



ROADMAP PORENBETONINDUSTRIE

Weg zu einer treibhausgasneutralen
Porenbetonindustrie in Deutschland [2045]



IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. (BVP) | Kochstr. 6-7 | 10969 Berlin
Telefon: 030/25 92 82 14 | www.bv-porenbeton.de

Verband Bauen in Weiß e.V. (VBiW) | Hohes Steinfeld 1 | 14797 Kloster Lehnin
Telefon: 03382/70 60-0 | www.vbiw.de

Redaktion

Dr. Oliver Kreft, Verband Bauen in Weiß e.V.
Petra Lieback, Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

Gestaltung

Petra Lieback, Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

Stand

Juli 2022

Haftungsausschluss

Diese Roadmap wurde nach bestem Wissen und Gewissen generiert; es wurden angemessene Maßnahmen getroffen, um sicherzustellen, dass die dargestellten Informationen fehlerfrei sind. Trotz aller Sorgfalt können sich die Informationen verändern. Die Herausgeber behalten sich das Recht vor, Änderungen oder Ergänzungen vorzunehmen.

Dennoch geben der Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. und der Verband Bauen in Weiß e.V. keine Zusicherungen und Gewährleistungen für die Richtigkeit der Informationen und getroffenen Aussagen und übernehmen keine Haftung für Ungenauigkeiten oder Unvollständigkeiten. Gegenüber Nutzern dieser Roadmap werden weder jetzt noch in Zukunft durch den Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. und den Verband Bauen in Weiß e.V., deren Mitarbeiter oder Vertreter sowie deren Mitgliedsunternehmen eine ausdrückliche oder inbe-griffene Zusicherung oder Gewährleistung gegeben oder eine Verantwortung oder Haftung übernommen. Jegliche Haftung ist hiermit ausdrücklich ausgeschlossen.

Bildnachweise

Titel: Renaturierte Sandgrube, Schlamann KG | © C. Schlamann, blickfein photography
Autoklaven | © Masa GmbH Porta Westfalica
Porenbeton-Planstein | © Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.
Mehrfamilienhäuser im Wohnquartier Lessingpark in Wolfsburg |
© Lars Behrendt, Kottenheim

S. 6: Ablaufschema Porenbetonherstellung |
© Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

S. 8: Porenbeton-Schneidanlagen | © Masa GmbH Porta Westfalica

S. 9: Autoklaven | © Masa GmbH Porta Westfalica

S. 10 Porenbetonstruktur |
+ 15: © Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

S. 15: Einfamilienhaus in Wernberg-Köblitz | © Xella Deutschland GmbH
Mehrfamilienhaus in Hamburg | © Nikolaus Herrmann, Hamburg

INHALT

1 ZIEL UND RAHMENBEDINGUNGEN DER ROADMAP 2045	4	3 CO₂-MINDERUNGSSZENARIOEN FÜR SCOPE 1- UND 2-EMISSIONEN	11
1.1 Einleitung und Ziel der Roadmap	4	3.1 Szenario 1: Minderungen der Scope 1- und 2-Emissionen der Porenbetonindustrie bis 2030	11
1.2 Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren	4	3.2 Szenario 2: Minderungen der Scope 1- und 2-Emissionen der Porenbetonindustrie bis 2045	11
2 BESCHREIBUNG DER AUSGANGSLAGE	5	4 CO₂-MINDERUNGSSZENARIOEN FÜR SCOPE 3-EMISSIONEN	12
2.1 Einteilung der Emissionquellen gemäß GHG Protocol	5	4.1 CO ₂ -arme Bindemittel	12
2.2 Porenbetonproduktion in Deutschland	5	4.2 Kreislaufwirtschaft von Porenbeton	12
2.3 Rohstoff- und Materialeinsatz in der Porenbetonproduktion und daraus bedingte Treibhausgasemissionen	7	4.3 Recarbonatisierung von Porenbeton	12
2.4 Energieverbrauch und energiebedingte Treibhausgasemissionen der Porenbetonindustrie	8	5 FAZIT	13
2.5 Treibhauspotenzial (GWP) des Baustoffs Porenbeton	10	6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND POLITISCHE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	14

1 ZIEL UND RAHMENBEDINGUNGEN DER ROADMAP 2045

1.1 Einleitung und Ziel der Roadmap

Diese Roadmap von Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. und Verband Bauen in Weiß e.V. beschreibt einen möglichen Weg und damit verbundene Maßnahmen, Aufwendungen und Voraussetzungen für die Transformation der deutschen Porenbetonindustrie zur Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045. Sie entstand unter der Einbeziehung eines Begleitkreises mit Vertretern aus Unternehmen, die in den zwei Verbänden organisiert sind.

Als Basis für die CO₂-Minderungsszenarien wurde in dieser Roadmap das Jahr 2019 zugrunde gelegt und von einem gleichbleibenden Produktionsvolumen bis zum Jahr 2045 ausgegangen. Berücksichtigt werden alle Emissionsquellen gemäß GHG Protocol aus Scope 1, 2 und 3, die für das Gesamtvolumen der Treibhausgasemissionen der Porenbetonindustrie – 12 Unternehmen mit insgesamt 24 Produktionsstätten – im Referenzjahr verantwortlich sind.

Die in der Roadmap aufgezeigten CO₂-Minderungsszenarien und ihre zeitliche Implementierung beruhen zu großen Teilen auf Annahmen, die aus externen Einflussfaktoren resultieren und wesentliche Voraussetzungen für den erfolgreichen Transformationsprozess sind. So werden Änderungen im Energiemix durch den Wegfall fossiler Energieträger und die Umstellung von konventionellem Strom auf Grünstrom aus erneuerbaren Energiequellen ebenso einbezogen wie der Einsatz von CO₂-armen Bindemitteln und das Schließen von Materialkreisläufen (Recycling von Porenbeton, Einsatz von Sekundärrohstoffen) in der Porenbetonproduktion.

Neben Investitionen in Maßnahmen zur Effizienzverbesserung bis zum Austausch bzw. zur Erneuerung von Produktionsanlagen werden auch die Kosten für die vollständige Elektrifizierung aller Produktions- und Transportprozesse (Werkverkehr) bei der Porenbetonherstellung unter Einbeziehung dieser Annahmen betrachtet.

Darüber hinaus absorbiert Porenbeton während seiner Lebensdauer durch Recarbonatisierung mehr CO₂ aus der Umgebung, als bei der Porenbetonherstellung freigesetzt wurde, und speichert es dauerhaft. Diese natürlich vorkommende chemische Reaktion trägt deutlich zur Minderung der Treibhausgasemissionen der Porenbetonindustrie bei.

Die Darstellungen in der Roadmap sind auf eine nachvollziehbare und prägnante Zusammenfassung der CO₂-Minderungsszenarien ausgerichtet. Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse dieser Roadmap werden Schlussfolgerungen und politische Handlungsempfehlungen abgeleitet, damit das Ziel einer treibhausgasneutralen Porenbetonindustrie in Deutschland bis 2045 erreicht werden kann.

1.2 Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren

Auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität steht die deutsche Porenbetonindustrie vor großen Herausforderungen. Mit Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes im August 2021 wurden die nationalen Klimaschutzvorgaben mit dem Ziel der Klimaneutralität um fünf Jahre auf 2045 vorgezogen und die Zwischenziele für 2030 mit 65 Prozent sowie für 2040 mit 88 Prozent Treibhausgasminderungen gegenüber 1990 festgelegt.

Die deutsche Porenbetonindustrie ist sich ihrer Verantwortung bewusst, die sie für die Erreichung der Treibhausgasneutralität übernehmen muss und nimmt die Herausforderungen an. Dabei sind Veränderungen von externen Rahmenbedingungen bzw. Einflussfaktoren notwendig. Denn der größte Anteil der Treibhausgase von rund 78 Prozent sind in der Porenbetonindustrie auf Emissionen vor- und nachgelagerter Lieferketten – hier hauptsächlich durch den Abbau bzw. die Produktionsprozesse der Bindemittel Zement und Kalk – zurückzuführen. Die restlichen rund 22 Prozent Treibhausgasemissionen entstehen durch den Energieverbrauch (Brennstoffe, Strom) während des Herstellungsprozesses von Porenbeton.

Der stark steigende Strombedarf durch die Elektrifizierung der Produktionsprozesse sowohl bei den Lieferketten als auch bei der Porenbetonherstellung wird in Folge enorm steigende Stromkosten nach sich ziehen. Die derzeitige rasante Steigerung des Strompreises und die nur in Deutschland anfallenden zusätzlichen Kosten pro Tonne emittiertes CO₂ bedeuten neben den hohen Investitionen in Optimierung bzw. Austausch von Produktionsanlagen für die Unternehmen erhebliche finanzielle Belastungen.

Für nachhaltige und somit auch wirtschaftlich verträgliche CO₂-Emissionsminderungsmaßnahmen der Porenbetonindustrie ist der planbare Ersatz fossiler Energieträger durch ausreichend verfügbaren und bezahlbaren Grünstrom erforderlich – auch für die Dekarbonisierung der zur Herstellung von Porenbeton benötigten Bindemittel.

Zur Wahrung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Porenbetonindustrie sind neben Veränderungen dieser externen Rahmenbedingungen bzw. Einflussfaktoren auch die Förderung von Forschung und Entwicklung in innovative Technologien und Verfahren entscheidend. Dies betrifft Transformationsprojekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette: von der Produktentwicklung (Eigenschaften und Nutzungsdauer) und Herstellung über die Digitalisierung bis hin zur Ressourceneffizienz/Kreislaufwirtschaft.

Nur so können in den Unternehmen Investitionsprozesse angestoßen und beschleunigt werden, die nicht nur mit wesentlichen Emissionsreduktionen zum Ziel der Klimaneutralität beitragen, sondern auch sozial ausgewogen und wirtschaftlich erfolgreich sind.

2 BESCHREIBUNG DER AUSGANGSLAGE

2.1 Einteilung der Emissionsquellen gemäß GHG Protocol

Das Greenhouse Gas (GHG) Protocol unterscheidet zwischen direkten und indirekten Emissionen von Treibhausgasen. Die direkte Freisetzung betrifft alle Emissionen, die ein Unternehmen selbst in die Umwelt entlässt. Indirekt sind die im Verlauf der Lieferketten von Wirtschaftspartnern freigesetzten Emissionen für z. B. Abbau, Produktion und Transport von Rohstoffen sowie Produkttransport bzw. -verteilung und Emissionen aus bereitgestellter Energie in Form von z. B. Strom.

Die Begriffe Scope 1-, 2- und 3-Emissionen beziehen sich auf diese drei Bereiche:

Scope 1: Direkte Treibhausgasemissionen im eigenen Unternehmen

Scope 2: Indirekte Treibhausgasemissionen aus der Erzeugung zugekaufter Energie

Scope 3: Indirekte Treibhausgasemissionen aus vor- und nachgelagerten Lieferketten

Die in der Roadmap der deutschen Porenbetonindustrie berücksichtigten direkten und indirekten Quellen der Treibhausgasemissionen gemäß GHG Protocol zeigt Abbildung 1.

Abbildung 1: In der Roadmap berücksichtigte Emissionsquellen aus Scope 1, 2 und 3 gemäß GHG Protocol

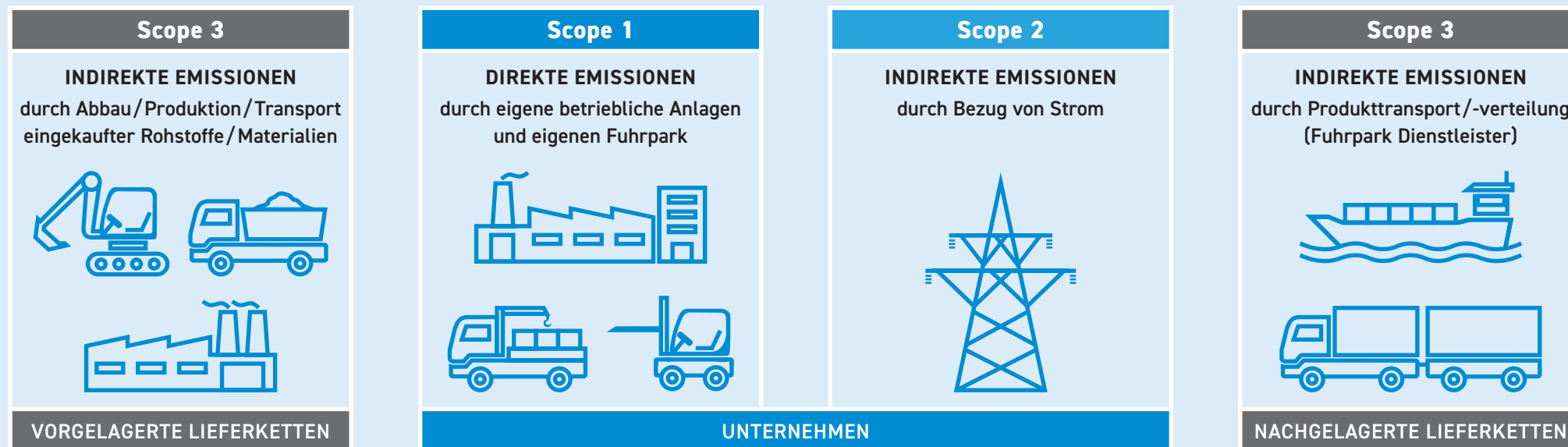
2.2 Porenbetonproduktion in Deutschland

Im Jahr 2019 erzielte die deutsche Porenbetonindustrie ein Produktionsvolumen von rd. 3.290.000 Kubikmetern Porenbeton. Davon entfielen rd. 3.110.000 Kubikmeter auf Porenbeton-Plansteine/-Planlemente für den Mauerwerksbau und rd. 180.000 Kubikmeter auf bewehrte Porenbetonelemente in Form von Wand-, Dach- und Deckenplatten (siehe Tabelle 1).

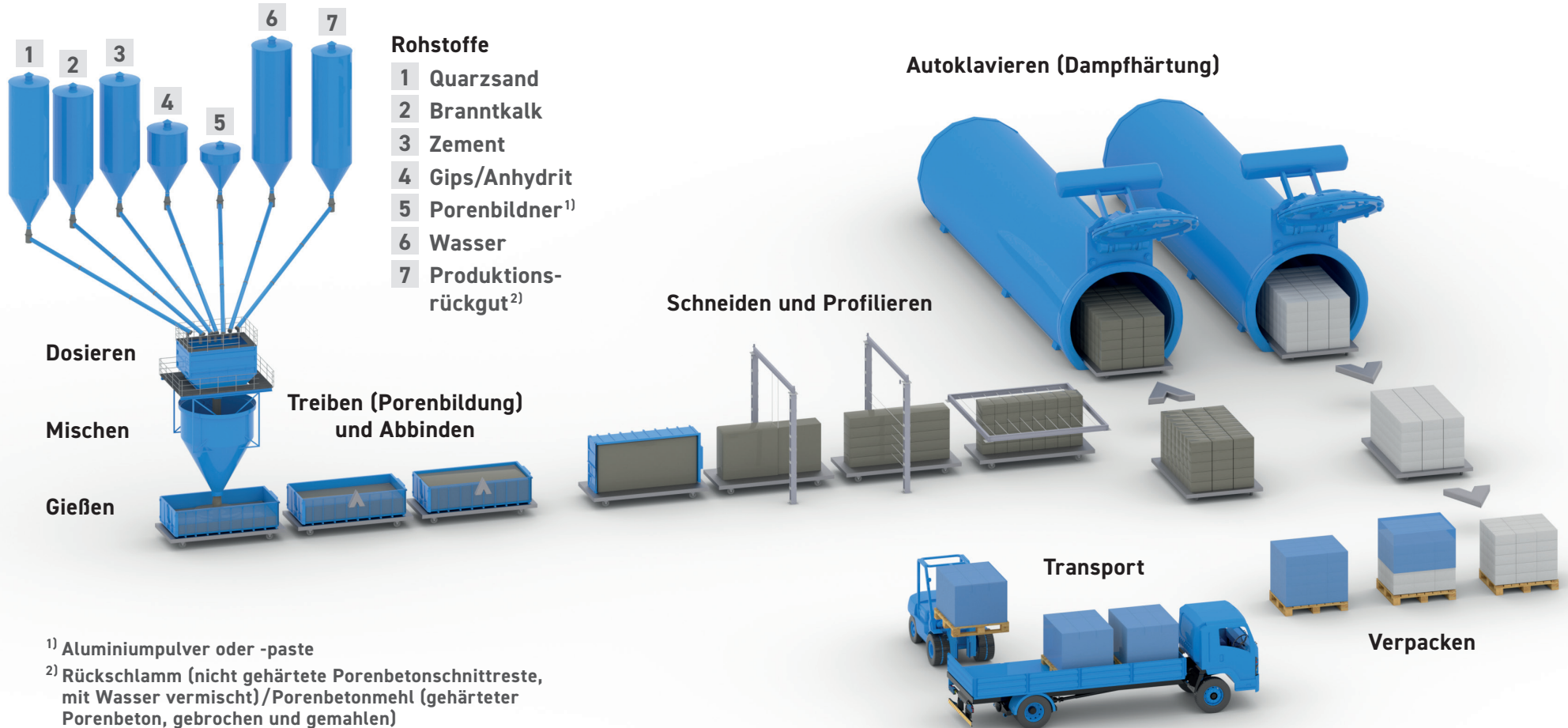
Tabelle 1: Produktionsvolumen der Porenbetonindustrie in Deutschland 2019

Produkte	Produktionsvolumen in [m³]
Porenbeton-Plansteine/-Planelemente	3.110.000
Porenbetonelemente, bewehrt	180.000
Summe	3.290.000

Quelle: Erhebungen Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. und Verband Bauen in Weiß e.V. / Destatis



Herstellung von Porenbeton - Ablaufschema



Dieses Produktionsvolumen realisierten 12 Unternehmen mit insgesamt 24 Produktionsstätten, die in den zwei Verbänden Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. und Verband Bauen in Weiß e.V. organisiert sind. Sie repräsentieren über 90 Prozent der Hersteller von Mauersteinen aus Porenbeton sowie bewehrten Porenbetonen in Deutschland.

Abbildung 2: Das Ablaufschema zeigt die Herstellung von Porenbeton-Plansteinen und-Planlementen für den Mauerwerksbau. Für bewehrte Porenbetonen werden je nach Herstellungsverfahren korrosionsgeschützte Bewehrungskörbe vor oder unmittelbar nach dem Gießprozess eingebaut.

2.3 Rohstoff- und Materialeinsatz in der Porenbetonproduktion und daraus bedingte Treibhausgasemissionen

Die Rohstoffbasis für Porenbeton bilden Quarzsand, Zement, Branntkalk, eine geringe Menge eines Sulfatträgers in Form von Gips bzw. Anhydrit sowie Wasser. Die Rohstoffmischung enthält außerdem einen Porenbildner in Form von Aluminiumpulver/-paste.

Im Jahr 2019 wurden in der Porenbetonproduktion 841 kt Quarzsand, 324 kt Zement, 213 kt Branntkalk, 64 kt Gips bzw. Anhydrit sowie 1,8 kt Aluminiumpulver oder -paste eingesetzt. Darüber hinaus wurden in der Produktion bewehrter Porenbetonelemente 7,4 kt Bewehrungsstahl verwendet. Es wurden insgesamt 3,3 Mio. Kubikmeter Wasser verbraucht (siehe Tabelle 2).

Die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen, die bei Abbau bzw. Produktion der Porenbeton-Ausgangsstoffe (vorgelagerte Lieferketten) entstanden sind, erfolgte anhand stoffspezifischer Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 3).

Für den Abbau von Rohsand ist kein generischer Emissionsfaktor verfügbar. Da der Sandabbau im Vergleich zur späteren Aufbereitung in den Werken nur unwesentlich zur Gesamtbilanz beiträgt, wurden Energieaufwendungen hierzu vernachlässigt. Treibhausgasemissionen durch die Aufbereitung von Rohsand (Trocknen, Mahlen) sowie die Förderung von betriebseigenem Brunnenwasser resultieren aus den entsprechenden Energieverbräuchen und sind Teil der Energiebilanzierung (Tabelle 4).

Tabelle 2: Rohstoff- und Materialeinsatz in der Porenbetonproduktion in Deutschland 2019

Produkte	Quarzsand in [kt]	Zement in [kt]	Branntkalk in [kt]	Gips/Anhydrit in [kt]	Aluminiumpulver/-paste in [kt]	Bewehrungsstahl in [kt]	Wasser in [1000 m ³]
Porenbeton-Plansteine/-Planelemente	795	306	201	60	1,7	0	3.120
Porenbetonelemente, bewehrt	46	18	12	4	0,1	7,4	180
Summe	841	324	213	64	1,8	7,4	3.300

Quelle: Erhebungen Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. und Verband Bauen in Weiß e.V.

Auf den Gesamteinsatz an Ausgangsstoffen hochgerechnet wurden 2019 im Rahmen der vorgelagerten Lieferketten 532,7 kt CO₂eq emittiert. Dabei verteilte sich der Gesamtbeitrag nahezu gleichmäßig auf die Bindemittel Zement und Branntkalk – mit nur geringen Beiträgen durch Sulfatträger, Porenbildner und Bewehrungsstahl (siehe Abbildung 3).

Tabelle 3: Emissionsfaktoren und die bei Abbau bzw. Produktion entstandenen Treibhausgasemissionen der Porenbeton-Ausgangsstoffe (Rohstoffe/Materialien) in Deutschland 2019

Rohstoffe/Materialien	Spezifischer CO ₂ -Emissionsfaktor in [t CO ₂ eq/t]	Treibhausgasemissionen in [kt CO ₂ eq]	Treibhausgasemissionen in [%]
Zement	0,80 ¹⁾	258,8	48,6
Branntkalk	1,20 ²⁾	254,6	47,8
Gips/Anhydrit	0,12 ³⁾	7,7	1,4
Aluminiumpulver/-paste	3,63 ⁴⁾	6,5	1,2
Bewehrungsstahl	0,69 ⁵⁾	5,1	1,0
Summe		532,7	

Abweichungen der ausgewiesenen Treibhausgasemissionswerte sind bedingt durch Rundungsdifferenzen.

¹⁾ Gewichtet aus den Emissionsfaktoren für CEM I 42,5 und CEM II 42,5 gemäß Quellen-Datensatz „GaBi life cycle inventory data documentation“, Version 7.3, sphera®

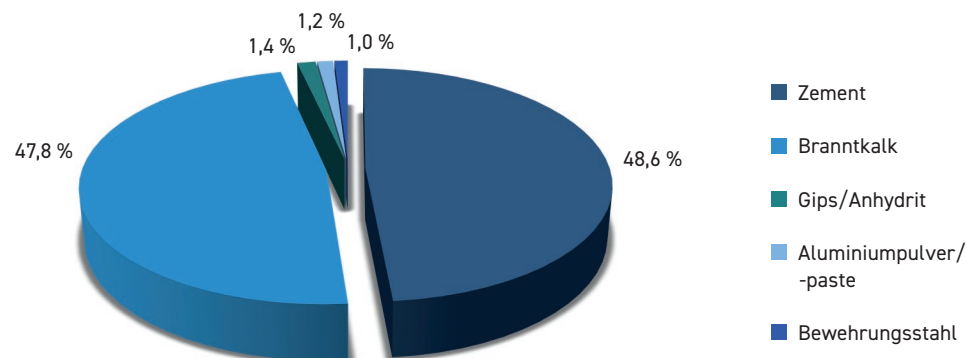
²⁾ Gemäß Quellen-Datensatz „GaBi life cycle inventory data documentation“, Version 7.3, sphera®

³⁾ CaSO₄-Beta-Halbhydrat, siehe ÖKOBAUDAT, Version: 2021-II vom 25.06.2021, Datensatz 1.1.03 Mineralische Baustoffe/ Bindemittel/Gips

⁴⁾ Mittelwert aus Herstellerangaben der für die Porenbetonbranche relevanten Aluminiumpulver/-pasten in Deutschland, 2019

⁵⁾ Siehe ÖKOBAUDAT, Datensatz: 4.1.02 Metalle/Stahl und Eisen/Betonstahlmatten

Abbildung 3: Treibhausgasemissionen aus den vorgelagerten Lieferketten der Porenbetonproduktion in Deutschland 2019 (in %): Beiträge der Rohstoffe/Materialien Zement, Branntkalk, Gips/Anhydrit, Aluminiumpulver/-paste und Bewehrungsstahl





2.4 Energieverbrauch und energiebedingte Treibhausgasemissionen der Porenbetonindustrie

Aus Erhebungen der deutschen Porenbetonindustrie¹⁾ gehen die Verbrauchszahlen zu den eingesetzten sechs Energieträgern hervor: Erdgas, Heizöl leicht, Diesel, Flüssiggas, Strom und Braunkohlestaub. Tabelle 4 sowie Abbildung 4 zeigen den Energieträgermix und Energieverbrauch der Porenbetonindustrie für das Jahr 2019: Mit 70,3 Prozent war Erdgas der dominierende fossile Energieträger, gefolgt von Flüssiggas mit 8,3 Prozent. Der Anteil des Energieträgers Strom betrug 14,3 Prozent.

Abbildung 5 zeigt den jährlichen Energieverbrauch der Porenbetonindustrie in Deutschland im Zeitraum von 2015 bis 2019. Dabei lag der Energieverbrauch im Referenzjahr 2019 bei 584,5 GWh.

Tabelle 4: Energieträgermix und Energieverbrauch der Porenbetonindustrie in Deutschland 2019

Energieträger	Energieverbrauch in [GWh]	Energieverbrauch in [%]
Erdgas	410,9	70,3
Heizöl leicht	14,0	2,4
Diesel	10,5	1,8
Flüssiggas	48,5	8,3
Strom	83,6	14,3
Braunkohlestaub	17,0	2,9
Summe	584,5	

Abbildung 4: Energieträgermix der Porenbetonindustrie in Deutschland 2019 (in %)

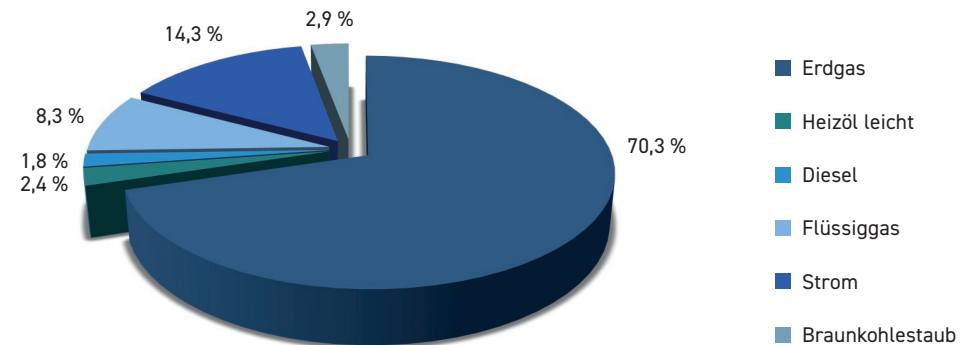
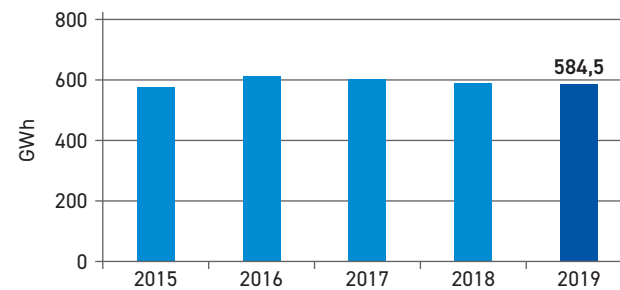


Abbildung 5: Energieverbrauch der Porenbetonindustrie in Deutschland 2015 - 2019 (in GWh)



¹⁾ Quelle: EEFA GmbH & Co KG, Münster [Hrsg.] (November 2020), Energie und Umwelt Analysen: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e.V. und des Verbandes Bauen in Weiß e.V.

Zur Bestimmung des Ausstoßes energiebedingter Treibhausgasemissionen sind neben dem Energieverbrauch Angaben zu den spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren der Energieträger erforderlich. Durch Multiplikation des jeweiligen Energieverbrauchs mit dem entsprechenden CO₂-Emissionsfaktor des eingesetzten Energieträgers ergeben sich in Summe die energiebedingten Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten (CO₂eq), wie in Tabelle 5 für die Porenbetonindustrie in Deutschland ausgewiesen. Demnach waren die Porenbetonwerke im Jahr 2019 für einen Ausstoß von 152,5 kt CO₂eq verantwortlich. Die jährlichen energiebedingten Treibhausgasemissionen der Porenbetonindustrie im Zeitraum 2015 bis 2019 zeigt Abbildung 6.

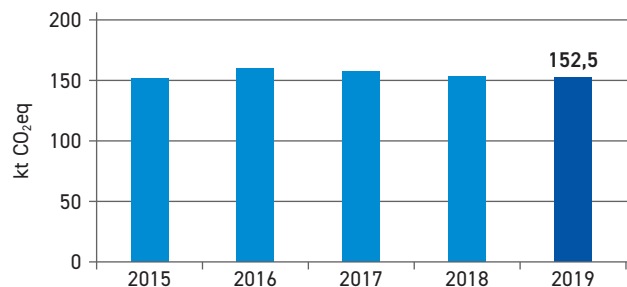
Tabelle 5: Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger und energiebedingte Treibhausgasemissionen der Porenbetonindustrie in Deutschland 2019

Energieträger	Spezifischer CO ₂ -Emissionsfaktor ¹⁾ in [t CO ₂ eq/MWh]	Treibhausgasemissionen ²⁾ in [kt CO ₂ eq]	Treibhausgasemissionen ²⁾ in [%]
Erdgas	0,202	83,0	54,4
Heizöl leicht	0,266	3,7	2,4
Diesel	0,266	2,8	1,8
Flüssiggas	0,239	11,6	7,6
Strom (Inland)	0,537	44,9	29,4
Braunkohlestaub	0,381	6,5	4,2
Summe		152,5	

¹⁾ Quelle: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle [Hrsg.] (2019), Merkblatt zu den CO₂-Faktoren

²⁾ Quelle: EEFA GmbH & Co KG, Münster [Hrsg.] (November 2020), Energie und Umwelt Analysen: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e.V. und des Verbandes Bauen in Weiß e.V.

Abbildung 6: Energiebedingte Treibhausgasemissionen der Porenbetonindustrie in Deutschland 2015 – 2019 (in kt CO₂eq)



2.5 Treibhauspotenzial (GWP) des Baustoffs Porenbeton

Aus der Summe der Scope 1-, 2- und 3-Emissionen ergibt sich gemäß GHG Protocol das Treibhauspotenzial (englisch: Global warming potential, GWP). Für den in Deutschland hergestellten Porenbeton im Referenzjahr 2019 betrug das GWP 703,1 kt CO₂eq (siehe Tabelle 6 und Abbildung 7).

Davon resultieren 152,5 kt CO₂eq (21,7 Prozent) aus dem Produktionsprozess (Scope 1- und 2-Emissionen), wobei die Erzeugung thermischer Energie aus z. B. Erdgas sowie der Stromverbrauch einen signifikanten Anteil haben.

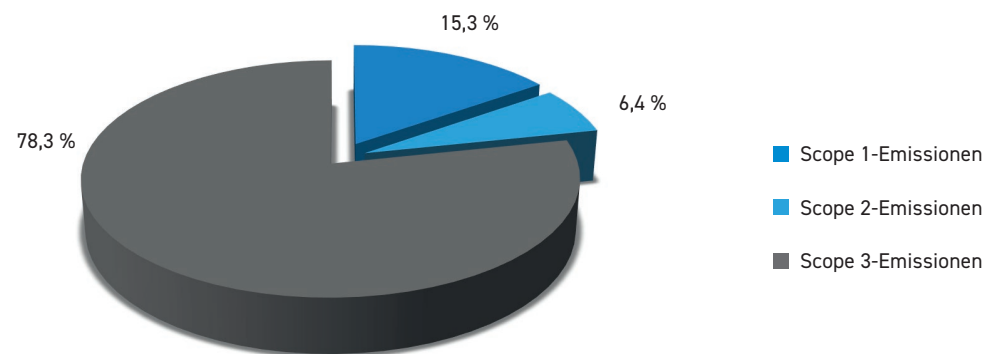
Tabelle 6: Treibhausgasemissionen der Porenbetonindustrie in Deutschland 2019 nach Emissionsquellen

Emissionsbereiche	Emissionsquellen	Treibhausgasemissionen in [kt CO ₂ eq]	Treibhausgasemissionen in [%]
Scope 1	fossile Energieträger (Erdgas, Heizöl leicht, Diesel, Flüssiggas, Braunkohlestaub)	107,6	15,3
Scope 2	Strom (Inland)	44,9	6,4
Scope 3	vorgelagerte Lieferketten (Abbau bzw. Produktion Porenbeton-Ausgangsstoffe)	532,7	75,8
	vor- und nachgelagerte Lieferketten (Transport Porenbeton-Ausgangsstoffe sowie Porenbetonprodukte)	17,9	2,5
Summe		703,1	

Auf die im Verlauf der Lieferketten (Scope 3-Emissionen) von Wirtschaftspartnern freigesetzten Treibhausgasemissionen sind insgesamt 550,6 kt CO₂eq (78,3 Prozent) zurückzuführen – und dabei insbesondere auf die der Bindemittelherstellung. Denn allein der Anteil für den Abbau bzw. die Produktion der Porenbeton-Ausgangsstoffe (vorgelagerte Lieferketten) beträgt 532,7 kt CO₂eq (75,8 Prozent).

Gemäß einer aktuellen Ökobilanz für Porenbeton¹⁾ wurden für den Transport der Porenbeton-Ausgangsstoffe zum Herstellwerk sowie den Transport der Porenbetonprodukte vom Herstellerwerk zum Verwendungsort (vor- und nachgelagerte Lieferketten) durchschnittlich 5,44 kg CO₂eq pro Kubikmeter Porenbeton emittiert. Bezogen auf die gesamte Produktionsmenge im Jahr 2019 entspricht dies 17,9 kt CO₂eq (2,5 Prozent).

Abbildung 7: Treibhausgasemissionen der Porenbetonindustrie in Deutschland 2019 nach Scopes gemäß GHG Protocol (in %)



¹⁾ Quelle: Institut für Bauen und Umwelt e.V. IBU [Hrsg.] (2021) Umweltproduktdeklaration Ytong-Porenbeton nach ISO 14025 und EN 15804+A2, EPD. Deklarationsnummer: EPD XEL 20210286 IAD1 DE, Berlin

3 CO₂-MINDERUNGSSZENARIOEN FÜR SCOPE 1- UND 2-EMISSIONEN

3.1 Szenario 1: Minderungen der Scope 1- und 2-Emissionen der Porenbetonindustrie bis 2030

Das Szenario 1 beschreibt Maßnahmen zur Effizienzverbesserung der elektrischen und verbrennungstechnischen Anlagen (siehe Tabelle 7), die Energieträgerumstellung von Heizöl leicht und Braunkohlestaub auf Erdgas, von Diesel auf Biodiesel sowie von konventionellem Strom auf Grünstrom aus erneuerbaren Energiequellen (siehe Tabelle 8).

Tabelle 7: Szenario 1 – Maßnahmen zur Effizienzverbesserung mit Minderungspotenzialen für den Endenergieverbrauch bzw. Scope 1-/2-Emissionen und dazugehörige CAPEX-Aufwendungen bis 2030

Maßnahmen zur Effizienzverbesserung	Minderungspotenziale Endenergieverbrauch bzw. Scope 1-/2-Emissionen in [%]	CAPEX-Aufwendungen in [Mio. €]
Optimierung Dampferzeugung	-5,6	21,0
Installation Photovoltaik	-1,3	1,4
Dämmung Autoklaven, Ventile, Kondensatleitungen	-1,2	4,8
Optimierung Druckluftanlagen	-0,4	2,6
Optimierung Steuerventile, Kondensatableiter	-1,4	5,9
Optimierung Brenner, Wasseraufbereitung, Speisewasservorwärmung	-0,9	6,9
Prozesswärmerückgewinnung	-2,5	19,5
Summe	-13,3	62,1

Tabelle 8: Szenario 1 – Energiemix 2030 nach Energieträgerumstellung mit Energieverbrauch und Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen

Energieträger	Spezifischer CO ₂ -Emissionsfaktor ¹⁾ in [t CO ₂ eq/MWh]	Energieverbrauch in [GWh/a]	Energieverbrauch in [%]	Verbleibende Treibhausgasemissionen in [%]
Erdgas	0,202	383,1	75,6	77,4
Biodiesel	0,096	9,1	1,8	0,9
Flüssiggas	0,239	42,1	8,3	10,1
Grünstrom	0,000	72,5	14,3	0,0
Summe		506,8		88,4

¹⁾ Quelle: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle [Hrsg.] (2019), Merkblatt zu den CO₂-Faktoren

Im Vergleich zum Referenzjahr 2019 (Gesamt-Energieeinsatz 584,5 GWh, siehe Kap. 2.4) verringert sich der jährliche Energieverbrauch durch Effizienzverbesserungsmaßnahmen um 77,7 GWh (13,3 Prozent). Der restliche jährliche Energieverbrauch von 506,8 GWh verursacht unter Berücksichtigung der Energiemix-Änderung Treibhausgasemissionen von 88,4 kt CO₂eq. Das entspricht einer Minderung von 42,1 Prozent gegenüber 2019.

Szenario 1 erfordert bis 2030 CAPEX-Aufwendungen von 62,1 Mio. Euro. Bereits 2021 entstanden zusätzliche Betriebsausgaben (OPEX) in Höhe von rd. 60 Tsd. Euro – diese erhöhen sich jährlich sukzessive auf rd. 810 Tsd. Euro im Jahr 2030.

3.2 Szenario 2: Minderungen der Scope 1- und 2-Emissionen der Porenbetonindustrie bis 2045

Szenario 2 baut auf Szenario 1 auf und beschreibt die Verringerung des jährlichen Energieverbrauchs durch weiterführende Maßnahmen zur Effizienzverbesserung (Tabelle 9) um 25,3 GWh (5 Prozent). Der verbleibende jährliche Gesamt-Energieverbrauch von 481,5 GWh wird durch die vollständige Elektrifizierung aller thermischen Produktionsprozesse und deren Betrieb mit Grünstrom bis 2045 schließlich treibhausgasneutral.

Szenario 2 erfordert CAPEX-Aufwendungen von 73,5 Mio. Euro. Die jährlichen Betriebsausgaben (OPEX) erhöhen sich jährlich sukzessive auf rd. 1,4 Mio. Euro im Jahr 2045.

Tabelle 9: Szenario 2 – Maßnahmen zur Effizienzverbesserung mit Minderungspotenzialen für den Endenergieverbrauch bzw. Scope 1-/2-Emissionen und dazugehörige CAPEX-Aufwendungen bis 2045

Maßnahmen zur Effizienzverbesserung	Minderungspotenziale Endenergieverbrauch bzw. Scope 1-/2-Emissionen in [%]	CAPEX-Aufwendungen in [Mio. €]
Optimierung Autoklavenregimes	-1,5	14,4
Kompressoren mit Wärmerückgewinnung	-0,2	2,5
Kraft-Wärme-Kopplung (Trockner + Mühle)	-0,3	3,6
Erneuerung von Dampfkesseln	-1,2	15,8
Erneuerung von Kompressoren	-0,3	6,8
Energieeffizientere Motoren	-0,4	9,9
Sonstige Maßnahmen	-1,1	20,5
Summe	-5,0	73,5

Quelle CAPEX/OPEX: Daten gemäß vom Verband Bauen in Weiß e.V. beauftragter Studie der Boston Consulting Group (BCG) sowie Erhebungen des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e.V., Betrachtungsjahr jeweils 2019.

4 CO₂-MINDERUNGSSZENARIOEN FÜR SCOPE 3-EMISSIONEN

4.1 CO₂-arme Bindemittel

Der Einsatz CO₂-armer Kalke und Zemente würde die Gesamtemissionen der Porenbetonindustrie um 426,1 kt CO₂eq reduzieren. Dieses CO₂-Minderungspotenzial beruht auf den Dekarbonisierungsszenarien und Handlungsstrategien zur Klimaneutralität der deutschen Zementindustrie. Die ebenfalls mit einbezogenen Handlungsstrategien der deutschen Kalkindustrie sind mit diesen weitgehend deckungsgleich.

Gemäß Roadmaps der deutschen Kalkindustrie¹⁾ sowie der deutschen Zementindustrie²⁾ soll CO₂-Neutralität hauptsächlich durch

- Steigerung der thermischen Effizienz,
- Einsatz von biomassehaltigen alternativen Brennstoffen,
- CO₂-arme Klinker sowie reduzierte Klinkergehalte in Zementen,
- Brennstoffumstellung (CDA),
- Abscheidung von CO₂ und dessen Nutzung und Speicherung (CCUS) sowie
- Recarbonatisierung möglich.

Die jährlichen Scope 3-Emissionen der deutschen Porenbetonindustrie lassen sich durch den Einsatz CO₂-armer Bindemittel von 550,6 kt CO₂eq im Jahr 2019 auf nur noch 124,5 kt CO₂eq im Jahr 2045 reduzieren.

(Um Doppelzählungen zu vermeiden, wurde in dieser Roadmap der deutschen Porenbetonindustrie die für Kalk und Zement reklamierten CO₂-Minderungspotenziale für die Recarbonatisierung nicht berücksichtigt.)

4.2 Kreislaufwirtschaft von Porenbeton

Die Herstellung von Porenbeton beinhaltet *per se* einen Stoffkreislauf, denn während des gesamten Produktionsprozesses entsteht kein Abfall. Nicht gehärtete Porenbetonschnittreste werden in Wasser suspendiert und gehen als sogenannter Rückschlamm direkt in die Produktion zurück. Werksinterner Porenbetonbruch wird in gemahlener Form (Porenbetonmehl) der laufenden Produktion zurückgeführt.

Ein Ziel unserer Kreislaufführung ist, dabei nicht nur Porenbetonmehl aus der Produktion einzusetzen, sondern vermehrt auch aus Porenbetonresten von Neubauvorhaben. Dies ist bereits in sehr vielen, aber noch nicht in jedem Porenbetonwerk gängige Praxis und soll mit größtmöglichen Mengen in allen Werken weiter ausgebaut werden.

Darüber hinaus muss aber auch Porenbetonmehl aus sortenreinem Altmaterial in die Kreislaufführung eingespeist werden, welches aus dem Gebäudeabbruch oder -rückbau

gewonnen werden kann. Voraussetzung dafür sind Festlegungen der Gesetzgebung, welche Kriterien Altporenbeton für das Ende der Abfalleigenschaft im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) erfüllen muss.

Porenbetonreste von Baustellen und Altporenbeton müssen zukünftig konsequent als Wertstoff im Produktionskreislauf gehalten werden. So lassen sich nicht nur Primärrohstoffe einsparen, sondern auch Abfall reduzieren und in Folge Deponien entlasten.

Durch den Auf- und Ausbau von Maßnahmen zur Kreislaufwirtschaft lassen sich rund 20 Prozent an Primärrohstoffen – darunter auch die Bindemittel Kalk und Zement – einsparen. Bezogen auf die verbleibenden Scope 3-Emissionen der deutschen Porenbetonindustrie von 124,5 kt CO₂eq entspricht dies einer weiteren jährlichen Reduzierung um 24,9 kt CO₂eq bis zum Jahr 2045.

4.3 Recarbonatisierung von Porenbeton

Durch einen Prozess, der als Recarbonatisierung bezeichnet wird, absorbiert Porenbeton während seiner Lebensdauer CO₂ und fungiert so als dauerhafte CO₂-Senke. Entsprechend einer aktuellen Ökobilanz für Porenbeton³⁾ kann ein Kubikmeter Porenbeton bei vollständiger Recarbonatisierung 76,9 kg CO₂eq absorbieren.

Forschungsergebnisse⁴⁾ zeigen, dass Porenbeton nach 40 Jahren etwa zu 70 Prozent und nach 60 Jahren vollständig recarbonatisiert ist. Unter konservativer Betrachtungsweise kann zum Ende der Nutzungsphase (mindestens 80 Jahre) ein 95-prozentiger Recarbonatisierungsgrad angenommen werden. Das bedeutet, dass im Lebenszyklus von Porenbeton der Atmosphäre mehr CO₂ entzogen wird, als bei der Porenbetonproduktion freigesetzt wurde.

Bezogen auf ein jährliches Porenbeton-Produktionsvolumen von rd. 3.290.000 Kubikmetern reduzieren sich durch die Recarbonatisierung von Porenbeton die Gesamtemissionen um weitere 253 kt CO₂eq. Die deutsche Porenbetonindustrie kann somit über das Jahr 2045 hinaus zur CO₂-Senke werden.

¹⁾ Quelle: Bundesverband der deutschen Kalkindustrie e.V. BVK [Hrsg.] (2020), Roadmap Kalkindustrie 2050: Über die klimaneutrale Produktion zur klimapositiven Industrie, Köln

²⁾ Quelle: Verein Deutscher Zementwerke e.V. VDZ [Hrsg.] (2020), Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien, Düsseldorf

³⁾ Quelle: Institut für Bauen und Umwelt e.V. IBU [Hrsg.] (2021), Umweltproduktdeklaration Ytong-Porenbeton nach ISO 14025 und EN 15804+A2, EPD. Deklarationsnummer: EPD XEL 20210286 IAD1 DE, Berlin

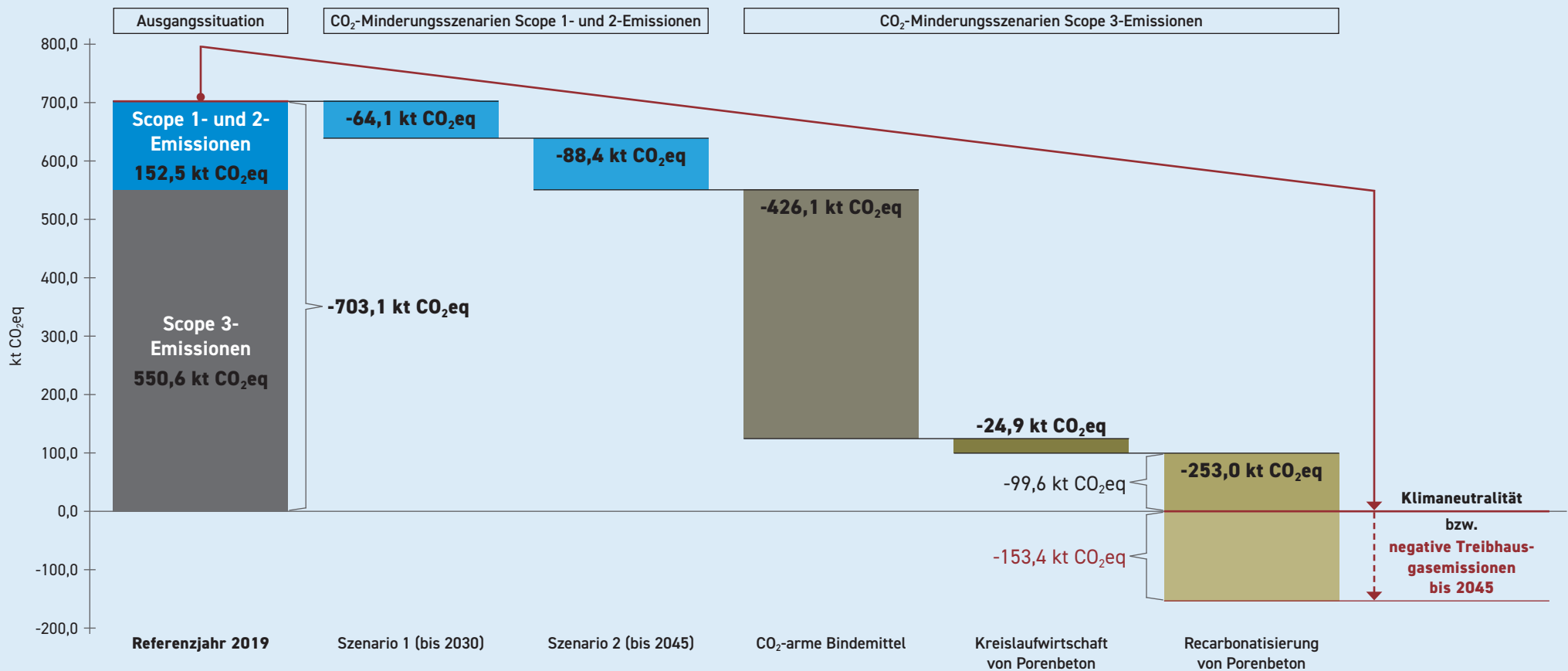
⁴⁾ Quelle: Walther, H. B. (2022), CO₂-Einbindung in Porenbeton und Kalksandstein durch Recarbonatisierung. Mauerwerk 26, H. 1, S. 21–28

5 FAZIT

Durch Maßnahmen zur Effizienzverbesserung der elektrischen und verbrennungstechnischen Anlagen in Kombination mit einem Wechsel der Energieträger (Szenario 1) sowie weiterführende Maßnahmen zur Effizienzverbesserung, die Elektrifizierung aller thermischen Produktionsprozesse und die komplette Umstellung der Energieträger auf Grünstrom (Szenario 2) können die Scope 1- und 2- Emissionen von 152,5 kt CO₂eq im Referenzjahr 2019 auf Null im Jahr 2045 reduziert werden.

Die für das Jahr 2019 ermittelten Scope 3-Emissionen von 550,6 kt CO₂eq können durch die Umstellung auf CO₂-arme Bindemittel um jährlich 426,1 kt CO₂eq sowie durch Rohstoffeinsparungen in der Herstellung von Porenbeton mittels Kreislaufwirtschaft um jährlich weitere 24,9 kt CO₂eq gemindert werden. Die CO₂-Absorption von Porenbeton durch Recarbonatisierung mit jährlich 253,0 kt CO₂eq hat schließlich das Potenzial, dass die Porenbetonindustrie im Jahr 2045 nicht nur klimaneutral sein kann, sondern darüber hinaus negative Treibhausgasemissionen erreicht werden können (siehe Abbildung 8).

Abbildung 8: "Weg zur Klimaneutralität und Erreichen negativer Treibhausgasemissionen bis 2045" der Porenbetonindustrie in Deutschland



6 SCHLUSSEFOLGERUNGEN UND POLITISCHE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

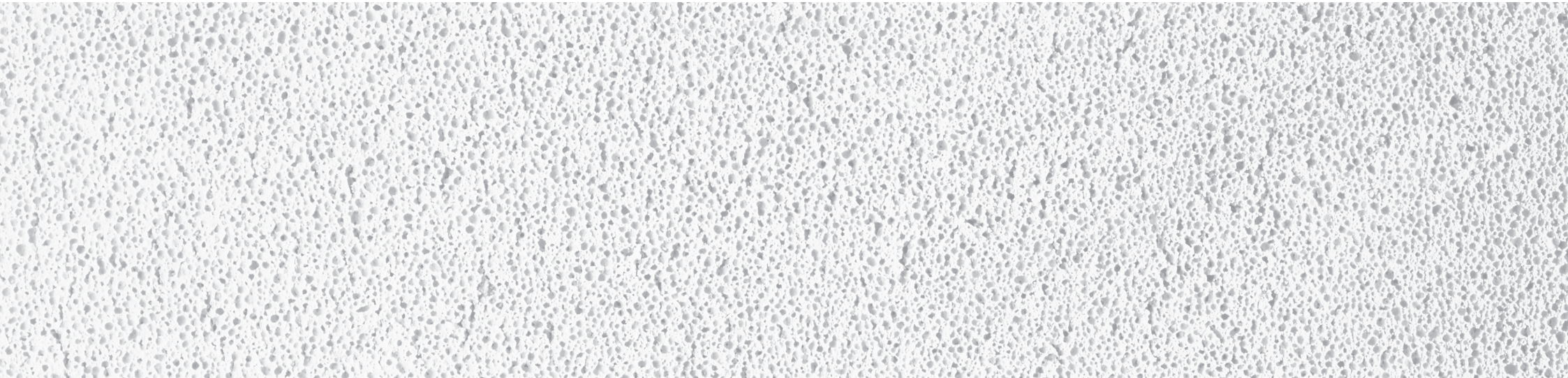
Das Fazit dieser Roadmap "Weg zu einer treibhausgasneutralen Porenbetonindustrie in Deutschland" zeigt, dass nicht nur die Transformation zur Klimaneutralität gelingen kann, sondern unter Berücksichtigung der Recarbonatisierung von Porenbeton sogar negative Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2045 erreicht werden können. Durch umfassende Maßnahmen zur Energieeffizienzverbesserung aller elektrischen und verbrennungstechnischen Anlagen über die Elektrifizierung der Produktionsprozesse bis zur kompletten Umstellung auf klimaneutrale Energieträger sowie den Maßnahmenausbau zur Kreislaufwirtschaft übernimmt die Porenbetonindustrie ihre Verantwortung zum Erreichen der Klimaziele. Mit diesem Netto-Nullemissionen-Fahrplan und dem Potenzial der Recarbonatisierung kann der Baustoff Porenbeton dazu beitragen, die Lebenszyklusemissionen von Gebäuden zu reduzieren.

Entscheidend für das Erreichen der Ziele sind neben der ausreichenden Verfügbarkeit klimaneutraler Energieträger auch die Entwicklung und Bereitstellung CO₂-armer Bindemittel (Kalk und Zement). Der Einsatz von z. B. grünem Wasserstoff als Alternative zu fossilen Energieträgern ermöglicht die deutliche Reduzierung von Treibhausgasemissionen vor allem bei energieintensiven Prozessen, bei denen Energieeffizienz und direkte Nutzung von Grünstrom nicht ausreichen.

Altporenbeton kann schon heute technisch so aufbereitet werden, dass er als Wertstoff für die Herstellung von neuem Porenbeton verwendet werden kann. Der Ausbau einer Porenbeton-Kreislaufwirtschaft, die auf geschlossenen Stoffkreisläufen und Abfallvermeidung basiert, erfordert indes zur Rechtssicherheit der Verwendung von Altporenbeton im Rahmen der Produktion klarstellende abfallrechtliche Regelungen. Es ist eine eindeutige Definition erforderlich, welche Kriterien Altporenbeton zu erfüllen hat, damit seine Abfalleigenschaft im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) endet und er so als Wertstoff von den Porenbetonherstellern verwendet werden kann. Aufgabe der Porenbetonindustrie ist es, dafür gemeinsam mit dem Gesetzgeber rechtliche Vorgaben zu erarbeiten und darüber hinaus weitere, industriell relevante Verwertungsmöglichkeiten zu erforschen und zu etablieren. Denn bis zum Jahr 2050 wird gemäß einer Modellprognose¹⁾ ein Anwachsen der jährlichen Altporenbetonmenge von derzeit ca. 1 Mio. Kubikmeter auf mehr als 4 Mio. Kubikmeter erwartet. Dies würde das jährliche Produktionsvolumen übersteigen, so dass selbst bei optimalem und rechtssicherem Einsatz von Altporenbeton als Wertstoff für die Produktion von neuem Porenbeton nicht die gesamte anfallende Menge im Rahmen des Produktionsprozesses Verwendung finden könnte.

- Die verlässliche Verfügbarkeit bezahlbarer, klimaneutraler Energieträger (z. B. Grünstrom und grüner Wasserstoff) im großindustriellen Maßstab muss gewährleistet werden. Der Auf- bzw. Ausbau der entsprechenden Herstellungskapazitäten und notwendigen Infrastruktur sind grundlegende Voraussetzungen für die Transformation der Porenbetonindustrie zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2045.
- Auch die Dekarbonisierung von Kalk und Zement basiert auf Maßnahmen, die in erheblichem Umfang auf Grünstrom angewiesen sind. Insbesondere der Strombedarf für den Einsatz von Technologien zur CO₂-Abscheidung und dessen anschließende Nutzung bzw. Speicherung (CCUS) wird sich signifikant erhöhen. Dafür ist der Aufbau einer funktionierenden CO₂-Infrastruktur erforderlich.
- Das Schließen von Materialkreisläufen und die weitestgehende Reduzierung von Abfallmengen sind wesentliche Handlungsfelder der Porenbetonindustrie, um Ressourcen nachhaltig zu schonen. Die Wiederverwertung von Altporenbeton aus dem Gebäudeabbruch oder -rückbau birgt dafür großes Potenzial. Bisher ist nicht geklärt, welche Bedingungen für die Beendigung der Abfalleigenschaft von Altporenbeton erfüllt sein müssen, so dass dieser rechtssicher als Wertstoff im Produktionsprozess von neuem Porenbeton verwendet werden kann. Der Gesetzgeber muss in Zusammenarbeit mit der Porenbetonindustrie zeitnah praktikable Regelungen treffen, um die Herstellung von Sekundärrohstoffen aus Altporenbeton und deren Eintritt in die Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen.
- Die Recarbonatisierung von Porenbeton muss bei der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen von Gebäuden mildernd anerkannt werden, da während der Produktlebensdauer mehr CO₂ aus der Umgebung absorbiert und dauerhaft gespeichert wird, als bei der reinen Herstellung von Porenbeton freigesetzt wurde.
- Für die zukunftsfeste Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Porenbetonindustrie sind Investitionsanreize sowie die Förderung von Forschung und Entwicklung in innovative Technologien und Verfahren notwendige Voraussetzungen bei der Umstellung auf treibhausgasneutrale Prozesse und Produkte. Nur so können in den Unternehmen wirtschaftlich erfolgreiche Investitionsprozesse angestoßen und beschleunigt werden, die mit wesentlichen Emissionsreduktionen zum Ziel der Klimaneutralität beitragen.

¹⁾ Quelle: Steins, J.J. et al., Modelling and predicting the generation of post-demolition AAC volumes in Germany until 2050, Resources, Conservation & Recycling, 2021, 177-185



Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

Kochstr. 6-7

10969 Berlin

Telefon: 030/25 92 82 14

www.bv-porenbeton.de

Verband Bauen in Weiß e.V.

Hohes Steinfeld 1

14797 Kloster Lehnin

Telefon: 0 33 82/70 60-0

www.vbiw.de

