkennen. Die Verantwortung für die Transformation liegt deshalb nicht bei der Industrie allein. Politik, Energiewirtschaft, Forschung und Unternehmen müssen gemeinsam die Voraussetzungen für ihre Umsetzung schaffen.

Die folgenden Seiten zeigen, welche Maßnahmen uns voranbringen, was sie kosten und wo jetzt Entscheidungen notwendig sind. Wir laden Sie ein, die Chancen dieser Entwicklung zu entdecken und mit uns die nächsten Schritte zu gestalten. Unser Ziel ist eine Kalksandsteinindustrie, die Klimaschutz und wirtschaftliche Stärke verbindet und damit auch künftig ihren Beitrag zum Bauen in Deutschland leistet.



Dass wir den Weg in eine klimaneutrale Zukunft als Industrie auch weiterhin nicht allein gehen können, steht außer Frage. Die Transformation kann nur gemeinsam mit der gesamten Baubranche, der Politik und nicht zuletzt auch dem Verbraucher erfolgen. Dafür bietet die Fortschreibung unserer Roadmap nun eine fundierte, faktenorientierte Basis.

Wir freuen uns auf den Austausch mit Ihnen!

Frederic Dörlitz
Vorstandsvorsitzender

Roland Meißner
Geschäftsführer

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e. V.

2. RAHMENBEDINGUNGEN

und Hintergrund der Aktualisierung



Waldbrände, Hitzerekorde, Wasserknappheit: Das Jahr 2026 macht erneut deutlich, wie wichtig der Klimaschutz und eine Reduktion der Treibhausgasemissionen für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung auch der nächsten Jahrzehnte bleiben werden. Zudem bestimmen der Green Deal der Europäischen Kommission und dessen aktuelle Fortentwicklung zum Deal für eine saubere Industrie (Clean Industrial Deal) die Debatte um klimaneutrale Produktionsmethoden.

Bereits 2021 veröffentlichte der Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. daher die Studie „Wege in eine zukunftsorientierte Transformation: Roadmap für eine treibhausgasneutrale Kalksandsteinindustrie in Deutschland“. Diese beschreibt erstmals Dekarbonisierungspfade für die deutsche Kalksandsteinindustrie, also unterschiedliche Wege, um langfristig den Ausstoß von klimaschädlichem Kohlenstoffdioxid (CO_2) zu vermeiden.

Fünf Jahre später hält die Kalksandsteinindustrie an dem Ziel der Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 fest. Gleichzeitig haben sich in der Zwischenzeit wichtige Rahmenbedingungen für die Transformation erheblich verändert. Daher hat der Bundesverband Kalksandsteinindustrie die Unternehmensberatung FutureCamp Climate GmbH* mit einer Aktualisierung der Roadmap beauftragt, die diesen Umständen Rechnung trägt.

Die wichtigsten Änderungen bei den Rahmenbedingungen, welche eine Aktualisierung erforderlich machten, sind politischer, wirtschaftlicher und technologischer Art.

- Gestiegene Energiekosten: Durch den andauernden Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine sind die Kosten für Energie in Deutschland dauerhaft gestiegen. Dies betrifft Gaspreise, kann sich jedoch auch auf Strompreise auswirken. Ereignisse wie geopolitische Spannungen und Konflikte im Nahen Osten verdeutlichen, dass in einer volatiler werdenden Welt die Kosten importierter fossiler Energieträger auch weiterhin schwer kontrollierbar sind. Ein beschleunigter Umstieg auf erneuerbare Energien in Europa mindert dieses Risiko langfristig. Dieser Ansatz bringt allerdings vorerst höhere Kosten mit sich, wie etwa gestiegene Stromsystemkosten und höhere Entgelte für Stromnetze.
- Politische Rahmenbedingungen: Die politischen Zielsetzungen entwickeln sich signifikant weiter. Einerseits findet eine Neubewertung ambitionierter Klima- und Nachhaltigkeitsziele und -vorgaben statt. Dem Gesichtspunkt internationaler Wettbewerbsfähigkeit und dem Erhalt der industriellen Produktion und Wertschöpfung wird zu Recht mehr Bedeutung beigemessen. Andererseits halten die EU und Deutschland an ihren Klimazielen fest und hinterlegen diese stärker als zuvor mit Maßnahmen, welche die Industrie entlasten und die Umsetzung erleichtern sollen, etwa durch den verstärkten Einsatz von Beihilfen. Hier besteht aus Sicht der Kalksandsteinindustrie eine deutliche Schieflage bei der Gewährung von Beihilfen, die meist nur zugunsten größerer Industriebranchen ausfallen und die vergleichsweise kleinere Kalksandsteinindustrie nicht erreichen (siehe KUEBLL-Liste).
- Wirtschaftliche Rahmenbedingungen: Die Baubranche in Deutschland befand sich in den vergangenen Jahren in einer Schwächephase, was auch zu einer geringeren Nachfrage nach Baumaterialien und verringerter Produktion der Kalksandsteinindustrie führte. Dies schränkte die finanziellen Spielräume für Investitionen ein, auch in die Dekarbonisierung.
- Die Erfahrung der vergangenen Jahre zeigt auch, dass die Umsetzung verschiedener transformativer Maßnahmen – insbesondere der Elektrifizierung und der Umrüstung auf Wasserstoff – zum Teil erst später möglich sein wird als zuvor erwartet. Im Falle der Elektrifizierung fehlt es zum einen an bezahlbarem grünen Strom, aber auch die Geschwindigkeit des Netzausbaus und die oft langen Wartezeiten für eine Erhöhung der Netzanschlussleistung einzelner Werke erweisen sich als bremsende Faktoren. Im Falle der Umrüstung auf Wasserstoff stellen sowohl die noch im Aufbau befindliche Transport- und Speicherinfrastruktur als auch die absehbar äußerst geringe Verfügbarkeit von bezahlbarem grünen Wasserstoff Hindernisse dar.
- CO_2-Entnahmen aus der Atmosphäre und CO_2 aus industriellen Feuerungsprozessen sind als notwendiger Bestandteil der Erreichung des Netto-Null-Ziels stärker in den Fokus gerückt. Die Technologien hierfür verzeichnen teils rasche Fortschritte. Im Kontext der Kalksandsteinindustrie steht mit der forcierten Recarbonatisierung eine Technologie bereit, die CO_2-Entnahmen ermöglicht und in die aktualisierte Roadmap als neue Option aufgenommen wurde.

*Die FutureCamp Climate GmbH mit Sitz in München berät seit 2001 Konzerne, regierungsnahe Behörden, Kommunen, mittelständische Unternehmen, öffentliche Bildungsträger und Unternehmensverbände in den Kompetenzfeldern Klimaschutz, Nachhaltigkeit, Energieeffizienz, Umweltmanagement und Innovation.

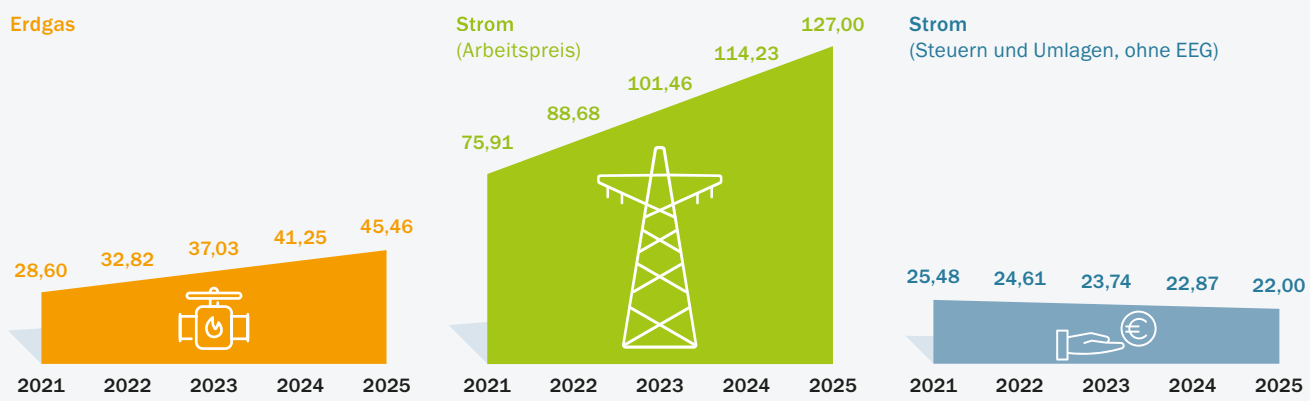
Die vorliegende Aktualisierung beinhaltet folgende konkrete Anpassungen:

- Anpassung der Berechnungen der Emissionsentwicklung und Kosten anhand neuester Aktivitätsdaten der Industrie und Annahmen zur zukünftigen Produktionsentwicklung.
- Eine Überprüfung und Anpassung der Annahmen zu Energieträgerkosten und Investitionskosten.
- Späterer Beginn der Umsetzung von transformativen Dekarbonisierungsmaßnahmen (Elektrifizierung und Nutzung von synthetischem Gas ab 2030, Wasserstoffnutzung ab 2040). Dies spiegelt die Erkenntnis wider, dass die notwendigen Voraussetzungen (Infrastruktur, Verfügbarkeit und Bezahlbarkeit der Energieträger) an vielen Standorten noch nicht zur Verfügung stehen und deren Schaffung mehr Zeit benötigen wird.
- Ergänzung der forcierten Recarbonatisierung als technische Beschleunigung der natürlichen Recarbonatisierung zur Entnahme von CO_2 aus der Atmosphäre ab 2035.

Tabelle 1 Wichtige Veränderungen zwischen den Versionen der Roadmap 2021 und 2026

Version 2021	Version 2026
Anzahl der Werke: 76	Anzahl der Werke: 67
Produktionsmenge 2021: 7,1 Mio. t	Produktionsmenge 2025: 4,7 Mio. t Hinweis für folgende Jahre: Erneuter Anstieg um 150.000 t p. a. von 2026 bis 2035
	Aktualisierte Annahmen zu Energiepreisen und Investitionskosten. Diese sind in der nachstehenden *Abbildung 1* aufgeführt.
Einschränkungen der Umsetzbarkeit von Dekarbonisierungsmaßnahmen: ■ Wasserstoffeinsatz erst ab 2027	Einschränkungen der Umsetzbarkeit von Dekarbonisierungsmaßnahmen: ■ Keine Elektrifizierung vor 2030 ■ Kein Synthesegas vor 2030 ■ Keine Wasserstoffverfügbarkeit vor 2040 Dies spiegelt aktuelle Einschätzungen zur Verfügbarkeit der relevanten Infrastrukturen und Energieträger wider.
Natürliche Recarbonatisierung: Aufnahme von 0,050 t CO_2/t Kalksandstein über 50 Jahre	Einsatz der forcierten Recarbonatisierung als technische Beschleunigung der Recarbonatisierung ab 2035 im Klimaneutralitätspfad.
Energie: Strom-Emissionsfaktor 414 g CO_2/kWh (Stommix Deutschland)	Energie: Strom-Emissionsfaktor 363 g CO_2/kWh (Strommix Deutschland) Fortschreibung der Werte zum Stromverbrauch von 2021, da 2025 wegen geringer Auslastung nicht repräsentativ.
	Kalk (Scope-3-Emissionen): Erhöhung des Emissionsfaktors auf Basis neuerer Daten aus der Emissionsdatenbank ecoinvent.
	Investitionsbudgets angepasst an Inflation und Anzahl der Werke.

Abbildung 1 **Annahmen zu Energiepreisen** (in Euro/MWh)

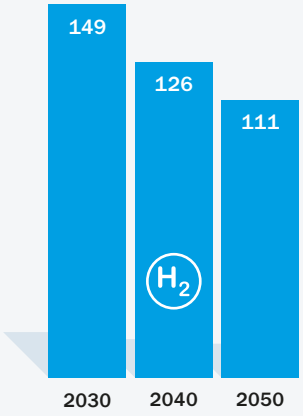


Die Preisannahmen berücksichtigen keine Inflation. Die Preise der Jahre 2022 bis 2024 ergeben sich aus einer linearen Erhöhung der Preise aus dem Jahr 2021 zu den Preisen des Jahres 2025. Fossile Brennstoffpreise werden auch in Zukunft unvorhersehbaren Schwankungen unterworfen sein. Die Annahme einer Fortsetzung der seit 2021/2022 festgestellten Preiserhöhungen ist sinnvoll.

Tabelle 2 **Annahmen zu Investitionskosten pro Aggregat**

Maßnahme	Investitionskosten in Euro
Dampferzeuger (Wasserstoff)	1.740.000
Dampferzeuger (Elektrisch)	2.312.000
Dampferzeuger (Synthesegas)	930.000
Dampferzeuger (Erdgas)	810.000
Beschleunigte Recarbonatisierung	500.000
Wärmespeicher	350.000
Schutz der Rohlinge vor Auskühlung (Vorwärmung oder Dämmung)	350.000
Wärmemanagement	350.000
Autoklaven	420.000
Verpackungsanlagen	350.000
Elektrische Stapler	550.000
Stapler (Synthetische Kraftstoffe)	370.000

Abbildung 2 **Annahmen zum Energieträger Wasserstoff**



Wasserstoff im deutschen Fernleitungsnetz (in Euro/MWh)

3. HERAUSFORDERUNGEN



Die Herausforderungen für die Kalksandsteinindustrie zur Dekarbonisierung haben sich seit der Roadmap-Version aus dem Jahr 2021 nicht grundsätzlich verändert. Jedoch ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass die Transformation im Kontext einer länger anhaltenden wirtschaftlichen Schwächephase stattfindet, welche auch und besonders die Bauindustrie in Deutschland trifft.

Energiekosten sind seit 2021 stark angestiegen und bleiben erwartbar auf einem höheren Niveau. Globale Rahmenbedingungen sind unsicherer als bei Erstellung der ersten Roadmap. Diese Bedingungen haben sich verzögernd auf die Transformation des Sektors ausgewirkt. Die anhaltende Unsicherheit hemmt Investitionen.

Wege zur Treibhausgasneutralität

Wie bereits in der Version aus dem Jahr 2021 umgesetzt, werden in der „Roadmap für eine treibhausgasneutrale Kalksandsteinindustrie in Deutschland“ drei unterschiedliche „Pfade“ (Referenzpfad, Pionierpfad und Klimaneutralitätspfad) in die Zukunft entwickelt und dargestellt.

Dabei liegt der Fokus der Szenarien immer auf den Produktionsanlagen in Deutschland und auf der Umsetzung dort möglicher technischer Maßnahmen. Hierbei werden in der aktualisierten Roadmap der Rückgang der Produktion sowie die Anlagenschließungen nach 2021 berücksichtigt, und es wird die Annahme einer allmählichen Erholung in den Jahren 2026-2035 getroffen.

Kalksandsteine nehmen im Lauf der Zeit einen beträchtlichen Teil des bei der Herstellung emittierten CO_2 wieder auf und speichern es auch dauerhaft. Dieser Vorgang wird als Recarbonatisierung bezeichnet.

Im Falle einer CO_2-neutralen Produktion von Kalksandstein bietet die Recarbonatisierung die Perspektive, dass CO_2 aus der Atmosphäre entnommen werden und die Kalksandsteinindustrie somit Negativemissionen generieren kann. Hier wird nach natürlicher und forcierter Recarbonatisierung unterschieden:

Im Zuge der natürlichen Recarbonatisierung nimmt Kalksandstein über mehrere Jahrzehnte allmählich CO_2 aus der Atmosphäre auf. Die vorliegende Roadmap setzt hierfür 50 kg CO_2 pro Tonne Kalksandstein über 50 Jahre an.

Die forcierte Recarbonatisierung dagegen beschleunigt die Recarbonatisierung mit technischen Mitteln unter Energieeinsatz, sodass das gesamte Potenzial der Recarbonatisierung sofort realisiert wird – was unter Klimaschutzgesichtspunkten sehr wesentlich ist.

Im Basisjahr 2021 betrugen die CO_2-Emissionen der Kalksandsteinindustrie 836.000 Tonnen. Hintergrund dieses höheren Ausgangswerts im Vergleich zur Roadmap-Version von 2021 ist die Verwendung eines aktuellen, höheren Emissionsfaktors für Kalk bei den Emissionsberechnungen.

Referenzpfad

Der Referenzpfad markiert den Vergleichswert für die weiteren Pfade. In diesem Pfad kommen keine neuen Technologien und Produktionsprozesse zum Einsatz; es wird davon ausgegangen, dass der Status quo fortgeschrieben wird. Effizienzsteigerungen sowie notwendige Modifikationen der Produktionsanlagen werden abgebildet. Dabei werden bereits heute bekannte externe Rahmenbedingungen zugrunde gelegt, zum Beispiel die Erreichung der Klimaneutralität im deutschen Strommix bis zum Zieljahr 2045. Der Referenzpfad schreibt die Ausgangssituation unserer Industrie im Jahr 2021 in die Zukunft fort und liefert im Vergleich mit den weiteren Pfaden entscheidende Erkenntnisse zu den entstehenden zusätzlichen Belastungen auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität für die Branche.

Pionierpfad

Im Pionierpfad werden dieselben Rahmenbedingungen wie in der Ursprungsversion aus dem Jahr 2021 verwendet. Hier werden größere eigene Anstrengungen unternommen, um dem Ziel der Treibhausgasneutralität näher zu kommen. Allerdings werden noch nicht alle dafür notwendigen Maßnahmen aufgrund bestehender Restriktionen flächendeckend umgesetzt. Vor allem sehr innovative Änderungen werden nur von „Pionieren“ der Branche vorgenommen – sie geben daher diesem Szenario den Namen „Pionierpfad“. Hier wird zunächst neben der allgemeinen Effizienzsteigerung die zunehmende Digitalisierung des Produktionsprozesses modelliert. Nun wird der Einfluss von Pionieren herangezogen: Erste Werke setzen komplett neue Technologien ein. Ziel des Pionierpfads ist, mit betriebswirtschaftlich vertretbarem Mehraufwand den Weg zur Klimaneutralität einzuschlagen. Dennoch werden dabei an der Realität orientierte Grenzen des Machbaren definiert: Das für die Betriebe zusätzlich zur Verfügung stehende Investitionsbudget für die Umsetzung von Maßnahmen zum Klimaschutz ist begrenzt. Allerdings setzt dieser Pfad neben der Reduktion der Emissionen in den Werken bereits eine Verringerung in den Scope-3-Emissionen voraus. In diesem Zusammenhang wird insbesondere von einer Minderung der energiebedingten Vorkettenemissionen des Kalks ausgegangen.

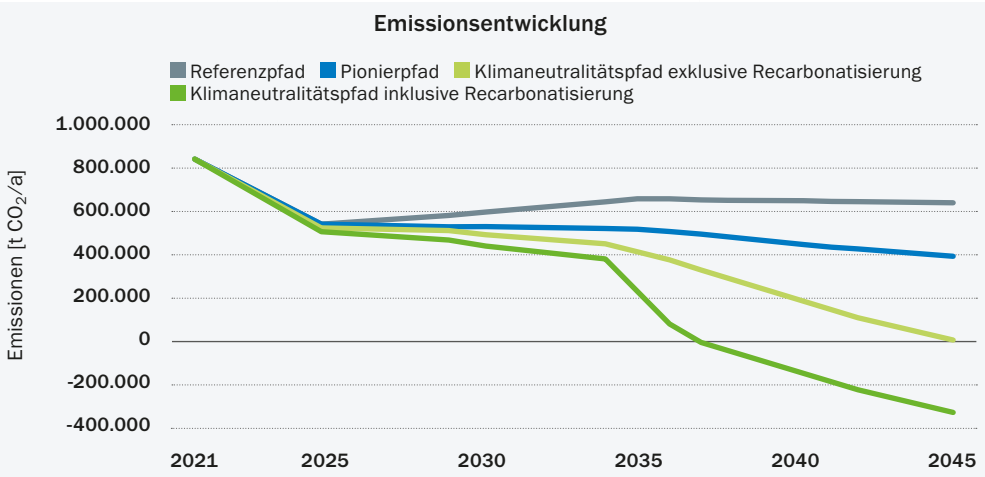
Klimaneutralitätspfad

Auch im Klimaneutralitätspfad werden dieselben Rahmenbedingungen wie in der Ursprungsversion aus dem Jahr 2021 verwendet. Es wird weiterhin und anders als im Pionierpfad auf sämtliche betriebswirtschaftliche Restriktionen verzichtet. In diesem Pfad wird ermittelt, welche Investitionen nötig sind, um sämtliche notwendigen Maßnahmen zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 umzusetzen. Die Reduktion der Emissionen auf null bis 2045 wird durch eine Umsetzung aller möglichen Maßnahmen bis zur Zielerreichung rechnerisch erzwungen. In diesem Pfad wird der gesamte Produktionsprozess der deutschen Kalksandsteinindustrie auf neue Technologien umgestellt. Auch die Scope-3-Emissionen werden insbesondere mithilfe von Maßnahmen in der Vorkette bei der Kalkproduktion vollständig reduziert. Die dabei entstehenden Kosten werden bestimmt und interpretiert.

Als Neuerung im Update der Roadmap wird ab 2035 die forcierte Recarbonatisierung in allen Werken umgesetzt. Somit werden alle CO_2-Entnahmen, die sonst über mehrere Jahrzehnte hinweg stattfinden, sofort realisiert.

Die Emissionsentwicklungen unter den Pfaden im Überblick

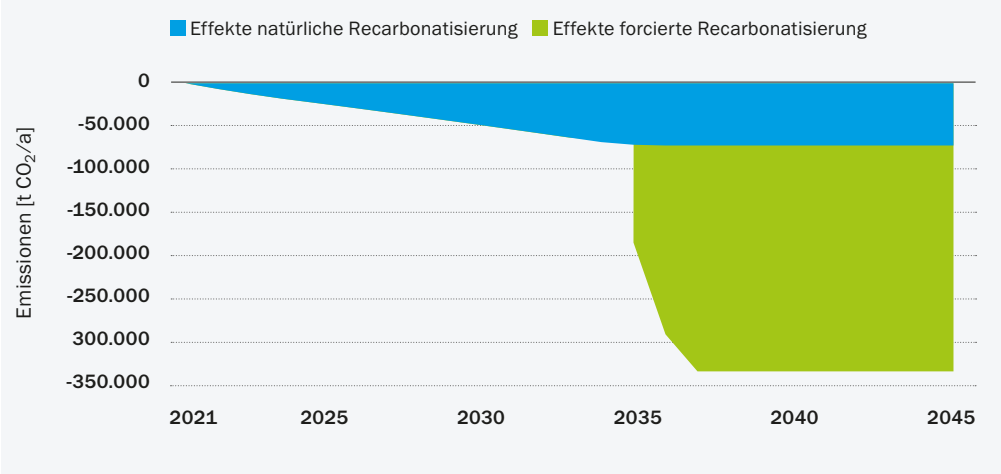
Tabelle 3 **Übersicht der Emissionsentwicklung der drei betrachteten Pfade**
Klimaneutralitätspfad jeweils inklusive und exklusive Recarbonatisierung

	Referenzpfad	Pionierpfad	Klimaneutralitätspfad
Beschreibung Maßnahmen		Zusätzliche Maßnahmen gegenüber Pfad 1 (nicht abschließend):	Zusätzliche Maßnahmen gegenüber Pfad 1 und 2 (nicht abschließend):
	■ Kontinuierliche Effizienzsteigerung beim Einsatz der Energieträger (interner Einflussfaktor) ■ Austausch Dampferzeuger ■ Reduktion Emissionsfaktoren Strom und Erdgas (externer Einflussfaktor)	■ Digitalisierung des Produktionsprozesses ■ Einsatz von 10 Wasserstoffdampferzeugern ■ Umsetzung Wärmemanagement ■ Reduktion Kalkgehalt auf 6 % bis 2045 ■ Reduktion Emissionsfaktor Kalk um 1/3	■ Austausch Dampferzeuger (inkl. Brennstoffwechsel) ■ Umsetzung Wärmemanagement ■ Ersatz Wärmespeicher ■ Umstellung (Werks-)Verkehr ■ Reduktion Kalkgehalt auf 5 % bis 2045 ■ Reduktion Emissionsfaktor Kalk auf null **Darstellung inklusive Recarbonatisierung:** ■ Forcierte Recarbonatisierung ab 2035 ■ Miteinberechnung der natürlichen Recarbonatisierung durch den 2021 bis 2035 produzierten Kalksandstein
Verlauf CO_2-Emissionen			
Emissionsentwicklung	**Bis 2030:** ■ Senkung auf 590 Tsd. t CO_2	**Bis 2030:** ■ Senkung auf 526 Tsd. t CO_2	**Bis 2030:** ■ Exklusive Recarbonatisierung: Senkung auf 486 Tsd. t CO_2 ■ Inklusive Recarbonatisierung: Senkung auf 439 Tsd. t CO_2
	Bis 2045: ■ Senkung (im Vergleich zum Jahr 2021) auf 637 Tsd. t CO_2. Erneuter leichter Anstieg der Emissionen im Vergleich zu 2030 aufgrund wieder angestiegener Produktion.	**Bis 2045:** ■ Senkung auf 388 Tsd. t CO_2	**Bis 2045:** ■ Exklusive Recarbonatisierung: Senkung auf 0 t CO_2 ■ Inklusive Recarbonatisierung: Senkung auf -333 Tsd. t CO_2

Die Wirkung der natürlichen und forcierten Recarbonatisierung und Implikationen für Negativemissionen

Abbildung 4 stellt die Wirkung der natürlichen und – ab deren Umsetzung – der forcierten Recarbonatisierung dar. Hierbei stellt die blaue Fläche diejenigen CO_2-Entnahmen dar, die auf dem Wege der natürlichen Recarbonatisierung in allen von 2021-2034 produzierten Kalksandsteinen jährlich erfolgt. Da die Recarbonatisierung in diesem Bestand über Jahrzehnte stattfindet (Annahme: 50 Jahre), finden diese Entnahmen über den verbleibenden Betrachtungsraum der Roadmap weiter in Höhe von rund 70.000 t CO_2 pro Jahr statt.

Abbildung 4 Effekte der Recarbonatisierung



Ab 2035 findet die Umsetzung der forcierten Recarbonatisierungstechnologie statt. Sobald diese in einem Werk vollzogen ist, wird ab diesem Zeitpunkt das vollständige Recarbonatisierungspotenzial aller im Werk produzierter Steine unmittelbar realisiert. Dieser Effekt wird durch die grüne Fläche als Wirkung pro Jahr dargestellt. Die Umrüstung ist hier angenommen bis zum Ende des Jahres 2036 in allen Werken abgeschlossen, zudem bleibt die Produktion ab dem Jahr 2036 wieder konstant. Somit bleibt die CO_2-Entnahme ab 2037 bis zum Ende des Betrachtungszeitraums konstant bei rund 340.000 Tonnen CO_2 pro Jahr. Wichtig ist zu betonen, dass diese Darstellung keine kumulierte, sondern eine Darstellung der Wirkung pro einzelnes Jahr zeigt.

Zur Anrechenbarkeit der forcierten Recarbonatisierung gilt, dass diese in den Fällen als Emissionsminderung einzuordnen ist, wenn sie fossile Emissionen aus der Produktion aufnimmt. Falls die Produktion bereits dekarbonisiert stattfindet, handelt es sich grundsätzlich um eine CO_2-Entnahme aus der Atmosphäre (Negativemission). Zu deren Anrechenbarkeit, etwa für CO_2-Entnahmezertifikate ist die Frage der Zusätzlichkeit entscheidend. Einerseits würde das CO_2 auf dem Wege der natürlichen Recarbonatisierung ohne menschliches Zutun ebenfalls aus der Atmosphäre entnommen werden. Da sich dieser Prozess jedoch über mehrere Jahrzehnte erstreckt, während derer das CO_2 in der Atmosphäre den Klimawandel weiter verschärft, stellt die frühzeitige Aufnahme der gesamten Menge durch technisch forcierte Recarbonatisierung zum Zeitpunkt der Produktion einen Mehrwert für den Klimaschutz dar. Aus diesen Gründen kann eine Zertifizierung und Anrechenbarkeit gerechtfertigt werden und sollte bei der Fortentwicklung der Regulatorik berücksichtigt werden.

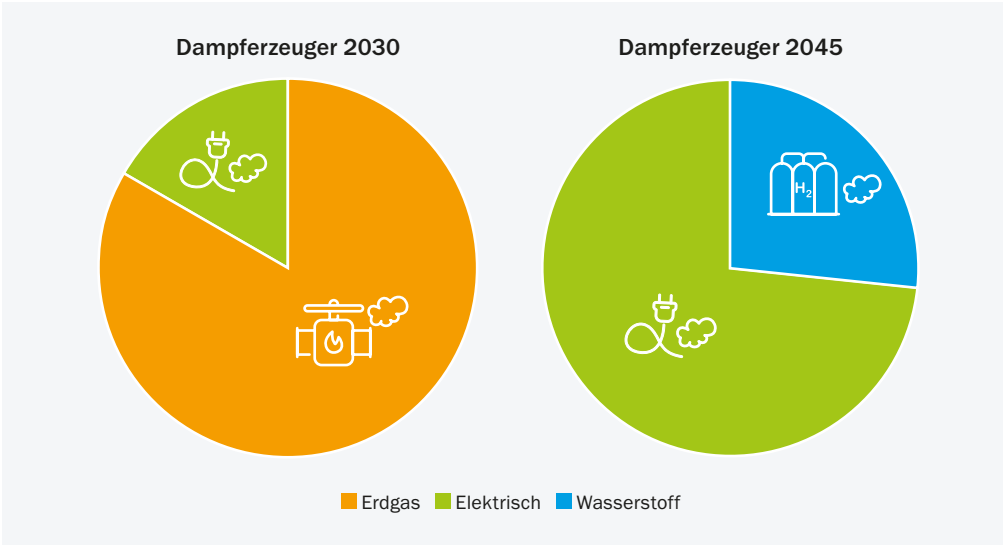
Dekarbonisierung der Dampferzeuger im Klimaneutralitätspfad

Während im Pionierpfad vorweggenommen ist, dass 10 Anlagen auf Wasserstoff umgerüstet werden, findet im Klimaneutralitätspfad eine modellbasierte Berechnung statt, bei der diejenigen Technologien zur Anwendung kommen, die unter den zugrundeliegenden Annahmen am wirtschaftlichsten sind.

Die Umsetzung von Dekarbonisierungsmaßnahmen findet ab 2030 statt. Hierbei werden zunächst sukzessive Dampferzeuger elektrifiziert, da dies gemäß den Annahmen des Modells die wirtschaftlichste Maßnahme ist. Synthetisches Gas kommt trotz geringer Investitionskosten aufgrund der hohen Brennstoffkosten nicht zum Einsatz.

Ab dem Jahr 2040 wird Wasserstoff als Dekarbonisierungsmaßnahme verfügbar und bis zum Zieljahr 2045 werden über ein Viertel der Dampferzeuger auf Wasserstoff umgerüstet.

Abbildung 5 **Energieeinsatz zur Dampferzeugung 2030 und 2045 im Vergleich**



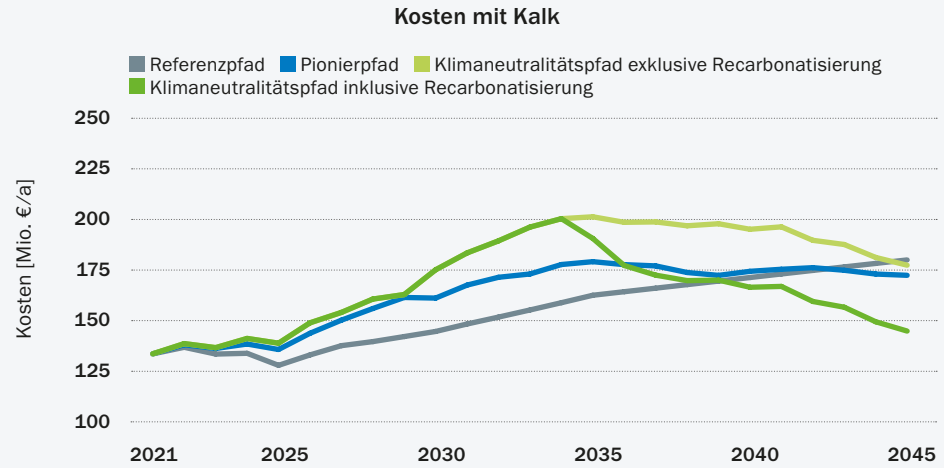


Kosten für den Referenz-, den Pionier- und den Klimaneutralitätspfad

In *Tabelle 4* sind die Kosten aufgeführt, die mit den drei Pfaden verbunden sind. Diese teilen sich auf in Energiekosten, CO_2-Kosten, Betriebskosten und Kapitalkosten.

Tabelle 4 **Übersicht der Kostenentwicklung der drei betrachteten Pfade Klimaneutralitätspfad jeweils inklusive und exklusive Recarbonatisierung**

Kostenentwicklung im zeitlichen Verlauf



	Referenzpfad	Pionierpfad	Klimaneutralitätspfad
Kostenentwicklung	144,76 Mio. Euro im Jahr 2030	161,28 Mio. Euro im Jahr 2030	175,24 Mio. Euro im Jahr 2030
	180,19 Mio. Euro im Jahr 2045	172,57 Mio. Euro im Jahr 2045	**Exklusive Investitionen in forcierte Recarbonatisierung ab 2035:** 177,51 Mio. Euro im Jahr 2045 **Inklusive Investitionen in forcierte Recarbonatisierung*:** 144,92 Mio. Euro im Jahr 2045
Wichtigste Faktoren	■ Hohe verbleibende Emissionen verursachen hohe CO_2-Kosten	■ Erhöhte Investitionen in Effizienzmaßnahmen und Dekarbonisierungsmaßnahmen bei Pionieren. ■ Gleichzeitig hohe CO_2-Kosten, da jenseits der Pionierstandorte hohe Restemissionen bestehen bleiben.	■ Hohe Investitionen in Dekarbonisierungstechnologien ■ Erhöhung der Energiekosten durch Umstieg auf Strom und Wasserstoff. Durch Anwendung von forcierter Recarbonatisierung erhöht sich der Energiebedarf weiter. ■ Reduktion der CO_2-Emissionen auf 0 reduziert CO_2-Kosten auf 0

*Bei Einsatz von forcierter Recarbonatisierung Annahme von finanziellen Erlösen aus Negativemissionen – 32,6 Mio. Euro im Jahr 2045



4. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Pfade ohne Recarbonatisierung

Durch den Rückgang der Produktion zwischen 2021 und 2026 weist der Referenzpfad in diesem Zeitraum wie die anderen Pfade einen deutlichen Emissionsrückgang aus. Da allerdings keine weiterreichenden Transformations- und Effizienzmaßnahmen stattfinden, steigen die Emissionen mit der angenommenen Steigerung der Produktion ab 2026 analog wieder an.

Im Pionierpfad gelingt es dagegen, bereits bis 2030 die Emissionen von derzeit rund 780.000 auf 526.000 Tonnen CO_2 pro Jahr zu reduzieren und dem Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 mit dann noch rund 388.000 Tonnen CO_2 deutlich näher zu kommen.

Das Ziel der Treibhausgasneutralität wird schließlich im Klimaneutralitätspfad erreicht, jedoch unter Inkaufnahme sehr hoher Kosten.

Klimaneutralitätspfad mit Recarbonatisierung

Bei Betrachtung des Klimaneutralitätspfades unter Berücksichtigung des Recarbonatisierungseffekts kann die Kalksandsteinindustrie über die Klimaneutralität hinaus durch die forcierte Recarbonatisierung ab dem Jahr 2037 sogar „klimapositiv“ werden.

Die für das Jahr 2045 errechneten Negativemissionen belaufen sich auf 333.000 Tonnen CO_2. Somit bleibt ein gewisser Spielraum, sollte es der Kalkindustrie nicht gelingen, sämtliche Prozessemissionen abzuscheiden und zu speichern, oder sofern die Vorkettenemissionen aus der Kalkproduktion oder anderer Stoffe, die die Kalksandsteinindustrie benötigt, nicht gänzlich vermieden werden können. Falls die resultierenden Negativemissionen finanziell vergütet werden, würde dies zudem einen wertvollen Weg zur Finanzierung der Dekarbonisierung der Kalksandsteinindustrie eröffnen.

Vergleich der Ursprungsversion der Roadmap und der Aktualisierung 2.0

Nachstehend sind die wichtigsten Veränderungen in der aktualisierten Roadmap gegenüber der ersten Version zusammengefasst.

Tabelle 5 Wichtige Veränderungen zwischen den Versionen der Roadmap 2021 und 2026

Version 2021	Version 2026
Stabiles Produktionsniveau	Produktionsrückgang geht mit deutlichen Emissionsrückgängen in allen Pfaden zwischen 2021 und 2026 einher. Der Referenzpfad verzeichnet mit Erholung der Produktion steigende Emissionen.
Produktionsmenge 2021: 7,1 Mio. t	Ergänzung der forcierten Recarbonatisierung ab 2035 führt zu einem erheblichen Emissionsrückgang im Klimaneutralitätspfad.
Der Klimaneutralitätspfad erreicht mit der Dekarbonisierung der Dampferzeuger und Effizienzmaßnahmen sowie der Reduktion der Vorkettenemissionen zum Jahr 2045 die Klimaneutralität. Der Pionierpfad verzeichnet im Jahr 2045 noch deutliche Restemissionen.	Durch die forcierte Recarbonatisierung erreicht der Klimaneutralitätspfad bereits 2037 Netto-Null-Emissionen und erreicht im Jahr 2045 deutliche Negativemissionen.
Die Kalksandsteinindustrie kann die Klimaneutralität erreichen.	Die Kalksandsteinindustrie kann die Klimaneutralität erreichen. Die forcierte Recarbonatisierung kann zusätzlich CO_2 aus der Atmosphäre entnehmen, welches dort sonst über Jahrzehnte verblieben wäre und den Treibhauseffekt verstärkt hätte, bevor es durch die natürliche Recarbonatisierung entnommen worden wäre. Somit kann die Kalksandsteinindustrie durch technische Maßnahmen den Beitrag der Recarbonatisierung vorziehen und unmittelbar zur Geltung bringen und so die weitere Treibhausgaswirkung des eingespeicherten CO_2 vermeiden.

Abbildung 6 stellt die Emissionsentwicklungen der Pfade in der ersten Version der Roadmap aus dem Jahr 2021 und dieser Version dar. Die Emissionsentwicklungen der Pfade in der ersten Version sind mit gestrichelten Linien dargestellt, die Emissionsentwicklungen in der aktualisierten Version werden mit durchgezogenen Linien dargestellt.

Deutlich sichtbar ist der starke Rückgang der Emissionen durch den Rückgang der Produktion zwischen 2021 und 2025. Da das Produktionsniveau von 2021 trotz Erholung nicht gänzlich erreicht wird, liegen Referenzpfad und Pionierpfad unterhalb des Emissionsverlaufs aus der ersten Version.

Dieser Emissionsrückgang ist isoliert betrachtet aus Sicht des Klimaschutzes positiv, jedoch ist deutlich hervorzuheben, dass Deutschlands Klimaziele nicht durch den Rückgang der industriellen Produktion erreicht werden sollten, da mit diesem der Verlust von Wirtschaftskraft und hochwertigen Arbeitsplätzen einhergeht.

Abbildung 6 **Vergleich der Emmissionsentwicklung zwischen den Versionen der Roadmap 2021 und 2026**

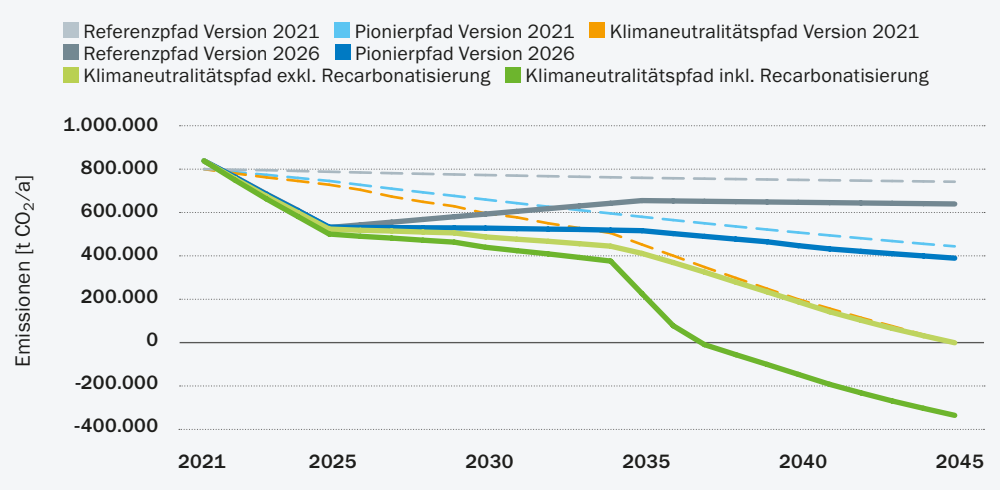
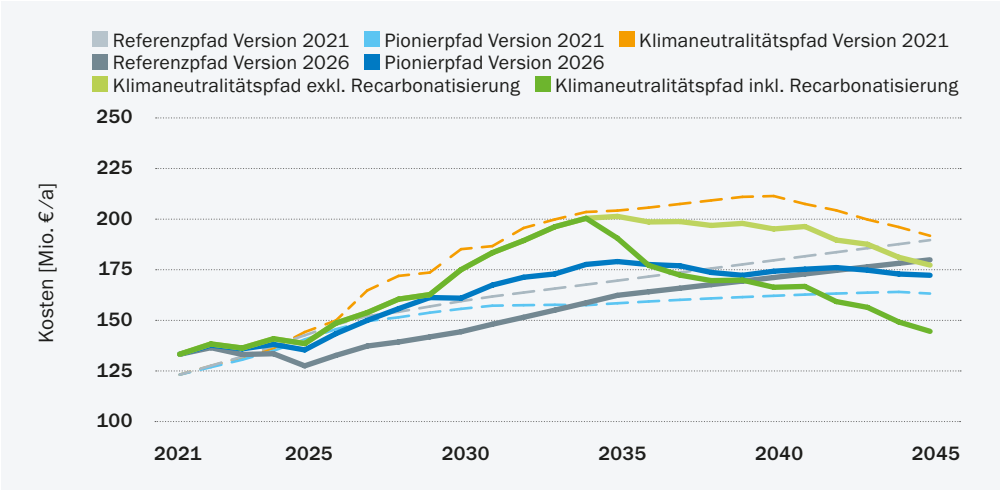


Abbildung 7 zeigt die Kostenentwicklung der unterschiedlichen Pfade in der ersten Version der Roadmap aus dem Jahr 2021 und dieser Version. Unterschiede beim Referenzpfad und dem Pionierpfad zwischen beiden Versionen lassen sich vor allem auf die veränderten Annahmen zur Produktion zurückführen, wobei mit höheren Produktionsvolumen in diesen Pfaden höhere CO_2-Emissionen und somit CO_2-Kosten einhergehen.

Die signifikanteste Veränderung ergibt sich im Klimaneutralitätspfad aus der Umsetzung der forcierten Recarbonatisierung ab 2035. Hierdurch wird eine schnelle Absenkung der Emissionen (beziehungsweise ein Ausgleich der verbleibenden fossilen Emissionen) auf 0 ermöglicht, wodurch die CO_2-Kosten entfallen. Darüber hinaus entstehen unter der Annahme der wirtschaftlichen Verwertbarkeit von entnommenem CO_2 durch die forcierte Recarbonatisierung auch Einkommensströme, die den höheren Investitions- und Energiekosten entgegenwirken. Unter dieser Annahme ergibt sich, dass der Klimaneutralitätspfad mit forcierter Recarbonatisierung ab circa 2040 die geringsten Kosten aller Pfade aufweist.

Abbildung 7 **Vergleich der Kostenentwicklung zwischen den Versionen der Roadmap 2021 und 2026**



5. SCHLUSSFOLGERUNGEN



Die Kalksandsteinindustrie in Deutschland stellt sich den wichtigsten Zukunftsfragen. Dazu zählt ganz unmittelbar der Erhalt der Produktion und hochwertiger Arbeitsplätze in Deutschland und damit einhergehend Fragen der Wettbewerbsfähigkeit und der Rahmenbedingungen am Standort.

Des Weiteren verdeutlichen zwei fossile Energiepreisschocks innerhalb von fünf Jahren, ausgelöst durch die Kriege in der Ukraine und im Mittleren Osten, dass Europa und seine Industrie die Abhängigkeit von importierten fossilen Energieträgern deutlich verringern müssen. Dies fügt der klimapolitischen Dimension von Dekarbonisierung und der Energiewende eine dringliche geopolitische Dimension hinzu, die mit der Souveränität Europas und dem Erhalt seiner industriellen Struktur verknüpft ist.

Weiterhin bleibt die Erreichung der Klimaneutralität ein langfristiges Ziel. Wir stehen in der Verantwortung, den Übergang nachhaltig zu gestalten. Dabei sehen wir uns vielen Ungewissheiten gegenüber. Fest steht: Wir müssen und werden neues technologisches Terrain betreten und die ganze Innovationskraft unserer Industrie aktivieren.

Nur so können wir als Kalksandsteinindustrie unseren Teil zum Erreichen der Klimaziele beitragen und unsere Ökobilanz stetig weiter verbessern. Dies wird trotz fortlaufender und intensiver Praxisforschung nur durch ganz erhebliche finanzielle Anstrengungen in den Betrieben möglich sein.

Gleichzeitig wird deutlich: Wichtige Grundvoraussetzungen für die Bewältigung der oben geschilderten Zukunftsfragen müssen politisch hergestellt und koordiniert werden. Infrastruktur, Energiekosten und Bürokratieabbau zählen dazu. Auch eine Förderpolitik, die für den Mittelstand zugänglich ist, ist Teil der Voraussetzungen. Denn: Höhere CO_2-Preise werden zwar einen spürbaren Kosteneffekt haben und auch Anreize setzen – jedoch allein bei Weitem nicht ausreichen, um wirtschaftliche Anreize für Investitionen in Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen in der Kalksandsteinindustrie zu schaffen.

Die deutlich höheren energiebezogenen Kosten der möglichen technologischen Alternativen, insbesondere in der Dampferzeugung, überwiegen die Kostenreduktionseffekte durch niedrigere Emissionen erheblich. Diese Lücke muss durch geeignete politische Maßnahmen geschlossen werden.

Maßnahmen der Kalksandsteinindustrie

Die deutsche Kalksandsteinindustrie wird ihren Beitrag zum Klimaschutz leisten! Besonders relevante Maßnahmen für die Emissionsreduktion in den Produktionsprozessen unserer Industrie sind dabei:

- **Optimiertes Wärmemanagement in den Werken.**
- **Brennstoffwechsel für die Dampferzeugung, weg von fossilen Energieträgern und hin zur direkten Nutzung von Strom oder Wasserstoff.**
- **Effizienzmaßnahmen durch weitere Digitalisierung.**
- **Umstellung des Fuhrparks auf Fahrzeuge mit Elektroantrieben.**
- **Reduktion des Kalkanteils in den Produkten.**
- **Weitere gemeinsame Anstrengungen in Forschung und Entwicklung für klimafreundlichere Produkte.**
- **Einsatz der forcierten Recarbonatisierung als Möglichkeit die Kalksandsteinindustrie über die Klimaneutralität hinaus zu Negativemissionen zu führen.**
- **Überzeugung und frühzeitige Einbindung von regionalen und lokalen politischen Entscheidungsträgern, um Hürden für die Umsetzung von Maßnahmen frühzeitig zu identifizieren und zu adressieren.**

Grundlage für die Umsetzung dieser Maßnahmen sind hohe Investitionen unserer Werke in Innovationen, die allerdings zu relevant steigenden Kosten führen. Unsere mittelständisch geprägte Industrie braucht daher die Unterstützung der politischen Entscheidungsträger.

Unsere Forderungen an die Politik

Die natürliche Recarbonatisierung durch Kalksandstein sollte bei der Berechnung der Emissionsfaktoren für Kalksandstein mindernd anerkannt werden – etwa in Normen zu Life-Cycle-Analysen mit entsprechend langfristigem Zeithorizont. So ist es bereits gelungen, technische Normen, wie beispielsweise DIN SPEC 19458, DIN SPEC 91506 und DIN SPEC 91606, so anzupassen, dass sie die (natürliche) Recarbonatisierung berücksichtigen. An diese Erfolge will der Bundesverband Kalksandsteinindustrie weiter anknüpfen.

Darüber hinaus sollte für die forcierte Recarbonatisierung auch die Möglichkeit der Anerkennung als dauerhafte technische CO_2-Entnahme im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems ETS – auf Basis der Carbon Removal and Carbon Farming Verordnung (CRCF) und der dazugehörigen Methodiken und Verfahren – ernsthaft geprüft werden. Die forcierte Recarbonatisierung zieht mit technischen Mitteln den sonst langfristigen Effekt der natürlichen Recarbonatisierung vor. Somit vermeidet sie durch eine unmittelbare und permanente CO_2-Einspeicherung, dass das CO_2 erst über Jahrzehnte in der Atmosphäre verbleibt und den Klimawandel verstärkt, bevor es entnommen wird. Dies stellt angesichts rapide schrumpfender Emissionsbudgets und wachsender Schäden durch den Klimawandel einen realen Mehrwert für den Klimaschutz dar.

Die Kalksandsteinindustrie benötigt ein wirtschaftsfreundliches, zukunftsfähiges Umfeld mit Standortbedingungen, die Ihre Wettbewerbsfähigkeit nicht weiter beeinträchtigen.
Dazu zählen unter anderem:

- die Verfügbarkeit von regenerativ erzeugtem und bezahlbarem Wasserstoff und Strom;
- eine leistungsfähige Netz-Infrastruktur;
- die Beschleunigung von Genehmigungsverfahren;
- deutlich größere staatliche Anstrengungen in Forschung und Entwicklung.

Für die Kalksandsteinindustrie ist eine gezielte politische und förderseitige Unterstützung von KI-basierten Anwendungen erforderlich, um Daten aus Produktion, Qualitätssicherung und Nachhaltigkeitsbewertung nutzbar zu machen, Prozesse effizienter zu steuern und neue Ansätze zur CO_2-Minderung, Ressourcenschonung und Qualitätssicherung schneller in die industrielle Praxis zu überführen.



Gezielte staatliche Förderprogramme für Investitionen in den Unternehmen, beispielsweise im Bereich der Anlagentechnik, um deren erhebliche finanzielle Belastungen zu dämpfen und mittels Modernisierung zugleich schneller zu Emissionsreduktionen zu kommen.

Eine deutliche Dämpfung der stark steigenden Energiekosten, zum Beispiel für Wasserstoff und Strom. Hierfür sind mit Blick auf die Ergebnisse dieser Roadmap nicht nur Investitionszuschüsse, sondern auch Förderungen, die auf die Dämpfung zusätzlicher Betriebskosten abzielen, notwendig (so wie sie in anderen Branchen, etwa für die Stahl-, Basischemie- oder Zement- und Kalkindustrie diskutiert werden).

Es muss ein Markt für in der Regel in der Markteinführung teurere, klimaneutrale Produkte geschaffen werden – dies gilt auch für den Markt für Mauerwerk. Der Staat kann und muss hier Vorreiter sein.

Die Dekarbonisierung der Vorkettenemissionen der Kalksandsteinindustrie hängt von der Dekarbonisierung der Kalkindustrie ab. Diese benötigt ebenfalls ausreichende Anreize und Unterstützung, um klimafreundlichere Rohstoffe für unsere Industrie zur Verfügung zu stellen.

6. FAZIT



1. Klimaneutralität ist für die Kalksandsteinindustrie erreichbar.

2. Die forcierte Recarbonatisierung kann einen Beitrag zur aktiven Entnahme von CO_2 aus der Atmosphäre leisten.

3. Die benötigte Infrastruktur für Strom und Wasserstoff muss geschaffen werden.

4. Die Verfügbarkeit klimaneutraler Energieträger muss hergestellt und gewährleistet werden.

5. Höhere CO_2-Preise allein fördern die Transformation nicht ausreichend. Wirtschaftliche Anreize sind für schnelle Umsetzung unerlässlich. Dazu zählen auch grüne Leitmärkte für Mauerwerk.

6. Die Erreichung der Netto-Null-Emissionen beziehungsweise Netto-Negativ-Emissionen durch die Kalksandsteinindustrie hängt von der Dekarbonisierung der Kalkproduktion ab.

Die Ergebnisse der „Roadmap 2.0 für eine treibhausgasneutrale Kalksandsteinindustrie in Deutschland“ zeigen, dass die Kalksandsteinindustrie bis 2045 klimaneutral werden und bereits bis 2030 mit erheblichen Emissionsreduktionen zu europäischen und nationalen Klimaschutzzielen beitragen kann.

Unter Berücksichtigung und Anerkennung der forcierten Recarbonatisierung ist es sogar möglich, dass die Branche klimapositiv wird – also in den Produkten mehr CO_2 eingelagert, als in der gesamten Produktionskette einschließlich der vorgelagerten Produktion von Kalk freigesetzt wird.

Es ist für die Kalksandsteinindustrie deshalb von elementarer Bedeutung, dass die besonders relevanten politischen Rahmenbedingungen jetzt schnell und nachhaltig gesetzt, die zwingend notwendigen Förderprogramme auf den Weg gebracht und bestehende Entlastungen erhalten werden. Nur dann können in unseren Unternehmen die notwendigen Investitionsentscheidungen zur Erreichung der Klimaziele getroffen werden.

IMPRESSUM

Herausgeber:	Kalksandstein-Dienstleistung GmbH Entenfangweg 15 30419 Hannover
Redaktion:	Roland Meißner
Design:	360° Design, Krefeld
Bildnachweise:	Titelseite, S. 2: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e. V. (TommL | iStockphoto); S. 4, 5, 15: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e. V.; S. 6: Simon Dux; S. 10: mitifoto (Adobe Stock); S. 17: patpitchaya (Adobe Stock); S. 20: michelangelus (iStockphoto); S. 23: elxeneize (Adobe Stock); S. 24: lovelyday12 (Adobe Stock); S. 27: 360° Design
Stand:	Oktober 2026

IHRE ANSPRECHPARTNER ZUM THEMA ROADMAP 2.0

Dr.-Ing. Wolfgang Eden
wolfgang.eden@kalksandstein.de
Telefon: 0511/279 54-60

Dr.-Ing. Zakaria Istanbuly
zakaria.istanbuly@kalksandstein.de
Telefon: 0511/279 54-62

Unser Beitrag zum Umweltschutz: Gedruckt auf 100% Recyclingpapier, FSC®-zertifiziert



Bundesverband
KALKSANDSTEIN
Industrie e.V.

Kalksandstein-Bauberatung Bayern GmbH
Günthersbühler Straße 10
90571 Schwaig b. Nürnberg
Telefon: 0911 | 99585-0
info@ks-bayern.de
www.ks-bayern.de

Kalksandsteinindustrie Nord e. V.
Lüneburger Schanze 35
21614 Buxtehude
Telefon: 04161 | 7433-60
info@ks-nord.de
www.ks-nord.de

Verein Süddeutscher Kalksandsteinwerke e. V.
Rheinstraße 120
77866 Rheinau-Freistett
Telefon: 07844 | 405-370
info@ks-sued.de
www.ks-sued.de

Kalksandsteinindustrie West e. V.
Zum Vogelsberg 12
45721 Haltern am See
Telefon: 0160 | 8492836
info@ks-west.de
www.ks-west.de

Kalksandstein-Dienstleistung GmbH
Entenfangweg 15
30419 Hannover
info@kalksandstein.de
www.kalksandstein.de
kalksandsteinindustrie
kalksandstein
company/kalksandsteinindustrie