



SLG-Projekt
„Wege zur klimaneutralen
Betonsteinherstellung“

Februar 2023

Blueprint



Impressum

Herausgeber: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V.
Schloßallee 10
53179 Bonn
Tel.: +49 228 95456-21
E-Mail: slg@betoninfo.de
Homepage: www.betonstein.org

Autoren: Dr. Roland Geres
Michael Gollinger
Johanna Lausen
Future Camp Climate GmbH
Aschauer Str. 30
81549 München
Tel.: +49 (1520) 380 69 48
E-Mail: webkontakt@future-camp.de,
Homepage: www.future-camp.de

FutureCamp ist ein Beratungsunternehmen mit Sitz in München. Seit 2001 beraten rund 50 erfahrene Experten in unseren Kompetenzfeldern Klima, Nachhaltigkeit, Energie, Umwelt und Innovation. Wir bieten unseren Kunden strategische und operative Unterstützung, kurzfristige Zusammenarbeit und langfristige Kooperation. Unser Kundenspektrum ist breit und international: Konzerne, regierungsnahе Behörden, Kommunen, mittelständische Unternehmen und öffentliche Bildungsträger.

© FutureCamp Climate GmbH, Mai 2023

Haftungsausschluss: Der vorliegende Blueprint wurde im Auftrag des Betonverbandes Straße, Landschaft, Garten e.V. durch die FutureCamp Climate GmbH (FutureCamp) erstellt. Zur Sicherstellung der Fehlerfreiheit der in diesem Blueprint dargestellten Informationen wurden angemessene Maßnahmen getroffen. Dennoch gibt FutureCamp keine Zusicherungen und Gewährleistungen für die Richtigkeit der getroffenen Aussagen und übernimmt keine Haftung für Ungenauigkeiten und Unvollständigkeiten. Gegenüber Parteien, die diesen Blueprint nutzen, wird weder jetzt noch in Zukunft durch FutureCamp, seine Mitarbeiter oder Vertreter eine ausdrückliche oder implizite Zusicherung oder Gewährleistung gegeben oder eine Verantwortung oder Haftung übernommen. Jegliche Haftung ist hiermit ausdrücklich ausgeschlossen.

Abbildungen & Tabellen: Future Camp Climate GmbH

Titelbild & Layout: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Inhaltsverzeichnis	3
1 Grußwort Betonverband SLG	4
2 Zusammenfassung	5
2.1 Einleitung und Methodik	5
2.2 Kernergebnisse	5
3 Zielsetzung und Rahmen des Blueprints	6
4 Branchenbeschreibung der deutschen Betonsteinindustrie	7
5 Inhaltliche Einführung in das Carbon Footprinting	8
6 Methodik und Vorgehensweise	11
6.1 Scopes	11
6.2 Vorgehen zur Modellierung	11
6.3 Datenbasis Emissionen	12
6.4 Grundlegende Annahmen und Berechnungsparameter	12
7 Startbilanz der beiden Musterbetriebe „Plattenfertiger“ und „Pflastersteinfertiger“	14
7.1 Definition Verbrauchswerte – Plattenfertiger	14
7.2 Definition Verbrauchswerte – Pflastersteinfertiger	16
7.3 Startbilanz – Plattenfertiger	18
7.4 Startbilanz – Pflastersteinfertiger	19
8 Wege zur Klimaneutralität	20
8.1 Vermeidungsmaßnahmen	20
8.2 Berücksichtigte Kosten	22
8.3 Skizzierung Reduktionspfade	23
9 Vermeidungskostenrechner als Entscheidungshilfe	25
9.1 Allgemeine Vorstellung: Aufbau und Erstellung der Startbilanz	25
9.2 Bedienungshinweise	30
9.2.1 Anpassung der Startbilanz	30
9.2.2 Berechnung der Reduktionsmaßnahmen	31
10 Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf	34
10.1 Relevante Maßnahmen	34
10.2 Kosten und externe Rahmenbedingungen	35
11 Weiterführende Informationen	36
12 Verzeichnisse	37
12.1 Abbildungsverzeichnis	37
12.2 Tabellenverzeichnis	38
12.3 Abkürzungsverzeichnis	38
12.4 Quellenverzeichnis	39
Anhang 1: Emissionsfaktoren	40
Anhang 2: Quellen Emissionsfaktoren	42

1 Grußwort Betonverband SLG

Sehr geehrte Damen und Herren,

trotz der weiterhin erschwerten Rahmenbedingungen durch Lieferengpässe, steigende Energiekosten und den Fachkräftemangel stellt die Betonsteinindustrie die Weichen für die Zukunft. Das gilt insbesondere im Hinblick auf die Umsetzung der europäischen und deutschen Nachhaltigkeitsziele. Denn der Klimaschutz und seine wirtschaftlich nachhaltige, sozial ausgewogene Umsetzung stellt die Branche vor zentrale Herausforderungen.

Selbstverständlich beschäftigen uns Themen wie Energieeinsparung und Ressourceneffizienz bereits seit vielen Jahren. Durch energieeffiziente Anlagentechnik, digitalisierte Produktionsprozesse und verbesserte Rezepturen mit klinkerärmeren Zementen konnte der CO₂-Ausstoß innerhalb der Betonsteinbranche in den vergangenen Jahren bereits kontinuierlich reduziert werden.

Doch nun stellen wir uns der besonderen Herausforderung des European Green Deal, der die Entwicklung unserer Branche in den kommenden Jahren massiv beeinflussen wird. Bereits bis 2030 soll der CO₂-Ausstoß in Europa um 55 Prozent gegenüber 1990 gesenkt werden. Klimaneutralität soll in Deutschland bereits im Jahr 2045 erreicht sein.

Deshalb steht nun die Transformation der deutschen Betonsteinindustrie in Richtung Treibhausgasneutralität im Fokus unserer Anstrengungen. Dazu haben wir als Verband im September 2021 den Arbeitsausschuss Nachhaltigkeit gegründet, der die FutureCamp Climate GmbH mit der Evaluation möglicher branchenbezogener Maßnahmen auf dem Weg zur Klimaneutralität beauftragt hat.

Das Projekt „Wege zur klimaneutralen Betonsteinherstellung“ wurde fachlich durch einen Begleitkreis der Betonstein- und ihrer Zulieferindustrie unterstützt, bestehend aus:

Thomas Aicheler, braun-steine GmbH

Mario Bäcker, ROTHO Metall- und Elektrowerke GmbH & Co.KG

Martin Dalbert, SR Schindler Maschinen-Anlagentechnik GmbH

Michael Fuchs, Betonverband SLG e. V.

Jakob Götz, SR Schindler Maschinen-Anlagentechnik GmbH

Marc Hamza, HESS Group GmbH

Marcel Helsper, MASA GmbH

Silke Kaminski, HeidelbergCement AG

Reinhard Kraemer, ROTHO Metall- und Elektrowerke GmbH & Co.KG

Dr. Matthias Liersch, KANN GmbH Baustoffwerke

Holger Reichert, Lithonplus GmbH & Co. KG

Tero Rode, KANN GmbH Baustoffwerke

Nils Rühland, Kronimus AG Betonsteinwerke

Andreas Schlemmer, Karl Strohmaier GmbH Kies- und Betonwerke

Jakob Socher, BWL Betonwerk Linden GmbH & Co. KG

Guido Volmer, Metten Stein+Design GmbH & Co. KG

In dem vorliegenden Blueprint sind die wesentlichen Rahmenbedingungen, Herausforderungen und Schlussfolgerungen dieses Projekts zusammengefasst, die unsere Mitgliedsunternehmen bei der Umsetzung der Klimaschutzziele unterstützen und sich damit als allgemeiner Branchenstandard etablieren sollen.

Unser Dank gilt allen an dem Projekt beteiligten Personen, insbesondere den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Begleitkreises, für die Einbringung Ihrer jeweiligen Fachexpertise.

Andreas Schlemmer
Vorsitzender

Ulrich Melzer
Obmann des SLG-AA Nachhaltigkeit

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V.

2 Zusammenfassung

2.1 Einleitung und Methodik

Der Schutz des Klimas ist eine der großen Herausforderungen unserer und zukünftiger Generationen. Der Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V. hat zusammen mit der FutureCamp Climate GmbH, im Folgenden FutureCamp genannt, das Projekt „Wege zur klimaneutralen Betonsteinherstellung“ umgesetzt. Dieses bettet sich auch in die weiteren Aktivitäten des Verbandes rund um das Thema „Nachhaltigkeit“ ein. Anstoß für das Projekt war, dass der Betonverband SLG und seine Mitgliedsunternehmen einerseits bestrebt sind, die Klimaschutzziele in der Betonsteinbranche aktiv umzusetzen, und andererseits die CO₂-bezogenen Kosten für die Unternehmen immer bedeutsamer werden.

Für das Projekt wurde ein Begleitkreis gegründet, der während der Projektlaufzeit viermal online getagt hat. Er setzte sich aus Vertretern von Betonsteinproduzenten sowie der Zulieferindustrie, insbesondere von Maschinen- und Zementherstellern, zusammen. Die Teilnehmenden waren für FutureCamp fachkundige und praxiserfahrene Diskussionspartner für die Identifikation von Reduktionsmaßnahmen. Sie nahmen auf Basis gemeinsamer Festlegungen auch eine Vermittlerrolle nach Innen und Außen ein.

Im Rahmen des Projektes wurden zunächst zwei fiktive Musterbetriebe, zum einen ein Pflasterstein- und zum anderen ein Plattenfertiger (siehe Kapitel 6.2) definiert. Hierzu wurden die zu berücksichtigenden Emissionsquellen (siehe Kapitel 6.1) und die für die Berechnung notwendigen, im Anhang aufgeführten Emissionsfaktoren (EF) festgelegt, die „Verbrauchswerte“ verabschiedet und im Anschluss je Musterbetrieb eine Treibhausgas-Startbilanz erstellt. Zudem wurden in den Begleitkreistreffen die relevanten Treibhausgas-Minderungsmaßnahmen identifiziert (siehe Kapitel 8.1).

Dieser Blueprint dient der Nutzung der Projektergebnisse durch die Mitgliedsunternehmen des Betonverbands SLG. Er wird zusammen mit dem erarbeiteten Vermeidungskostenrechner zur Verfügung gestellt. Der Vermeidungskostenrechner enthält für jeden der beiden fiktiven Musterbetriebe eine beispielhafte Treibhausgas-Startbilanz, die von den Mitgliedsunternehmen individuell mit den eigenen Werten befüllt werden kann und somit unternehmensspezifische Ergebnisse zur eigenen

Emissionsbilanz, zu Emissionsminderungen und zu Vermeidungskosten darstellt. Der Vermeidungskostenrechner dient als Entscheidungshilfe für die Planung und Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen. Zudem wird mit diesem Blueprint eine Berichtsvorlage für die Erstellung einer Dokumentation des eigenen Corporate Carbon Footprints (CCF) zur Verfügung gestellt.

Mit der idealtypischen Treibhausgasbilanzierung und dem Vermeidungskostenrechner stehen den Mitgliedsunternehmen des Betonverbands SLG nutzbare Vorlagen für eigene Bilanzierungen, Abschätzung der Emissionsreduktionen durch Umsetzung einzelner oder mehrerer Maßnahmen sowie der damit verbundenen Kosten zur Verfügung. Jedes Unternehmen kann so den jeweils individuellen Weg zur Klimaneutralität für sich ableiten.

2.2 Kernergebnisse

Die zur Erstellung des Vermeidungskostenrechners notwendigen Startbilanzen zeigen deutlich, wo die Schwerpunkte der CO_{2e}-Emissionen liegen. Den größten Anteil an den Gesamtemissionen verursacht der eingesetzte Zement. Dies gilt sowohl bei dem betrachteten Musterbetrieb eines Pflastersteinfertigers mit einem Anteil von 73 % als auch beim Musterbetrieb eines Plattenfertigers mit einem Anteil von 76 %.

Die Scope 1- und 2-Emissionen (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5) erreichen zwar nur einen Anteil von 4,5 % bei dem fiktiven Plattenfertiger bzw. 3,7 % bei dem fiktiven Pflastersteinfertiger, sollten aber bei der Identifikation und Umsetzung von konkreten Reduktionsmaßnahmen ebenfalls genauer betrachtet werden, da der Einfluss der Betonsteinhersteller auf diese Emissionsquellen am größten ist.

Deshalb wurden im Rahmen des Projektes auch insbesondere für diese von den Betonsteinhersteller unmittelbar beeinflussbaren Emissionsquellen die in Tabelle 1 aufgeführten Reduktionsmaßnahmen auf dem Weg zu einer klimaneutralen Betonsteinherstellung gemeinsam definiert.

Speziell bei den dem Scope 3 zugeordneten Maßnahmen besteht eine hohe Abhängigkeit von den Entwicklungen in der vorgeschalteten Wertschöpfungskette, speziell der Zementindustrie.

Eine deutliche Minderung der Emissionen gelingt in den dargestellten Reduktionspfaden bis zum Jahr

2030 ausschließlich in Bezug auf die Scope 1- und 2-Emissionsquellen. Die Mitgliedsunternehmen des Betonverbands SLG können die voraussichtliche CO₂-Reduktion für das eigene Unternehmen mit dem Vermeidungskostenrechner kalkulieren.

In der Betonsteinherstellung ist Klimaneutralität in vollem Umfang – abgesehen von den gut zu beeinflussenden Reduktionsmaßnahmen der Scope 1-

und 2-Emissionsquellen – zum einen nur durch entsprechende Klimaneutralitätsbemühungen in der Vorkette, beispielsweise durch den Einsatz von neuen Zementen, Technologien zu Carbon Capture und Storage in der Zementproduktion, und zum anderen durch unterstützende Ausgleichsmaßnahmen durch externe Klimaschutzprojekte zu erreichen.

Tabelle 1: Identifizierte Treibhausgas-Reduktionsmaßnahmen

Scope	Bezeichnung
1	Generelle Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen ohne Einfluss auf die Härtekammer
1	Umstellung von Dieselstaplern auf Stapler mit Elektroantrieb
1	Ersatz von Dieselstaplern durch Dieselstapler mit besserer Effizienz
1 + 2	Verminderung oder Vermeidung von Brennstoffeinsatz für die Härtekammer
2	Ökostrom-Bezug durch z. B. Power Purchase Agreements (PPAs) oder Herkunftsnachweise (HKN)
2	Produktion von eigenem regenerativem Strom, insbesondere Photovoltaik
3	Rezepturänderung - Veränderung des Materialeinsatzes
3	Einsatz von Zementarten mit geringeren Emissionsfaktoren
3	Rezepturänderung - Einsatz von Recyclingmaterial

3 Zielsetzung und Rahmen des Blueprints

Der Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V. verfolgt im Rahmen des Projekts die folgenden Ziele:

- Zwei verschiedene Szenarien/Pfade (Musterbetriebe Pflasterstein- und Plattenfertiger) zur Klimaneutralität bis 2045 mit Zwischenzielen, z. B. bis zum Jahr 2030, für eigene Anlagen und Hauptproduktgruppen der Betonsteinbranche aufzeigen.
- Die Handlungsfelder beschreiben, die für anstehende Entscheidungen
 - im Unternehmen (Management, Stakeholder) und
 - ggf. auch für politische Entscheidungen wichtig sind.
- Hürden und erforderliche Bedingungen, z. B. staatliche Unterstützung, aufzeigen.
- Eine überschaubare Zahl von Handlungsoptionen darstellen, die den Schwerpunkt auf die folgenden Punkte setzen:
 - die eigenen Produktionsprozesse (inkl. technologischer Entwicklungen) und Anlagen sowie

- konkrete Maßnahmen (Benennung Maßnahmen, Kosten, Umsetzungsjahr usw.);
- Emissionen, Energieverbrauch und damit verbundene Kosten (CAPEX und OPEX), wesentliche Einflussgrößen sowie Sensitivitäten, um möglichst klare Ergebnisse für individuelle Wege zur Klimaneutralität zu erzielen;
- eine Dokumentation: Text, Präsentation (Blueprint) sowie
- ein Excel-Tool für eigene Berechnungen der Unternehmen (Vermeidungskostenrechner).

Der Blueprint dient den Unternehmen als Vorlage. Hierzu kann das einzelne Unternehmen den Vermeidungskostenrechner, der auf der Datenbasis der repräsentativen Musterbetriebe erstellt wurde, an seine konkreten Verbrauchsdaten adaptieren. Eine von FutureCamp erstellte, konkrete Vorlage für einen Bericht kann in Form des vorliegenden Blueprints vom Betonverband SLG zur Verfügung gestellt werden.

Zudem erläutert der Blueprint den Unternehmen grundsätzlich das Thema Corporate Carbon Footprints (siehe Kapitel 4), so dass sie dieses unternehmensbezogen anwenden können. Der Carbon Footprint wird ebenfalls bezogen auf die im Rahmen des Projektes gemeinsam festgelegten Referenzanlagen und Emissionsquellen dargestellt,

ergänzend werden mögliche CO₂-Kosten abgebildet (siehe Kapitel 5).

Die konkrete Methodik und Vorgehensweise bei der Erstellung der Startbilanz der beiden Musterbetriebe ist dem Kapitel 6 zu entnehmen. Kapitel 7 beschreibt die festgelegten Verbrauchs- und Emissionswerte der Startbilanzen der beiden Musterbetriebe tabellarisch.

Kapitel 8.3 stellt den Vermeidungskostenrechner vor und erläutert die Nutzung/Adaption durch die Unternehmen mit eigenen Werten.

Für die Unternehmen mögliche relevante Vermeidungs- und/ oder Minderungsmaßnahmen werden zusammen mit einer Einschätzung für erzielbare Treibhausgasreduzierungen, damit verbundener Investitionsbedarf und z. T. laufende Kosten in Kapitel 8.1, beschrieben. Kapitel 8.3 zeigt beispielhafte Treibhausgas-Reduktionspfade auf, welche den Unternehmen bei der Erarbeitung eigener Reduktionspfade als Vorlage dienen können.

Der Blueprint und der Vermeidungskostenrechner unterstützt die Unternehmen dabei Klimarisiken besser einzuschätzen und sich auf weiter steigende Anforderungen im Klimaschutz und regulatorische Rahmenbedingungen einzustellen.

4 Branchenbeschreibung der deutschen Betonsteinindustrie

Die deutsche Betonsteinindustrie ist bis heute überwiegend von mittelständischen Branchenunternehmen geprägt, die an ihren automatisierten Produktionsstandorten eine Vielzahl hochwertiger, vorgefertigter Betonwaren für die Befestigung von ebenso dauerhaften wie nachhaltigen Verkehrsflächen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen herstellen.

Die Gesamtmenge der in 2021 hergestellten Betonwaren für den Bereich Straßen-, Garten- und Landschaftsbau beläuft sich auf rund 22 Mio. Tonnen. Dabei lag der Produktionsschwerpunkt mit 85 % auf Pflaster-, Bord- und Rinnensteinen, gefolgt von Gehweg- und Belagsplatten mit einem Anteil von 9 % sowie Fertigteilen für Gartenbau und Landwirtschaft mit einem Anteil von 8 % (siehe Abbildung 1).

Betonpflastersteine werden in Verbindung mit Bord- und Rinnensteinen aus Beton überwiegend zur Befestigung von innerstädtischen Straßen, Geh- und Radwegen, Parkplätzen sowie Flächen mit hohen Ansprüchen an die Gestaltung und an die

Aufenthaltsqualität wie beispielsweise Fußgängerzonen oder öffentlichen Plätzen, eingesetzt.

Beton- und Betonwerksteinplatten sowie Fertigteile für Gartenbau und Landwirtschaft aus Beton bzw. Betonwerkstein, z. B. Stufen, Winkelsteine und Palisaden, kommen neben dem öffentlichen Bereich insbesondere für die hochwertige Gestaltung von Terrassen und Wegen im privaten Wohnumfeld und repräsentativen Geschäftsgebäuden zum Einsatz.

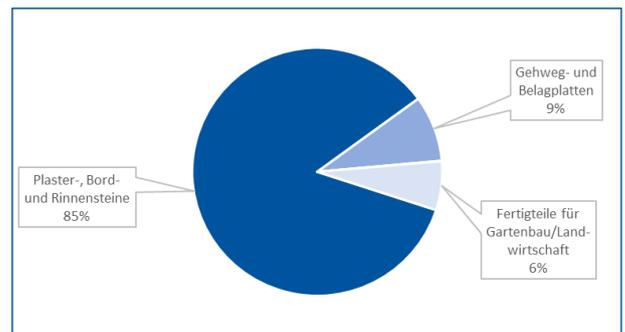


Abbildung 1: Prozentualer Absatz von Betonergebnissen für den Straßen-, Garten- und Landschaftsbau in 2021 (Datenquelle: Statistisches Bundesamt)

Die Betonsteinindustrie trägt in Deutschland mit einem in den letzten Jahren stetig gestiegenen Nettoumsatz, der im Jahr 2021 rund 1,8 Mrd. € betrug (siehe Abbildung 2), nicht nur zur Wertschöpfungskette im Baubereich bei, sondern leistet damit auch in vielen, insbesondere strukturschwachen Regionen einen wichtigen Beitrag zur Sicherung von Arbeits- und Ausbildungsplätzen vor Ort.

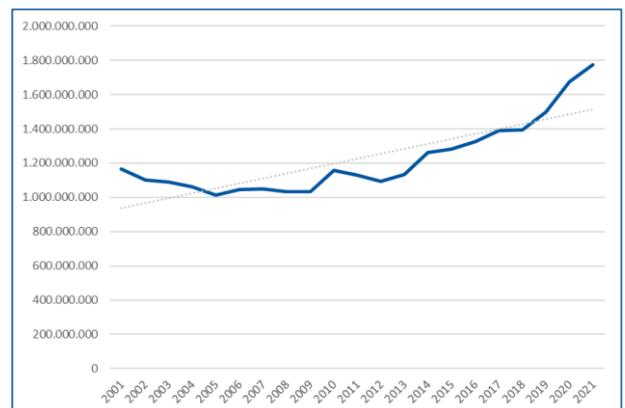


Abbildung 2: Netto-Umsatzentwicklung [€] von Betonergebnissen für den Straßen-, Garten- und Landschaftsbau von 2001 bis 2021 (Datenquelle: Statistisches Bundesamt)

Die Mehrheit der Unternehmen der Betonsteinindustrie ist im Betonverband SLG organisiert, der die Interessen der Branche nach Außen vertritt.

5 Inhaltliche Einführung in das Carbon Footprinting

Beim Carbon Footprinting werden die Treibhausgasemissionen von Unternehmen (Corporate Carbon Footprints), Produkten (Product Carbon Footprints), Branchen oder Aktivitäten/Ereignissen (z. B. Flüge, Veranstaltungen) berechnet.

Der sogenannte CO₂e-Fußabdruck oder Carbon Footprint umfasst dabei alle Treibhausgase (THG), die durch die Geschäftsaktivitäten einer Organisation bzw. die Herstellung und Nutzung eines Produktes anfallen. Unter dem Begriff CO₂-Äquivalente (CO₂e, aus dem engl. „equivalent“) ist die über einen bestimmten Zeitraum gemittelte Erwärmungswirkung eines THGs im Vergleich zu CO₂ zu verstehen. Näheres zu klimarelevanten THGs wird im Folgeabschnitt erläutert.

Die CO₂e-Bilanzierung gliedert sich klassischerweise in sechs Schritte, die in *Abbildung 3* dargestellt sind. Eine externe Überprüfung ist dabei optional.

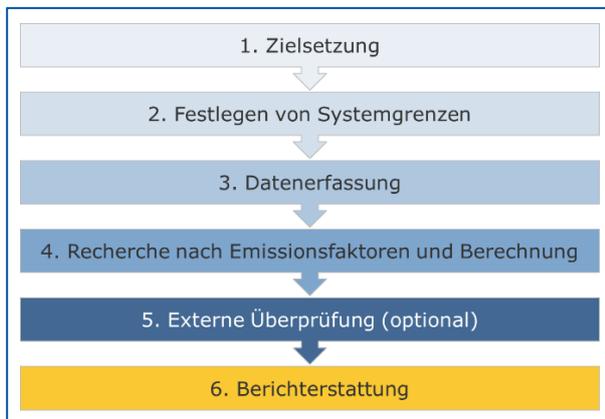


Abbildung 3: Ablauf Carbon Footprinting

Das ‚Greenhouse Gas Protocol‘ (GHG)¹ ist international bei der CO₂e-Bilanzierung die maßgebliche Referenz. Bei der Zertifizierung einer CO₂e-Bilanz durch einen externen Prüfer wird dieser Standard oftmals verlangt. Auch in Regulierungen oder bei Lieferantenanforderungen wird zunehmend darauf verwiesen. Das GHG Protocol gibt sowohl einen Standard für Corporate Carbon Footprints (CCF) wie auch für Product Carbon Footprints (PCF) vor.

Die Emissionsbilanzierung nach GHG Protocol entspricht folgenden Prinzipien:

- **Relevanz:** Definition und adäquate Ansprache der relevanten Zielgruppen
- **Vollständigkeit:** Einbezug aller relevanten Emissionsquellen innerhalb der Systemgrenzen und Offenlegen von Ausnahmen
- **Kontinuität als Empfehlung für die Zukunft:** Verwendung der gleichen Methodik für die Projektlaufzeit; Offenlegen von Änderungen im Vorgehen
- **Transparenz:** Nachvollziehbare Ausweisung der Datenquellen und Darlegung der Berechnungsmethoden sowie Beschreibung von Datenlücken
- **Genauigkeit:** Vermeidung von Unsicherheiten soweit möglich; Ausschluss systematischer Fehler in der Berechnung.

Neben dem GHG Protocol gibt es weitere Standards mit ähnlichen Anforderungen, an denen man sich bei der Erstellung eines Corporate Carbon Footprint orientieren kann. Eine Auswahl weiterer Standards ist in Kapitel 11 aufgeführt.

Klimarelevante Treibhausgase

Bei der CO₂e-Bilanzierung gelten die sechs im Kyoto-Protokoll genannten Gase als klimarelevante Treibhausgase und werden somit betrachtet. Davon hat CO₂ aufgrund seiner Menge den größten Anteil am Treibhauseffekt. Die weiteren Treibhausgase werden in Form von CO₂-Äquivalenten berücksichtigt, wodurch die Wirksamkeit dieser Gase auf die globale Erwärmung (global warming potential, GWP) berechnet werden kann. Zugrunde gelegter Zeitraum für diese Umrechnung nach IPCC AR5 sind 100 Jahre. Eine Tonne Methan (CH₄) beispielsweise entspricht 28 t CO₂e (siehe Tabelle 2).

Die systematische Vorgehensweise bei der Erstellung einer unternehmensbezogenen CO₂e-Bilanz wird im Folgenden dargestellt.

¹ Gründung 1998 durch World Resources Institute (WRI) und World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Mehr Informationen: <http://www.ghgprotocol.org>

Tabelle 2: Erwärmungspotenzial von THG

Treibhausgase (THG)	Erwärmungspotenzial (GWP, 100 Jahre)	Hauptquellen
Kohlendioxid (CO ₂)	1	fossile Brennstoffe, Zementproduktion, Entwaldung, ...
Methan (CH ₄)	28	Viehzucht, Biomasse, Deponiegas, Reisanbau, Extraktion und Transport fossiler Brennstoffe, ...
Lachgas (N ₂ O)	265	Düngemittel, fossile Brennstoffe, Verbrennungsprozesse fossiler Brennstoffe, Landnutzung, ...
Fluor-Kohlenstoffverbindungen (PFCs/CXFX)	6.630 – 11.100	Prozesse der Elektroindustrie, ...
Fluorkohlenwasserstoffe (HFCs)	4 – 12.400	Aluminium, Kühlmittel, Löschmittel, Lösemittel, ...
Schwefelhexafluorid (SF ₆)	23.500	Kühlmittel, Chip-Produktion, Elektroindustrie, Dämmstoffe (gasisolierte Schaltanlagen), ...
Stickstoff Trifluorid (NF ₃)	16.100	Reinigungsmittel in Produktion von Flüssigkristallbildschirmen und Solarindustrie

Zielsetzung

Zunächst wird der eigene CCF erhoben, um zu erkennen, wie hoch die Emissionen des eigenen Unternehmens im Gesamten und bezogen auf verschiedene Emissionsquellen sind. Darauf aufbauend kann eine Klimastrategie erarbeitet werden, in welcher sich kurz-, mittel- und langfristige Ziele gesetzt werden, die wiederum mit Maßnahmen hinterlegt werden. Ein Ziel kann beispielsweise sein, das eigene Unternehmen klimaneutral zu stellen. Auch die Festlegung einer konkreten Reduzierung von THG-Emissionen, z. B. Reduktion um 50 % innerhalb der kommenden X Jahre, kann als Ziel definiert werden. Hierzu sollte ein Bündel an Maßnahmen im Bereich der THG-Vermeidung und -Reduzierung von Emissionen (siehe auch Kapitel 8.1), mit dem Ziel der Klimaneutralität und ggf. ergänzend durch CO₂e-Kompensation bzw. Ausgleichsmaßnahmen über externe Klimaschutzprojekte geplant werden.

Festlegen von Systemgrenzen

Für die Ermittlung der Emissionen sollten zunächst die Systemgrenzen festgelegt und dokumentiert werden. Die zu beachtenden Systemgrenzen gliedern sich in organisatorische und operative Systemgrenzen und umfassen grundsätzlich alle im direkten und indirekten Einflussbereich eines Unternehmens liegenden Aktivitäten, die zu einem Ausstoß von zu berücksichtigenden klimarelevanten Gasen führen.

Es sollten neben den eigenen auch alle vor- und nachgelagerten Prozesse im Geschäftsbetrieb auf die Entstehung von Treibhausgasen geprüft

werden. Zudem kann eine Wesentlichkeitsanalyse helfen, die relevanten Aktivitäten zu identifizieren.

Der üblicherweise betrachtete Zeitraum beträgt zwölf Monate. Dieses kann ein Kalenderjahr sein, aber auch z. B. ein abweichender Zeitraum in Form eines Geschäftsjahres.

Organisatorische Systemgrenzen

Die organisatorischen Systemgrenzen legen fest, welche Unternehmensbereiche in die CO₂e-Bilanzierung mit einbezogen werden. Das GHG-Protokoll bietet zwei mögliche Ansätze zur Konsolidierung von THG-Emissionen in komplexeren Unternehmen:

- **Kontroll-Methode:** Einbeziehung der Emissionen zu 100 %, wenn mindestens 50 % „Kontrolle“ ausgeübt wird; Kontrolle kann entweder finanziell oder operativ definiert sein.
- **Equity-Share-Methode:** Einbeziehung der Emissionen in Höhe des Anteils, mit welchem das berichtende Unternehmen an den jeweiligen Töchtern/Franchises usw. beteiligt ist.

Für Betriebe des Betonverbandes SLG eignet sich insbesondere die Kontroll-Methode, da oftmals kaum Beteiligungen innerhalb der Unternehmensstruktur vorliegen. Das bedeutet, dass alle relevanten THG aller Unternehmensbereiche zu 100 % in die Berechnung mit einfließen.

Operative Systemgrenzen

Zur Festlegung der operativen bzw. inhaltlichen Systemgrenzen wird definiert, welche **Emissionsquellen** einbezogen werden. Das GHG-Protokoll definiert **drei unterschiedliche Emissionsbereiche** (englisch: **Scopes**), die in der nachfolgenden Abbildung 4 veranschaulicht sind.

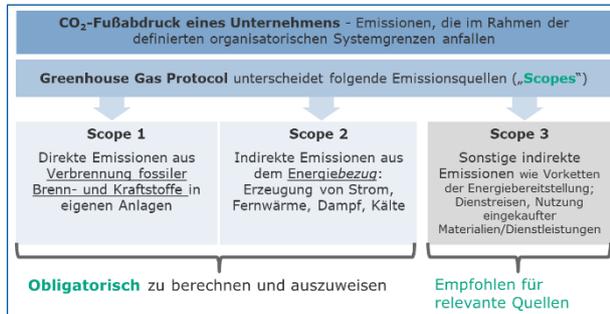


Abbildung 4: Operative Systemgrenzen Carbon Footprint

Scope 1-Emissionen sind direkte Emissionen, die durch Verbrennung fossiler Brennstoffe in mobilen und stationären Anlagen einer Organisation entstehen, also z. B. durch Heizen mit einem Heizkessel im eigenen Gebäude, durch Energieerzeugung in eigenen Anlagen, durch die Nutzung des eigenen Fuhrparks oder durch die Verwendung von Brennstoffen in Produktionsprozessen.

Scope 2-Emissionen sind indirekte Energieemissionen, welche durch fremdbezogene Energie, z. B. Strom, Wärme, Kälte, entstehen.

Exkurs: Duales Reporting der Strom-Emissionen nach GHG Protocol

Die Richtlinie für die Berechnung von Scope 2-Emissionen besagt, dass Strom-Emissionen über eine duale Struktur berechnet werden müssen. Diese beinhaltet das sogenannte „market-based accounting“ und das „location-based accounting“. Das bedeutet, dass zwei Werte für strombezogene Scope 2-Emissionen ausgewiesen werden müssen.

location-based accounting: Berechnung auf Basis des nationalen Netz-Durchschnitts des jeweiligen Landes, unabhängig davon welcher Stromtarif vom eigenen Unternehmen bezogen wird.

market-based accounting: Berechnung auf Basis des selbst gewählten Tarifs. Hier werden die Emissionsfaktoren der Energielieferanten berücksichtigt und zudem, ob es sich um Öko-Stromprodukte handelt.

Nach der location-based Methode hat das Unternehmen nur die Möglichkeit die Emissionsbilanz durch die Steigerung der Energieeffizienz oder die Senkung des Energieverbrauchs zu verbessern. In der market-based Betrachtung gibt es zusätzlich die Möglichkeit durch Verträge mit Lieferanten über die Eigenschaften der gelieferten Energie mitzuzentscheiden. So kann das Engagement von Unternehmen gewürdigt werden, die sich für den Kauf von Ökostrom entscheiden.

Scope 3-Emissionen sind alle indirekten Emissionen, die nicht direkt von der berichtenden Organisation selbst kontrolliert oder beeinflusst werden können, jedoch mit deren Geschäftsaktivitäten in direktem Zusammenhang stehen. Dies sind u. a. Lieferkette, Abfall- und Abwasserentsorgung, Materialnutzung, Dienstreisen. Gemäß dem GHG-Protokoll werden die Scope 3-Emissionen in vorgelagerte (upstream) und nachgelagerte (downstream) Quellen unterteilt.

Die Datensammlung gestaltet sich teilweise schwierig bzw. arbeits- und zeitaufwändig. Deshalb ist die Erfassung von Scope 3-Emissionen, im Gegensatz zu Scope 1- und Scope 2-Emissionen, nicht verpflichtend. Dennoch sollten wesentliche Scope 3-Emissionen Bestandteil der Emissionsberechnung sein, da sie einen relevanten Anteil am CCF haben können.

Hinweis bezogen auf die Anwendung des Blueprints und des Vermeidungskostenrechners im Rahmen des konkreten Projektes „Wege zur klimaneutralen Betonsteinherstellung“:

Der im Rahmen des gemeinsamen Projektes erstellte Blueprint und der Vermeidungskostenrechner bilden eine gute Grundlage für die Erstellung eines **Corporate Carbon Footprints (CCF)**. Für die Erstellung eines umfangreichen CCF müssen vom bilanzierenden Unternehmen ggf. noch weitere Emissionsquellen, über die für die Musterbetriebe festgelegten Emissionsquellen hinausgehend, berücksichtigt werden. Die Auflistung der Emissionsquellen in der von FutureCamp erstellten und vom Betonverband SLG bereitgestellten CCF-Berichtsvorlage gibt einen Überblick, welche weiteren Emissionsquellen für die Erstellung des Berichts berücksichtigt werden und welche weiteren Rahmenbedingungen erfüllt sein sollten.

Bei einem **Product Carbon Footprint (PCF)** werden die Emissionen für ein konkretes Produkt berechnet und in Relation zu einer bestimmten Mengeneinheit, z. B. je Tonne Produkt, dargestellt. Für einen PCF ist es wichtig, dass die Verbrauchsdaten (z. B. Energieverbrauch, Rohstoffeinsatz, usw.) dem konkreten Produkt zugeordnet werden. Da von den Unternehmen verschiedene Produkte hergestellt werden, muss diese Zuordnung (Allokation) von den Unternehmen vorgenommen werden. Eine Aufteilung der Verbrauchswerte auf verschiedene Produkte war für diesen Blueprint und den Vermeidungskostenrechner nicht vorgesehen, da dies noch weitere Arbeiten mit sich bringt.

Klimaneutral bezogene Produkte, deren Emissionen vorab, z. B. durch den Hersteller, ausgeglichen wurden, dürfen bei der Berechnung der eigenen Emissionen **nicht** mit „0“ bilanziert werden. Entscheidend für die Berechnung der Emissionen ist, dass in der Vorkette der gekauften Produkte/Ausgangsstoffe de facto Emissionen entstanden sind – und nicht, ob diese Emissionen bereits mittels Kompensationen klimaneutral gestellt wurden, bevor die Produkte/Ausgangsstoffe gekauft wurden. Ein Beispiel: Wenn klimaneutral gestellter Zement bezogen

wird, müssen die Emissionen, die bei dessen Produktion entstehen, im Gesamt-CCF voll bilanziert werden. Falls die berechneten Gesamtemissionen in einem zweiten Schritt ausgeglichen werden sollen, dürfen die Produktionsemissionen aber als „bereits“ ausgeglichen betrachtet und daher von der Summe der zu kompensierenden Gesamtemissionen abgezogen werden.

6 Methodik und Vorgehensweise

6.1 Scopes

Für die Erstellung der Startbilanzen wurden zunächst die relevanten Emissionsquellen, unter-

schieden nach Scope 1 bis 3, gemeinsam fixiert. In Scope 1 und 2 wurden gemäß GHG-Protokoll alle Emissionsquellen berücksichtigt. Für die Musterbetriebe wurde dabei angenommen, dass keine Klimaanlage, welche mit Kältemitteln betrieben werden, vorhanden sind. Bei Scope 3 wurde eine Fokussierung auf die (gemeinsam angenommenen) größten Emissionsquellen vorgenommen.

Im Rahmen der Begleitkreistreffen wurden anschließend die „Verbrauchswerte“ bei den einzelnen Emissionsquellen für die Musterbetriebe (siehe Kapitel 7) festgelegt.

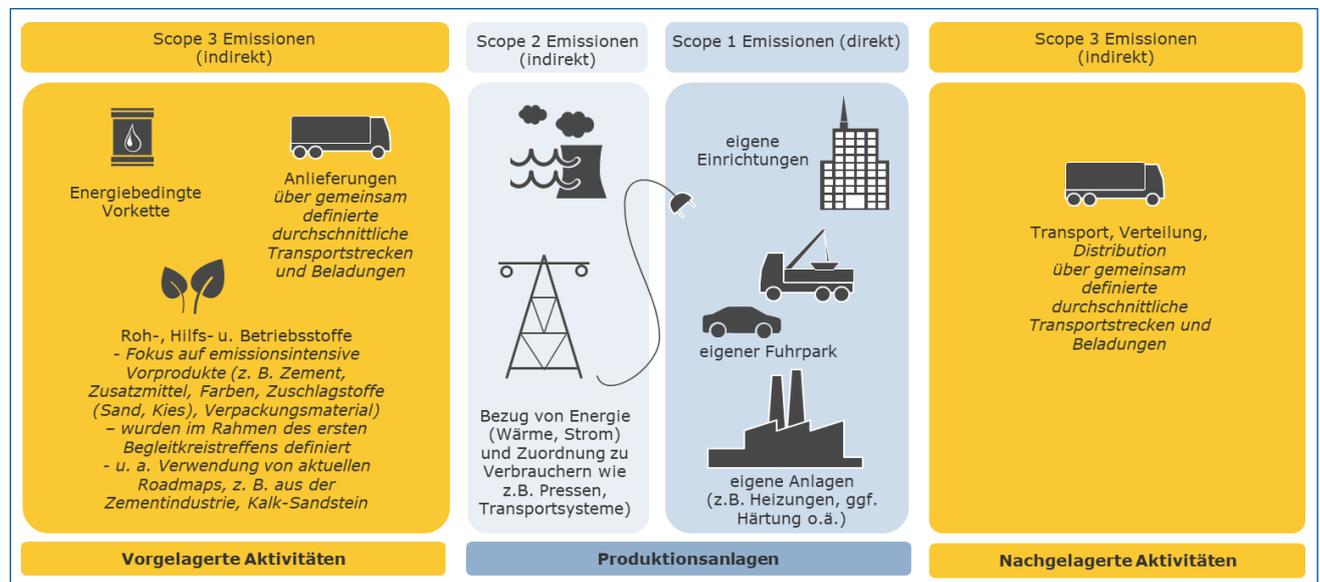


Abbildung 5: In der Startbilanz betrachtete Emissionsquellen

6.2 Vorgehen zur Modellierung

Als Grundlage für den Blueprint und den Vermeidungskostenrechner wurden zwei Referenzanlagen definiert. Bei diesen handelt es sich um fiktive Musterbetriebe, für welche Annahmen getroffen wurden. Diese wurden auch vor dem Hintergrund der Vertraulichkeit und Einhaltung des Wettbewerbsrechts in dieser Form umgesetzt. Es handelt sich nicht um konkrete Betriebe, dennoch sind sie repräsentativ für die Branche und können deshalb als Vorlagen genutzt werden. Die definierten repräsentativen Musterbetriebe „Pflastersteinfertigung“ und „Plattenfertigung“ weisen ein durchschnittliches Alter von rund 15 Jahren auf und umfassen im Hinblick auf Scope 1 und 2 neben den üblichen Produktionskomponenten eine Härtekammer und beim Plattenfertiger eine zusätzliche Oberflächenbearbeitungsanlage, z. B. zum Feststoffstrahlen.

Die Rahmenbedingungen wurden wie folgt definiert:

- Pflastersteinfertiger**
 Produktionsvolumen pro Jahr von 100.000 t bei 400.000 Takten im Zwei-Schichtbetrieb. GaLa-Bau-Produkte werden bei der Pflastersteinfertiger-Anlage berücksichtigt (Verhältnis GaLaBau-Produkte 5 % vs. 95 % Pflastersteinprodukte – auf Basis der Marktdaten aus dem Jahr 2014).
- Plattenfertiger**
 Produktionsvolumen pro Jahr von 40.000 t. Für die Plattenfertiger-Anlage werden zusätzlich berücksichtigt: Schleifanlage (nur Stromverbrauch), Oberflächenveredelung mit Strahlanlage (Stahlkügelchen), Aushärtung über Infrarot mit Imprägniermittel.

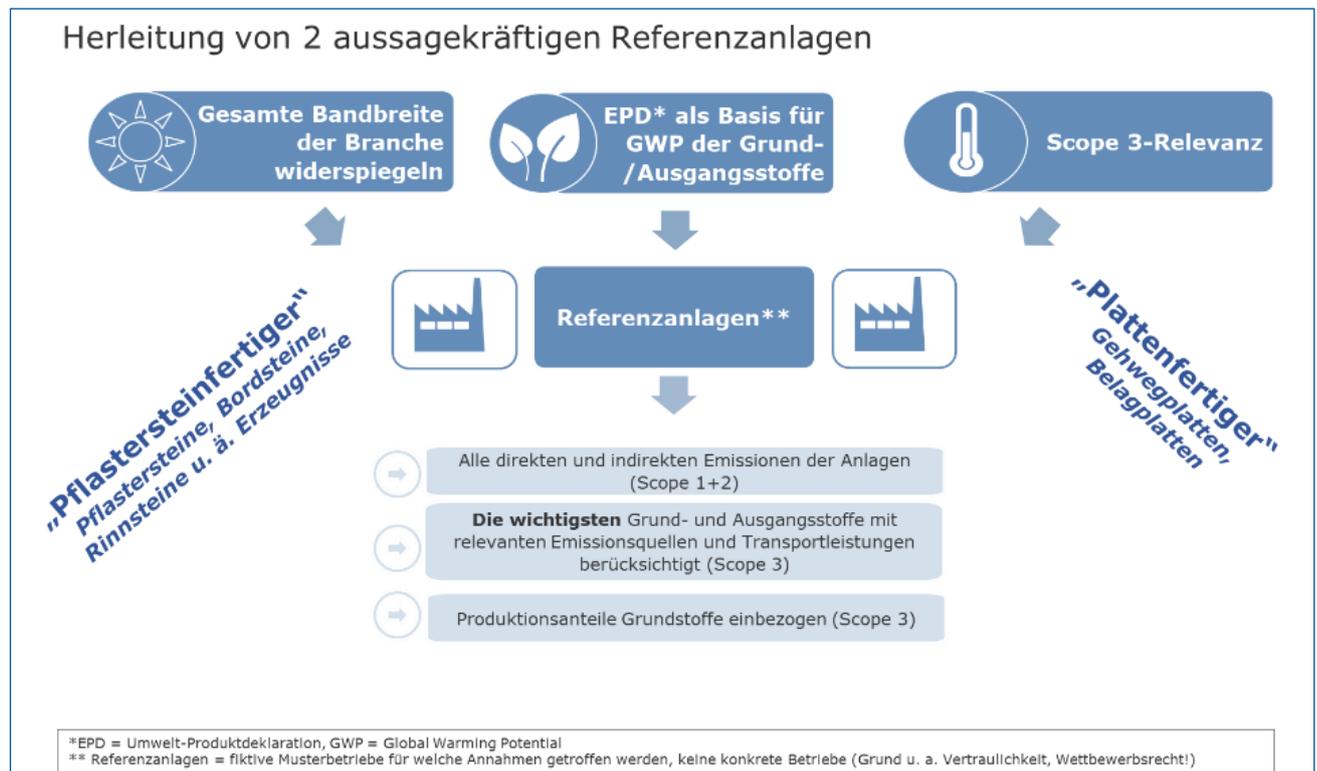


Abbildung 6: Definition Musterbetriebe

6.3 Datenbasis Emissionen

Als Basisjahr für die Betrachtung der Musterbetriebe wurde das Jahr 2020 definiert. Dies ist speziell in Bezug auf die verwendeten Emissionsfaktoren von Bedeutung.

Bei der Bestimmung der **Verbrauchsdaten** der Musterbetriebe wurden die Rückmeldungen aus dem Begleitkreis und zusätzlich bei der Pflastersteinfertiger-Anlage der Hintergrundbericht der EPD² des Betonverbandes SLG genutzt. Die Rückmeldungen aus dem Begleitkreis erfolgten in Form einer anonymisierten Abfrage der Verbrauchswerte seitens FutureCamp unter den beteiligten Betonwarenherstellern. Bei der Bewertung der gemeldeten Verbrauchswerte wurde zum einen die Spanne (Minimal- bis Maximalwert) der unterschiedlichen Meldungen sowie die Häufigkeit der Meldungen in verschiedenen, enger gefassten Spannen berücksichtigt. Im Begleitkreistreffen wurde auf dieser Basis abschließend die gemeinsame Festlegung auf einen konkreten Verbrauchswert je Emissionsquelle vorgenommen (Details siehe Kapitel 7).

Zur Berechnung der Emissionen sind neben den Verbrauchswerten die angewandten Emissionsfaktoren entscheidend. Diese wurden gemeinsam in den Begleitkreistreffen bestimmt. Der Emissionsfaktor (EF) stellt jeweils die Emissionen pro Aktivitätsdaten, z. B. in t CO_{2e} pro kWh Stromverbrauch, dar. Die EF-Recherche ist bei einem CCF häufig ein kritischer Punkt, denn die EF sollten zeitlich und technologisch aktuell, geografisch passend sowie aus offiziell anerkannten, zuverlässigen und aktuellen Quellen sein. Die EF werden in der Regel als CO₂-Äquivalente angegeben. Die Auflistung der konkret verwendeten EF und deren Quellen erfolgt im Anhang 1 „Emissionsfaktoren“.

6.4 Grundlegende Annahmen und Berechnungsparameter

Für die Musterbetriebe wurde die Nutzung von Härtekammern berücksichtigt. Hierfür wurden Annahmen vereinbart, welche in einem echten Betrieb in dieser Kombination nicht vorkommen. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um zum einen eine „durchschnittliche“ Anlage darzustellen und zum

² Environmental Product Declaration; Umweltdeklaration / Dokument zur Abbildung umweltrelevanter Eigenschaften von konkreten Produkten

anderen den einzelnen Unternehmen im Vermeidungskostenrechner die Möglichkeit zu geben, die Werte auf den eigenen Betrieb möglichst unkompliziert übertragen zu können. Folgende Annahmen wurden getroffen:

Pflastersteinfertiger

- Ca. 20 % der Betriebe beheizen die Härtekammer aktiv; dies wird mit Erdgas (angenommene Leistung 200 kW; angenommener Anteil bezogen auf alle Betriebe 80 %) oder Heizöl (angenommener Anteil bezogen auf alle Betriebe 20 %) umgesetzt;
- Ca. 80 % beheizen die Härtekammer mit Umluft, mit dem Energieträger Strom (angenommene Leistung 15 bis 20 kW).

Plattenfertiger

- Ca. 90 % der Betriebe beheizen die Härtekammer aktiv; dies wird mit Erdgas (angenommene Leistung 200 kW; angenommener Anteil bezogen auf allen Betriebe 80 %) oder Heizöl (angenommener Anteil bezogen auf alle Betriebe 20 %) umgesetzt
- Ca. 10 % beheizen die Härtekammer mit Umluft, mit dem Energieträger Strom (angenommene Leistung 15 bis 20 kW).

Ergänzende Information: Nach einer Schätzung erfolgte bei 20 % bis 25 % aller Werke die Trocknung bis vor 10 bis 15 Jahren rein durch die Raumwärme ohne Einsatz von Energie. Seitdem geht der Trend noch stärker hin zu einer Trocknung durch Beheizung bzw. Umluft. Die Beheizung liegt im Regelfall bei ca. 30 °C bis max. 40 °C. Aufgrund der gewünschten Produktqualität seitens der Kunden ist eine Beheizung oftmals notwendig.

7 Startbilanz der beiden Musterbetriebe „Plattenfertiger“ und „Pflastersteinfertiger“

In diesem Kapitel werden zunächst die getroffenen Annahmen (Verbrauchswerte) für die Plattenfertiger-Anlage und die Pflastersteinfertiger-Anlage aufgezeigt. Im Anschluss werden die auf diesen basierenden Startbilanzen der beiden Musterbetriebe im Rahmen der gemeinsam definierten operativen Systemgrenzen dargestellt. Für die Erstellung der Startbilanz wurden die folgenden Verbrauchswerte angenommen (siehe Tabelle 3 und Tabelle 4).

7.1 Definition Verbrauchswerte – Plattenfertiger

Grundsätzliche Annahmen: Produktionsvolumen: 40.000 t/a über eine Plattenpresse

Tabelle 3: Verbrauchswerte Plattenfertiger

Scope / Kategorie	Emissionsquelle	Einheit	Detaillierungsgrad / Informationen & Hinweise	Spanne von	Spanne bis	festgelegter Wert
1 Brennstoffe	Erdgas	kWh, cbm, ...		0	1.138.000	235.000
	Heizöl	kWh		0	105.634	60.000
	Flüssiggas	kWh		0	122.400	-
1 Fuhrpark	Gabelstapler (4x)	l		2.950	15.200	11.000
	Radlader (1x)	l		1.875	3.000	2.500
2 Energiebezug	Strom	kWh	keine eigene Energieerzeugung	225.000	2.530.000	450.000
3 Transport (extern), vorgelagert ¹⁾	LkW	l	Zement: ca. 7.000 t über ø 150 km Sand/Kies: ca. 27.000 t über ø 50 km Füllstoffe: ca. 2.000 t über ø 150 km Zusatzmittel: ca. 80 t über ø 50 km Farben: ca. 80 t über ø 50 km	keine Einschätzung durch BK notwendig		35.000
3 Transport (extern), nachgelagert ²⁾	LkW	l	Platten: ca. 36.000 t (21 t pro LKW) über ø 200 km (Bruch 10%) ca. 4.000 t (25 t pro LKW) über ø 50km		84.000	115.000
3 Vorkette Energiebezug	Strom Erdgas Heizöl Flüssiggas	kWh	keine Einschätzung durch BK notwendig			

¹⁾ bezogen auf 28 t pro LKW bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 33 l/100km

²⁾ bezogen auf einen durchschnittlichen Verbrauch von 33 l/100km

Scope / Kategorie	Emissionsquelle	Einheit	Detaillierungsgrad / Informationen & Hinweise	Spanne von	Spanne bis	festgelegter Wert	festgelegter Wert in t
3 Vorprodukte	Zement	t	Gesamt-Zement (ca. 10 % des Gesamtproduktes)	14,6 %	20,7 %	18,2 %	7.280
	CEM I	t	25 % vom Gesamt-Zement			4,6 %	1.820
	CEM II	t	60 % vom Gesamt-Zement			10,9 %	4.368
	Weißzement	t	15 % vom Gesamt-Zement			2,7 %	1.092
	Zusatzmittel	t	Ca. 0,5 % vom Gesamt-Zement	0,1 %	0,8 %	0,2 %	80
	Farben	t	Ca. 5 % bezogen Gesamt-Zement	0,1 %	0,3 %	0,2 %	80
	Füllstoffe	t		0,0 %	2,6 %	0,0 %	-
	Zuschlagstoffe (Sand, Kies)	t		55,2 %	70,5 %	66,8 %	26.720
	Flugasche	t		0,0 %	0,0 %	0,0 %	-
	Quarzsteinmehl	t		0,0 %	1,1 %	0,5 %	200
	Kalksteinmehl	t		0,0 %	9,0 %	4,0 %	1.600
	Wasser (Eigengewinnung) - THG bereits in Strom enthalten	m³		2,7 %	15,6 %	10,0 %	4.000
	Imprägniermittel (Aushärtung über Infrarot)	t		0,0 %	0,1 %	0,1 %	40
Summe						100,0 %	40.000
3 weitere Quellen	Verpackungsmaterial	t	Versand auf Paletten mit Abdeckfolie und Umreifungsbändern, ggf. Zwischenlagen – wird in EPD geprüft und anschließend entschieden, ob zu integrieren	0,0 %	0,4 %	0,2 %	80
	Abwasser	m³		0,0 %	13,0 %	5,0 %	2.000
	Stahlkugeln	t		0,0 %	0,1 %	0,1 %	40

7.2 Definition Verbrauchswerte – Pflastersteinfertiger

Grundsätzliche Annahmen: Pflastersteine, Bordsteine, Rinnsteine u. ä. Erzeugnisse; Produktionsvolumen: 100.000 t/a bei 400.000 Takten im Zwei-Schichtbetrieb

Tabelle 4: Verbrauchswerte Pflastersteinfertiger

Scope / Kategorie	Emissions-quelle	Einheiten	Detailierungsgrad / Informationen & Hinweise	Spanne von	Spanne bis	EPD Hintergrundbericht (umgerechnet auf Produktionsvolumen 100.000 to.)*	festgelegter Wert
1 Brennstoffe	Erdgas	kWh		0	336.000	320.400	45.000
	Heizöl	kWh		0	110.664	36.000	10.000
	Flüssiggas	kWh		0	39.397		0
1 Fuhrpark	Gabelstapler (10x)	l		18.370	43.360		32.000
	allg. Verbraucher	l		0	500		
	Radlader (1x)	l		1.000	14.000		4.000
2 Energiebezug	Strom	kWh	keine eigene Energieerzeugung	598.000	1.500.000	744.000	750.000
3 Transport (extern), vorgelagert ¹⁾	LkW	l	Zement: ca. 13.000 t über ø 150 km Sand/Kies: ca. 80.000 t über ø 50 km Zusatzmittel: ca. 100 t über ø 50 km Farben: ca. 400 t über ø 50 km	keine Einschätzung durch BK notwendig			80.000
3 Transport (extern), nachgelagert ¹⁾	LkW	l	Pflaster: ca. 95.000 t (21 t pro LKW) über ø 70 km, bzw. GalaBau-Produkte über ø 250 km (Bruch 5%) ca. 5.000 t (25 t pro LKW) über ø 50km	Annahme i.O.	351.230		105.000
3 Vorkette Energiebezug	Strom Erdgas Heizöl Flüssiggas	kWh / l		keine Einschätzung durch BK notwendig			analog Scope 1 u. 2

* Update 2020, Anhang zum Hintergrundbericht EPD Betonpflasterstein grau mit Vorsatz (EPD-SLG-20150317-CAE1-DE)

¹⁾ bezogen auf 25 t pro LKW und einem durchschnittlichen Verbrauch von 33 l/100km

²⁾ bezogen auf einen durchschnittlichen Verbrauch von 33 l/100km

Scope / Kategorie	Emissionsquelle	Einheiten		Spanne von	Spanne bis	EPD Hintergrundbericht (umgerechnet auf Produktionsvolumen 100.000)*		Materialien in Prozent	Materialien in Prozent	Materialien in t
3 Vorprodukte	Zement	t	Gesamt-Zement (ca. 10 % des Gesamtproduktes)	10,0 %	15,0 %	13.700	12,7 %	12,9 %	12,9 %	12.900
	CEM I	t	25 % vom Gesamt-Zement					3,2 %	3,2 %	3.225
	CEM II	t	70 % vom Gesamt-Zement					9,0 %	9,0 %	9.030
	Weißzement	t	5 % vom Gesamt-Zement					0,6 %	0,6 %	645
	Zusatzmittel	t	Ca. 0,5 % Gesamt-Zement	0,0 %	0,2 %	76	0,1 %	0,1 %	0,1 %	100
	Farben	t	Ca. 5 % bezogen auf Gesamtmenge Zement	0,0 %	1,8 %			0,4 %	0,4 %	400
	Füllstoffe	t		0,0 %	3,1 %			0,0 %	0,0 %	-
	Sand, Kies	t		76,2 %	85,2 %	91.300	84,9%	79,8 %	79,8 %	79.800
	Flugasche	t		0,0 %	2,3 %	2.190	2,0%	1,8 %	1,8 %	1.800
	Quarzsteinmehl	t		0,0 %	0,0 %		0,0%	0,0 %	0,0 %	-
	Kalksteinmehl	t		0,0 %	2,3 %	230	0,2%	1,5 %	1,5 %	1.500
	Wasser (Eigengewinnung)	m ³			1,6 %	6,3 %			3,5 %	3,5 %
			Summe	87,7 %	116,0 %	107.495,5	100,0%	100,0 %	100,0 %	100.000
3 weitere Quellen	Verpackungs-material	t	Versand auf Paletten mit Abdeckfolie und Umreifungsbändern, ggf. Zwischenlagen – wird in EPD geprüft und anschließend entschieden, ob zu integrieren	0,0 %	0,4 %			0,2 %	0,2 %	200
	Abwasser	l		0,0 %	0,3 %	1.000	0,9 %	0,2 %	0,2 %	200
* Update 2020, Anhang zum Hintergrundbericht EPD Betonpflasterstein grau mit Vorsatz (EPD-SLG-20150317-CAE1-DE)										

7.3 Startbilanz – Plattenfertiger

Auf Basis der angenommenen Verbrauchswerte ergeben sich in Kombination mit den verwendeten Emissionsfaktoren für den Musterbetrieb „Plattenfertiger“ folgende Treibhausgas-Bilanzen innerhalb der in Kapitel 7.1 festgelegten operativen Systemgrenzen (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Startbilanz Plattenfertiger

Berechnung THG-Bilanz Plattenfertiger	Scope 1*	Scope 2*	Scope 3*	gesamt*
Erdgas (kWh Hs)	43	-	7	50
Heizöl (kWh)	16	-	2	18
Flüssiggas (kWh Hi)	-	-	-	-
Strommix Deutschland. 2020	-	172	25	197
Gabelstapler (4x)	29	-	5	34
Radlader (1x)	7	-	1	8
Transport vorgelagert	-	-	109	109
Transport nachgelagert	-	-	360	360
Zement gesamt			4.549	4.549
CEM I (Anteil 25 %)			1.210	1.210
CEM II (Anteil 60 %)			2.416	2.416
Weißzement (Anteil 15 %)			923	923
Zusatzmittel			148	148
Farben			208	208
Sand, Kies			13	13
Flugasche			-	-
Quarzsteinmehl			9	9
Kalksteinmehl			72	72
Wasser (Eigengewinnung) - THG bereits in Strom enthalten			-	-
Imprägniermittel (Aushärtung über Infrarot)			81	81
Verpackungsmaterial			65	65
Abwasser			1	1
Stahlkugeln (Strahlanlage)			60	60
Gesamt	95	172	5.715	5.982
je t Produkt	0,0024	0,0043	0,1429	0,1496
*jeweils in t CO ₂ e				

7.4 Startbilanz – Pflastersteinfertiger

Auf Basis der angenommenen Verbrauchswerte ergeben sich in Kombination mit den verwendeten Emissionsfaktoren für den Musterbetrieb „Pflastersteinfertiger“ folgende Treibhausgas-Bilanzen innerhalb der in Kapitel 7.2 festgelegten operativen Systemgrenzen (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Startbilanz Steinfertiger

Berechnung THG-Bilanz Pflastersteinfertiger	Scope 1*	Scope 2*	Scope 3*	Gesamt*
Erdgas (kWh Hs)	9	-	1	8
Heizöl (kWh)	2	-	0	2
Flüssiggas (kWh Hi)	-	-	-	-
Strommix Deutschland. 2020	-	287	42	329
Gabelstapler (10x)	85	-	15	100
Radlader (1x)	11	-	2	13
Transport vorgelagert	-	-	250	250
Transport nachgelagert	-	-	328	328
Gesamt-Zement			7.683	7.683
CEM I (Anteil 25 %)			2.145	2.145
CEM II (Anteil 70 %)			4.994	4.994
Weißzement (Anteil 5 %)			545	545
Zusatzmittel			185	186
Farben			1.040	1.040
Füllstoffe			-	-
Sand, Kies			39	39
Flugasche			356	356
Quarzsteinmehl			-	-
Kalksteinmehl			68	68
Wasser (Eigengewinnung) - THG bereits in Strom enthalten			-	-
Imprägniermittel (Aushärtung über Infrarot)			-	-
Verpackungsmaterial			161	161
Abwasser			0,1	0,1
Stahlkugeln (Strahlanlage)			-	-
Gesamt	107	287	10.171	10.565
je t Produkt	0,0011	0,0029	0,1017	0,1056
*jeweils in t CO ₂ e				

8 Wege zur Klimaneutralität

8.1 Vermeidungsmaßnahmen

Zur Reduzierung der Emissionen und Erreichung der Klimaneutralität muss jedes Werk der Betonsteinindustrie entsprechende Maßnahmen identifizieren, beurteilen und umsetzen. Um eine allgemeine Handreichung für die Mitgliedsunternehmen des Betonverbandes SLG in Deutschland anbieten zu können, wurde der Vermeidungskostenrechner (VKR) mit definierten Reduktionsmaßnahmen erstellt. Im VKR wird der Schwerpunkt auf den Zeithorizont bis 2030 gesetzt. Abgebildet sind drei Jahre: 2020 als Referenzjahr sowie 2025 und 2030. Bereits bekannte Rahmenbedingungen aus der Politik werden berücksichtigt, z. B. der kontinuierliche Ausbau von regenerativen Energien für den deutschen Strommix, mit dem Ziel, die Emissionen bis 2045 auf null zu reduzieren.

Im Rechner sind insgesamt neun Maßnahmen enthalten. Dabei haben Maßnahme eins bis sechs Auswirkungen auf die Emissionen aus Scope 1 und 2 und sind somit direkt beeinflussbar durch das Werk. Maßnahmen sieben bis neun dienen dazu, die Scope 3-Emissionen aus den Vorprodukten, insbesondere Zement, zu reduzieren. Dies ist durch das jeweils einzelne Werk vor allem durch Rezepturänderungen möglich und wird in den Maßnahmen betrachtet. Diese Maßnahmen sind von besonders hoher Bedeutung, da die Emissionen aus Zement einen relevanten Anteil der betrachteten Gesamtemissionen der Musterwerke ausmachen.

Die nachfolgende Abbildung 7 gibt einen Überblick über die betrachteten Maßnahmen.

Maßnahme 1 (Scope 1 oder Scope 2)	Verminderung oder Vermeidung von Brennstoffeinsatz für die Härtekammern
Maßnahme 2 (Scope 1)	Umstellung von Dieselstaplern auf Elektroantrieb
Maßnahme 3 (Scope 1)	Ersatz von Dieselstaplern durch Dieselstapler mit besserer Effizienz
Maßnahme 4 (Scope 2)	Ökostrom-Bezug durch z. B. Power Purchase Agreements (PPAs) oder Herkunftsnachweise (HKNs)
Maßnahme 5 (Scope 2)	Produktion von eigenem regenerativen Strom – speziell Photovoltaik
Maßnahme 6 (Scope 1)	Generelle Energieeinsparmaßnahmen ohne Einfluss auf die Härtekammern, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Energieeffizienzmaßnahmen • Modernisierung und Neuanschaffung von Produktionsanlagen • Effizienzsteigerung energieintensiver Druckluft- und Hydrauliktechnik • Abwärmenutzung und Energierückgewinnung
Maßnahme 7 (Scope 3)	Rezepturänderung – Veränderung des Materialeinsatzes
Maßnahme 8 (Scope 3)	Rezepturänderung – Einsatz von Sorten mit geringeren Emissionsfaktoren (über allgemeine Marktentwicklung hinausgehend)
Maßnahme 9 (Scope 3)	Rezepturänderung – Einsatz von Recyclingmaterial

Abbildung 7: Dargestellte Maßnahmen im Vermeidungskostenrechner

Maßnahme 1

Verminderung oder Vermeidung von Brennstoffeinsatz für die Härtekammern

Maßnahme 1 bewertet die Reduktion von Scope 1-Emission im Werk durch die Reduktion oder die Vermeidung des Einsatzes fossiler Energieträger für die Härtekammern. Sollten die Härtekammern mit Strom betrieben werden, ist auch dies in der Maßnahme abgebildet. Diese Maßnahme würde die Scope 2-Emissionen im Werk reduzieren.

Maßnahme 2

Umstellung von Dieselstaplern auf Stapler mit Elektroantrieb

In den zwei Musterwerken kommen Stapler in unterschiedlicher Anzahl zum Einsatz. Derzeit werden diese überwiegend mit Diesel betrieben. Für die Musterbetriebe wurde vereinfachend angenommen, dass ausschließlich Stapler mit Dieselantrieb zum Einsatz kommen. Als klimafreundliche Alternativen werden elektrische Stapler in Maßnahme 2 betrachtet. Der Ersatz von Dieselstaplern durch energieeffizientere Elektrostapler reduziert die Scope 1-Emissionen. Durch die effizienteren Elektrostapler werden trotz steigender Scope 2-Emissionen die Gesamtemissionen reduziert.

Maßnahme 3

Ersatz von Dieselstaplern durch Dieselstapler mit besserer Effizienz

Maßnahme 3 betrachtet den Austausch von Dieselstapler durch effizientere Dieselstapler. Diese Maßnahme reduziert die Scope 1-Emissionen.

Maßnahme 4

Ökostrom-Bezug durch z. B. Power Purchase Agreements (PPAs) oder Herkunftsnachweise (HKNs)

Maßnahme 4 umfasst die Umstellung des Strombezugs vom deutschen Strommix auf 100 % Grünstrom. Der Energiebedarf wird bei dieser Maßnahme nicht beeinflusst. Bei dieser Maßnahme kann Ökostrom, z. B. direkt über einen Vertrag mit einem Erzeuger von erneuerbarem Strom, beschafft werden (Power Purchase Agreement – PPA) oder kann über den Stromlieferanten mit Hilfe von Herkunftsnachweisen (HKNs) erfolgen. Somit fallen keine Investitions- oder sonstigen Kosten an. Die zusätzlichen Kosten werden über den Grünstrompreis abgebildet. Die Umstellung auf 100 % Grünstrom führt zur kompletten Reduktion der Scope 2-Emissionen.

Maßnahme 5

Produktion eigener regenerativer Strom

Maßnahme 5 umfasst die Installation einer eigenen erneuerbaren Stromerzeugungsanlage. Im betrachteten Standardfall wird insbesondere die Installation einer Photovoltaikanlage bewertet. Hier betrachtet ist eine Anlage, die rund 100.000 kWh pro Jahr erzeugt. Dies entspricht einer Anlage mit einer Leistung von rund 110 Kilowatt-Peak bei der durchschnittlichen Sonneneinstrahlung in Deutschland. Diese Maßnahme ist jedoch nicht auf Photovoltaik begrenzt, sondern kann auch für anderen regenerative Erzeugungsanlagen genutzt werden. Die Erzeugung von eigenem Grünstrom reduziert die Scope 2-Emissionen.

Maßnahme 6

Generelle Energieeinsparmaßnahmen ohne Einfluss auf die Härtekammern

Es sind eine Vielzahl von Effizienzsteigerungsmaßnahmen möglich. Einige Beispiele sind:

- Energieeffizienzmaßnahmen
- Modernisierung und Neuanschaffung von Produktionsanlagen
- Effizienzsteigerung energieintensiver Druckluft- und Hydrauliktechnik
- Abwärmenutzung und Energierückgewinnung.

Da die Maßnahmen sowie das zu realisierende Potenzial im jeweils betrachteten Unternehmen sehr unterschiedlich ausfallen können, sind die dort enthaltenen Default-Werte eher als Platzhalter zu verstehen. Je nachdem, ob ein fossiler Energieträger oder der Strombedarf durch die Effizienzmaßnahme reduziert wird, werden die Scope 1- oder Scope 2-Emissionen des Werkes reduziert.

Maßnahme 7

Rezepturänderung – Veränderung Materialeinsatz

Maßnahme 7 betrachtet eine Rezepturänderung. Konkret wird im Standardfall die Reduzierung des Zementeinsatzes (CEM I, CEM II und Weißzement sowie, falls vorhanden, auch eine weitere Zementart) betrachtet. Um den Zementanteil zu reduzieren, wird zudem angenommen, dass ein Mehrverbrauch von Quarzsteinmehl und Kalksteinmehl erforderlich ist. Zudem besteht im Eingabefeld die Möglichkeit zwei weitere Ersatzstoffe einzutragen und zu berücksichtigen. Diese Maßnahme dient der Reduktion der Scope 3-Emissionen.

Maßnahme 8

Rezepturänderung – Einsatz von Zementarten mit geringeren Emissionsfaktoren

Maßnahme 8 betrachtet eine Rezepturänderung über die allgemeine Marktentwicklung hinausgehend, um die Scope 3-Emissionen zu reduzieren. Betrachtet wird der Einsatz/Austausch von Zement durch Einsatzstoffe mit geringerem Emissionsfaktor. Im Standardbeispiel wird angenommen, dass die Zementart 1:1 gegen eine andere Art ausgetauscht wird, welche einen geringeren Emissionsfaktor besitzt als die üblicherweise eingesetzten Zementsorten. Zudem sind Platzhalter vorgesehen, um ggf. weitere benötigte Ersatzstoffe eintragen zu können. Hierbei müssen die benötigten Mengen für das betrachtete Werk, die Produktionsmenge und der Emissionsfaktor eingetragen werden.

Maßnahme 9

Rezepturänderung – Einsatz von Recyclingmaterial

Maßnahme 9 betrachtet die Reduktionsmöglichkeiten der Scope 3-Emissionen durch den Einsatz von Recyclingmaterial.

8.2 Berücksichtigte Kosten

Zur Beurteilung der Maßnahme sind Default-Werte zum Reduktionspotenzial der Treibhausgasemissionen und den damit verknüpften, relevanten Kosten hinterlegt. Der Vermeidungskostenrechner liefert keine vollständige Kostenbetrachtung des Werks. Es werden ausschließlich die Kosten, die direkt mit dem Thema Treibhausgasneutralität verknüpft sind, berücksichtigt und dargestellt. Diese beinhalten:

- Kapitalkosten im Rahmen der für die Maßnahme betrachteten Investitionen,
- einmalige Kosten (wie z. B. notwendig für Brandschutzmaßnahmen),
- zusätzliche, jährliche Kosten notwendig für die umgesetzte Maßnahme (für zum Beispiel einen erhöhten Wartungsaufwand oder zusätzlichen Personalbedarf),
- Kosten für Energieträger und
- CO₂-Kosten.

Investitionsbedarf, einmalige Kosten und jährliche Zusatzkosten

Zur Erreichung der Treibhausgasneutralität sind Investitionen in Effizienzsteigerung und Ersatzinvestitionen mit Effizienzauswirkungen (z. B. Ersatz von Dieselstaplern) sowie Investitionen in spezifische

Emissionsminderungsmaßnahmen der Scope 3-Emissionen notwendig. Zudem können weitere Kosten in Zusammenhang mit der Umsetzung der Maßnahme anfallen (u. a. einmalige Kosten und auch jährliche Zusatzkosten).

Daher sind diese für jede Maßnahme berücksichtigt und zum Teil mit einem Default-Wert hinterlegt. Diese dienen vor allem der ersten Orientierung. Je nach tatsächlichen Umständen im Werk und individuell unterschiedlichen Maßnahmen können die Kosten sehr unterschiedlich ausfallen und sollten daher individuell ermittelt und durch Handeingaben angepasst werden.

Aufbauend auf den betrachteten Investitionen werden Kapitalkosten (CAPEX) berechnet und im Ergebnis dargestellt. Die Kapitalkosten werden mit einem Zinssatz (Default-Wert: 8 %) und einem Abschreibungszeitraum (Default-Wert: 10 Jahre) pro Maßnahme berechnet.

Energiebezogene Kosten

Energiepreise sind volatil und weisen zudem regionale und unternehmensbezogene Unterschiede auf. Um eine Vergleichbarkeit mit dem Referenzjahr zu gewährleisten und aus Gründen der Vereinfachung, werden daher in den hinterlegten Default-Werten der unterschiedlichen Jahre konstante Preise für die etablierten Energieträger Strom, Erdgas, Heizöl, Flüssiggas und Diesel hinterlegt. Die hinterlegten Preise orientieren sich am Energiebedarf der Betonsteinindustrie und können individuell angepasst werden.

Seit 2021 sind Energieträger in Deutschland zusätzlich mit einer CO₂-Bepreisung belastet. Diese CO₂-Kostenbestandteile aus dem nationalen Emissionshandel werden in den Default-Energiepreisen nicht berücksichtigt, sondern separat in den CO₂-Kosten ausgewiesen. Die hinterlegten Preise basieren auf Werten aus dem Jahr 2020, in denen diese Kosten noch nicht enthalten waren. Der angenommene Default-Strompreis wurde um den CO₂-Anteil aus dem europäischen Emissionshandel bereinigt. Die Kosten werden ebenfalls gesondert betrachtet.

CO₂-Kosten

Im Rahmen des Projektes werden im Standardfall sämtliche CO₂-Emissionen bepreist. Das betrifft neben den Emissionen aus den Energieträgern und dem Energiebezug auch die Scope 3-Emissionen aus den Vorprodukten. Da für die drei Scopes unterschiedliche Preise relevant sind, können diese im

VKR auch separat variiert werden. Maßgeblich für die CO₂-Kosten ist das jeweils überwiegend gültige System.

Die Emissionen aus der Zementherstellung und der Stromerzeugung unterliegen dem europäischen Emissionshandel (EU-ETS), die Emissionen der Energieträger im Werk und aus dem Transport dem nationalen Emissionshandel (nEHS). Zudem können Effekte aus kostenlosen Zuteilungen, zum Beispiel in der Zementindustrie, im Rahmen des EU-ETS den CO₂-Preis beeinflussen. Dies fällt je Industrie und Unternehmen sehr unterschiedlich aus. Zudem ist nicht bekannt, ob dieser Vorteil an die Kunden im vollen Umfang weitergegeben wird. Somit können unterschiedlichste Effekte und Preise zum Tragen kommen. Zur Vereinfachung wurden daher die CO₂-Preise im VKR für alle drei Scopes gleich hinterlegt.

Ambitionssteigerungen der deutschen und europäischen Klimapolitik führen zu weiter steigenden Preisen für Treibhausgasemissionen. Dies betrifft beide genannten Systeme. Daher wird im VKR eine Preissteigerung der Emissionen angenommen.

8.3 Skizzierung Reduktionspfade

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie sich die Emissionen der beiden Musteranlagen mit der Umsetzung einiger der oben skizzierten Maßnahmen entwickeln. Wie auch im VKR ist 2020 das Referenzjahr.

In der Skizzierung der Reduktionspfade wird 2023 die erste Maßnahme umgesetzt und in den folgenden Jahren weitere Maßnahmen. Die umgesetzten Maßnahmen sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Umgesetzte Maßnahmen für die Reduktionspfade im Zeitraum bis 2030

Umsetzungsjahr	Maßnahme	Bezeichnung	Details
2023	Maßnahme 1	Verringerung des Energiebedarfs der Härtekammern	um 30 %
2024	Maßnahme 2	Austausch Dieselstapler durch Elektrostapler	erste Hälfte der Staplerflotte
2025	Maßnahme 2	Austausch Dieselstapler durch Elektrostapler	zweite Hälfte der Staplerflotte
2026	Maßnahme 4	Bezug von 100 % Grünstrom	Grünstrommix
2027	Maßnahme 6	generell Energieeinsparmaßnahmen ohne Einfluss auf die Härtekammern	Effizienzsteigerung der Wärmeversorgung um 5 %
2028	Maßnahme 7	Rezepturänderung - Reduzierung Materialeinsatz	Reduktion von CEM I, CEM II und Weißzement um 2 % Steigerung von Quarzsteinmehl und Kalksteinmehl um 2 % (ggü.2020)
2029	keine Maßnahme		
2030	Maßnahme 7	Rezepturänderung - Reduzierung Materialeinsatz	Reduktion von CEM I, CEM II und Weißzement um 5 % Steigerung von Quarzsteinmehl und Kalksteinmehl um 5 % (ggü.2020)

Zuerst werden Maßnahmen umgesetzt, die Einfluss auf die Scope 1- und Scope 2-Emissionen haben. Diese sind in Abbildung 8 für den Pflastersteinfertiger und in Abbildung 9 für den Plattenfertiger dargestellt. 2023 ist bereits ein deutlicher Rückgang der Scope 1- und Scope 2-Emissionen gegenüber dem Referenzjahr zu sehen. Dies liegt zum einen an der Reduktionsmaßnahme 1 als solcher: Im Musterwerk werden die Härtekammern mit einem Energiemix von Erdgas, Heizöl und Strom betrieben. Die Verringerung des Energiebedarfs und somit die Reduktion der Energieträger für die Härtekammern hat Auswirkungen auf die Emissionen

beider Scopes. Zudem wird aber auch der Anteil an erneuerbaren Energien im deutschen Strommix zunehmend größer, wodurch der Emissionsfaktor für Strom sinkt. Auch dieser Effekt spielt beim Absinken der Scope 2-Emissionen eine Rolle.

In den zwei darauffolgenden Jahren werden jeweils pro Jahr die Hälfte der dieselbetriebenen Stapler durch effizientere Elektrostapler ersetzt, sodass bis Ende 2025 die komplette Staplerflotte auf Elektroantrieb umgestellt ist. Hierdurch sinken die Scope 1-Emissionen stark ab. Dies gilt vor allem für die Pflastersteinfertiger-Anlage, da die Emissionen

aus Diesel den größten Anteil der Scope 1-Emissionen ausmachen. Die Scope 2-Emissionen steigen durch den erhöhten Strombedarf zunächst an. Da die neuen Stapler insgesamt energieeffizienter sind, werden die Gesamtemissionen jedoch gesenkt.

2026 wird Maßnahme 4 umgesetzt und der komplette Strombedarf durch Grünstrom gedeckt. Somit entfallen die gesamten Scope 2-Emissionen. Die Scope 1-Emissionen liegen beim Musterwerk des Pflastersteinfertigers 2026 bei rund 21 t CO₂. Diese können durch eine Effizienzsteigerung der Wärmeversorgung von rund 5 % im Jahr 2027 um eine weitere Tonne gesenkt werden (siehe Abbildung 8).

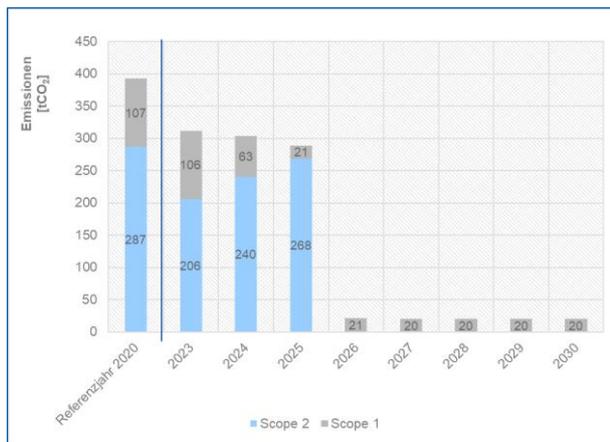


Abbildung 8: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Scope 1 und 2 des Musterwerks Pflastersteinfertiger bis 2030

Beim Musterwerk „Plattenfertiger“ liegen die Scope 1-Emissionen 2026 bei rund 53 t CO₂. Auch diese Emissionen werden durch die Effizienzsteigerung der Wärmeversorgung um knapp eine Tonne auf 52 t CO₂ reduziert (siehe Abbildung 9).

In den Jahren 2028 und 2030 werden zudem Reduktionsmaßnahmen umgesetzt, um die Scope 3-Emissionen aus Zement zu reduzieren. Dies erfolgt durch eine Rezepturänderung. Im geringen Umfang sind die Scope 3-Emissionen durch die Reduktion der Energieträger in den beiden Musterwerken bereits zurückgegangen. Auch hier wurden die Default-Werte aus dem VKR herangezogen. 2028 wird der gesamte Zementeinsatz um 2 % gegenüber 2020 reduziert. Damit die gewünschte Qualität der Produkte erhalten bleibt, ist ein Mehreinsatz von Quarzsteinmehl und Kalksteinmehl um 2 % notwendig. Bis 2030 kann der Zementeinsatz damit bis zu 5 % reduziert werden.

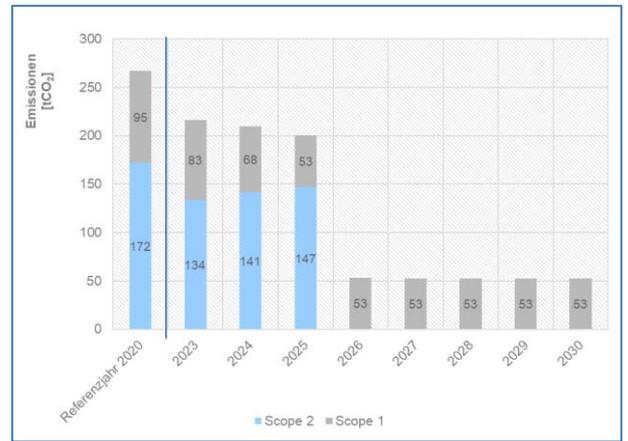


Abbildung 9: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Scope 1 und 2 des Musterwerks Plattenfertiger bis 2030

Bis 2030 können die Gesamtemissionen beim Musterwerk Pflastersteinfertiger um rund 7 % gesenkt werden (siehe Abbildung 10). Werden nur die Scope 1- und 2-Emissionen betrachtet, beträgt die Reduktion 95 % bis 2030.

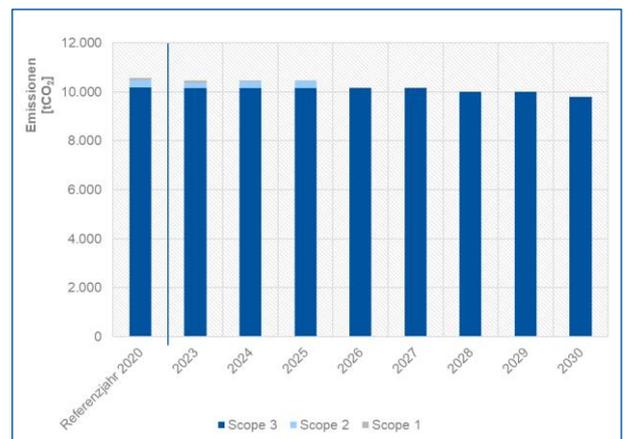


Abbildung 10: Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen des Musterwerks Pflastersteinfertiger bis 2030

Die Gesamtemissionen beim Musterwerk Plattenfertiger können bis 2030 um rund 8 % gesenkt werden (siehe Abbildung 11). Bei den Scope 1- und 2-Emissionen beträgt die Reduktion 80 %.

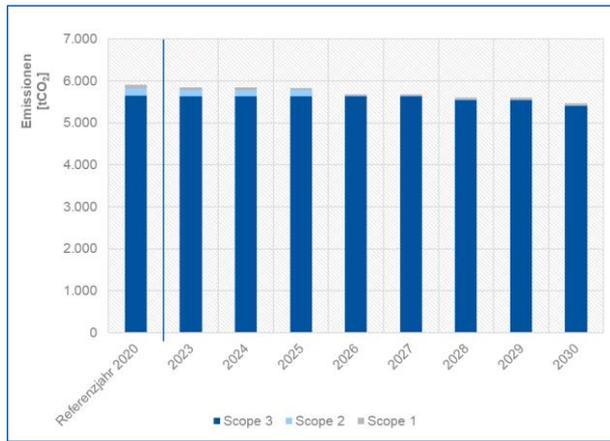


Abbildung 11: Entwicklung der gesamten CO₂-Emissionen des Musterwerks Plattenfertiger bis 2030

9 Vermeidungskostenrechner als Entscheidungshilfe

In diesem Kapitel werden der Vermeidungskostenrechner und die Bedienung des Rechners dargestellt.

9.1 Allgemeine Vorstellung: Aufbau und Erstellung der Startbilanz

Der Vermeidungskostenrechner (VKR) dient als Handreichung, damit die einzelnen Mitgliedsunternehmen des Betonverbandes SLG eine erste, qualifizierte Abschätzung zu ihren CO₂-Emissionen und des Minderungspotenzials treffen können. Zudem werden Mehrkosten der neun betrachteten Maßnahmen für die CO₂-Minderung im Vergleich zu einer konventionellen Referenzanlage dargestellt.

Der VKR ist Excel basiert. Als Basis sind für sämtliche Parameter (Verbrauchswerte, Preise und Emissionsfaktoren) Default-Werte vordefiniert. Jeder dieser Default-Werte kann durch den Benutzer angepasst werden. Zudem sind einige Platzhalter vorgesehen, damit das vordefinierte Musterwerk möglichst genau an die Bedingungen der einzelnen realen Werke angepasst werden kann. Werden keine Handeingaben getätigt, fallen die Berechnungen auf die Default-Werte zurück. Für die Maßnahmen werden zwei Jahre (2025 und 2030) betrachtet und dem Referenzjahr 2020 gegenübergestellt.

Der VKR ist aus mehreren Tabellenblättern aufgebaut. Die einzelnen Elemente sind in Abbildung 12 aufgezeigt.

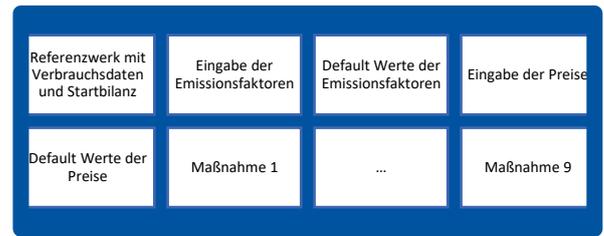


Abbildung 12: Aufbau des Vermeidungskostenrechners

Im ersten Blatt des VKR ist das Referenzwerk mit den Verbrauchsdaten zu finden. Zudem werden hier die Startbilanz und die Energie- und CO₂-bezogenen Kosten berechnet und tabellarisch dargestellt. Grundsätzlich sind die beiden fiktiven Musterbetriebe mit Default-Werten hinterlegt, die die hier betrachtete Branche durchschnittlich darstellen sollen.

In Abbildung 13 und Abbildung 14 sind Auszüge der Verbrauchswerte des Musterwerks Pflastersteinfertiger zu sehen. Wie in Abbildung 13 zu sehen, können oben links Angaben zum Werk und dem Bearbeiter eingetragen werden. In dem grau hinterlegten Bereich sind die Default-Verbrauchswerte für Energieträger, Produktionsmenge und Vorprodukte zu erkennen.

Abbildung 13 zeigt den Auszug mit den Energieträgern, welche die Scope 1- und Scope 2-Emissionen verursachen. Hier werden zudem unterschiedliche Bereiche abgegrenzt: Härtekammern, restliches Werk und interner Fuhrpark. Diese Unterscheidung ist für die spätere Betrachtung und Berechnung der Maßnahmen relevant.

Abbildung 14 zeigt einen Auszug aus den Verbrauchswerten der Vorkettenprodukte, welche vor allem die Scope 3-Emissionen verursachen. Zudem sind Kommentarfelder vorhanden. Diese sind bei den Platzhaltern hinterlegt, für welche keine Werte im Musterwerk hinterlegt sind. Im Kommentarfeld kann vermerkt werden, um welchen Energieträger oder Stoff es sich handelt oder auch eine Quelle oder ein Dokumentenverweis eingetragen werden. Sollten die Platzhalter bei der individuellen Anpassung der Berechnungen genutzt werden, müssen zudem Werte für die Emissionsfaktoren und zum Teil auch Preise in den entsprechenden Tabellenblättern hinterlegt werden, damit die Ergebnisse korrekt berechnet und abgebildet werden können.

Musterwerk - Pflastersteinfertiger						
Name Werk	<input type="text"/>					
Datum	<input type="text"/>					
Name Mitarbeiter	<input type="text"/>					
	Produktionsmenge	Default Wert 100.000 t	Handeingabe			
	<input type="text"/>		<input type="text"/>	t		
Energieträger		Default Verbrauchswerte	Einheit	Handeingabe Verbrauchswerte	Einheit	Kommentarfeld
Scope 1 und 2						
Härtekammern	Erdgas	9.000 kWh Hs		<input type="text"/>	kWh Hs	
	Heizöl	2.000 kWh Hi		<input type="text"/>	kWh Hi	
	Elektrische Energie	150.000 kWh		<input type="text"/>	kWh	
	Alternativer Energieträger	0 kWh		<input type="text"/>	kWh	<input type="text"/>
Heizung/Sonstige Wärmeversorgung	Erdgas	36.000 kWh Hs		<input type="text"/>	kWh Hs	
	Heizöl	8.000 kWh Hi		<input type="text"/>	kWh Hi	
Muster Werk (ohne Härtekammern)	Elektrische Energie	600.000 kWh		<input type="text"/>	kWh	
	Flüssiggas	0 kWh		<input type="text"/>	kWh	
	Alternativer Energieträger	0 kWh		<input type="text"/>	kWh	<input type="text"/>
Gabelstapler (10x) ¹⁾	Diesel	32.000 Liter		<input type="text"/>	Liter	
Radlader (1x)	Diesel	4.000 Liter		<input type="text"/>	Liter	

Abbildung 13: VKR-Auszug – Referenzwerk mit relevanten Verbrauchswerten für Scope 1- und Scope 2-Emissionen

	Produktionsmenge	Default Wert 100.000 t	Handeingabe			
	<input type="text"/>		<input type="text"/>	t		
Energieträger		Default Verbrauchswerte	Einheit	Handeingabe Verbrauchswerte	Einheit	Kommentarfeld
Scope 3						
Transport vorgelagert	Diesel	80.000 Liter		<input type="text"/>	Liter	
Transport nachgelagert	Diesel	105.000 Liter		<input type="text"/>	Liter	
Zement						
Zement - CEM I		3,2%		<input type="text"/>		
Zement - CEM II		9,0%		<input type="text"/>		
Weißzement		0,6%		<input type="text"/>		
Weitere Zementsorte		0%		<input type="text"/>		<input type="text"/>
Gesteinskörnungen (Zuschlagsstoffe)						
Sand, Kies		79,8%		<input type="text"/>		
Brechsand, Splitt		0,0%		<input type="text"/>		<input type="text"/>
RC-Material (Sand, Splitt)		0,0%		<input type="text"/>		<input type="text"/>
Farben		0,4%		<input type="text"/>		
Zusatzstoffe (Füllstoffe)						
Flugasche		1,8%		<input type="text"/>		
Quarzsteinmehl		0,0%		<input type="text"/>		
Kalksteinmehl		1,5%		<input type="text"/>		

Abbildung 14: VKR-Auszug – Referenzwerk mit relevanten Verbrauchswerten für Scope 3-Emissionen

Im selben Reiter ist die Startbilanz zu finden. In Abbildung 15 ist diese für das Musterwerk Pflastersteinfertiger dargestellt. In der Abbildung sind die einzelnen Oberkategorien dargestellt. Im Tool werden nicht nur die Summen der einzelnen Kategorien, wie z. B. Zement, sondern auch die Unter-

posten: CEM I, CEM II, Weißzement und weitere Zementsorten (Platzhalter) dargestellt.

Die Emissionen werden sowohl nach Scopes als auch nach Gesamtemissionen aufgeschlüsselt angezeigt.

Emissionen Startbilanz	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Summe Scope 1 und Scope 2	Gesamt
Energieträger Härtekammer	2	57	9	59	68 tCO ₂ e
Energieträger restliche Werk	104	229	52	334	386 tCO ₂ e
Transport gesamt	0	0	579	0	579 tCO ₂ e
Zement Gesamt	0	0	7.683	0	7.683 tCO ₂ e
Gesteinskörnungen (Zuschlagsstoffe)	0	0	39	0	39 tCO ₂ e
Farben	0	0	1.040	0	1.040 tCO ₂ e
Zusatzstoffe (Füllstoffe)	0	0	424	0	424 tCO ₂ e
Zusatzmittel	0	0	186	0	186 tCO ₂ e
Wasser ¹⁾	0	0	0	0	0 tCO ₂ e
Abwasser	0	0	0,1	0	0,1 tCO ₂ e
Oberflächenschutzsysteme	0	0	0	0	0 tCO ₂ e
Oberflächenbearbeitung (vor/nach Erhärtung)	0	0	0	0	0 tCO ₂ e
Verpackungsmaterial	0	0	161	0	161 tCO ₂ e
Gesamt	107	287	10.172	393	10.565 tCO₂e
	0,0011	0,0029	0,1017	0,0039	0,1057 tCO₂e/t Produkt

¹⁾ Im Musterwerk wird von Eigengewinnung ausgegangen, somit sind die Emissionen bereits beim Strom enthalten.

Abbildung 15: VKR-Auszug – Startbilanz für das fiktive Musterwerk Pflastersteinfertiger im Referenzjahr 2020

Die Default-Werte mit Quellenangaben der Emissionsfaktoren und Preise sind jeweils in den Blättern

„Default-EF“ und „Default-Preise“ dargestellt (Beispiel für die Preisannahmen, siehe Abbildung 16).

Preise der Energieträger		Quelle	Einheit	Bezugsjahr				Default Wert Rechner
				2020	2021	2022	2025	
Erdgas	IEAGHG (2013) /	€/GJ LHV	6					61 €/MWh
	Statistisches Bundesamt	€/MWh	60,6					
Heizöl	Börsenpreis (Börse)	€/100 l	30					46 €/MWh
	Statistika (2022)	ct/l	45					
Strom	Vogl et al. (2018)	€/MWh	40-80					172 €/MWh
	ECRA (2009)	€/MWh	50					
	Voldsund et al. (2019)	€/MWh	58,1					
	IEAGHG (2013)	€/MWh	80					
	Statistisches Bundesamt (2022)	€/MWh	172					
Grünstrom	Bischoff & Ditze (2020)	€/MWh	2,5					174,5 €/MWh
Flüssiggas	Rheingas (2022)	€/ 100l	56,03					40,0 €/MWh
Diesel	Statistika (2022)	ct/l	112,4					1,12 €/l
CO₂-Preis	ICE (2020)	€/tCO ₂	24,45					25 €/tCO₂ 45 €/tCO₂ 80 €/tCO₂
	ICE (2021)	€/tCO ₂		52,68				
	ICE (2022)	€/tCO ₂			81,07			
	BEHG Novelle	€/tCO ₂	0	25	30	45		

Abbildung 16: VKR-Auszug – Default-Werte mit Quellenangabe Preise

In zwei weiteren Blättern („Eingabe EF“ und „Eingabe Preise“) können die Handeingaben zu den Emissionsfaktoren und Preisen erfolgen. Zur Orientierung werden hier auch die Default-Werte angezeigt. Die Emissionsfaktoren und Preise können für das Referenzjahr 2020 sowie für die Betrachtungsjahr

2025 und 2030 angepasst werden (siehe

Abbildung 17).

Referenzjahr 2020

Emissionsquelle	Einheit der Emissionsquelle	Emissionen [t CO ₂ e]	
		Scope	
		Default	Har
Energieträger Betrieb			
Erdgas	kWh _{HS}	0,000183	
Heizöl	kWh	0,000267	
Strommix Dtlid 2020	kWh		
Alternative Energieträger Härtekammer	kWh	k.A.	
Flüssiggas	kWh	0,000230	
Alternative Energieträger restliches Werk	kWh	k.A.	
Diesel	Liter	0,002658	
Transport vorgelagert	Liter		
Transport nachgelagert	Liter		
Zement ¹⁾			
Zement - CEM I	t		
Zement - CEM II	t		
Weißzement	t		
Weitere Zementsorte	t		
Gesteinskörnungen (Zuschlagsstoffe)			
Sand, Kies	t		
Brechsand, Splitt	t		
RC-Material (Sand, Splitt)	t		
Farben	t		
Zusatzstoffe (Füllstoffe)			
Flugasche	t		
Quarzsteinmehl	t		
Kalksteinmehl	t		
Zusatzmittel			
Plastifizierer			
Luftporenbildner			
Stabilisierer			
Hydrophobierer			
Wasser ²⁾	t		
Abwasser	cbm		
Oberflächenschutzsysteme			
Hydrophobierung	t		
Imprägniermittel (Aushärtung über Infrarot)	t		
Beschichtung	t		
Oberflächenbearbeitung (vor/nach Erhärtung)			
Stahlkugeln (Strahlanlage)	t		
Weitere Materialien	t		
Oberflächenbearbeitungsarten	t		
Verpackungsmaterial	t		

¹⁾ Die Emissionsfaktoren werden in Nettoangaben vorgenommen.
²⁾ Im Musterwerk wird von Eigengewinnung ausgegangen, somit sind die Emissionen

Der Einfachheit halber sind die Default-Werte für alle drei Jahre bereits hinterlegt. Hierbei gibt es wenige Ausnahmen, wie zum Beispiel den Emissionsfaktor des deutschen Strommix. Da sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt hat, bis 2045 den Strom komplett aus erneuerbaren Quellen zu erzeugen, wurde diese Entwicklung im Rechner bereits hinterlegt.

Die Default-Werte der Emissionsfaktoren für Zement beziehen sich auf die Nettowerte aus den EPDs.

Referenzjahr 2020

Emissionsquelle	Einheit der Emissionsquelle	Emissionen [t CO ₂ e pro Einheit]					
		Scope 1		Scope 2		Scope 3	
		Default	Handeingabe	Default	Handeingabe	Default	Handeingabe
Energieträger Betrieb							
Erdgas	kWh _{HS}	0,000183	<input type="text"/>			0,000031	<input type="text"/>
Heizöl	kWh	0,000267	<input type="text"/>			0,000040	<input type="text"/>
Strommix Dtlid 2020	kWh			0,000382	<input type="text"/>	0,000056	<input type="text"/>
Alternative Energieträger Härtekammer	kWh	k.A.	<input type="text"/>	k.A.	<input type="text"/>	k.A.	<input type="text"/>
Flüssiggas	kWh	0,000230	<input type="text"/>			0,000027	<input type="text"/>
Alternative Energieträger restliches Werk	kWh	k.A.	<input type="text"/>	k.A.	<input type="text"/>	k.A.	<input type="text"/>
Diesel	Liter	0,002658	<input type="text"/>			0,000470	<input type="text"/>
Transport vorgelagert	Liter					0,003128	<input type="text"/>
Transport nachgelagert	Liter					0,003128	<input type="text"/>
Zement ¹⁾							
Zement - CEM I	t					0,665000	<input type="text"/>
Zement - CEM II	t					0,553000	<input type="text"/>
Weißzement	t					0,845000	<input type="text"/>
Weitere Zementsorte	t					k.A.	<input type="text"/>
Gesteinskörnungen (Zuschlagsstoffe)							
Sand, Kies	t					0,000485	<input type="text"/>
Brechsand, Splitt	t					k.A.	<input type="text"/>
RC-Material (Sand, Splitt)	t					k.A.	<input type="text"/>
Farben	t					2,600000	<input type="text"/>
Zusatzstoffe (Füllstoffe)							
Flugasche	t					0,198000	<input type="text"/>
Quarzsteinmehl	t					0,043420	<input type="text"/>
Kalksteinmehl	t					0,045200	<input type="text"/>
Zusatzmittel							
Plastifizierer						1,53	<input type="text"/>
Luftporenbildner						0,439	<input type="text"/>
Stabilisierer						1,23	<input type="text"/>
Hydrophobierer						2,67	<input type="text"/>
Wasser ²⁾	t					0,000000	<input type="text"/>
Abwasser	cbm					0,000272	<input type="text"/>
Oberflächenschutzsysteme							
Hydrophobierung	t					k.A.	<input type="text"/>
Imprägniermittel (Aushärtung über Infrarot)	t					2,012000	<input type="text"/>
Beschichtung	t					k.A.	<input type="text"/>
Oberflächenbearbeitung (vor/nach Erhärtung)							
Stahlkugeln (Strahlanlage)	t					1,500000	<input type="text"/>
Weitere Materialien	t					k.A.	<input type="text"/>
Oberflächenbearbeitungsarten	t					k.A.	<input type="text"/>
Verpackungsmaterial	t					0,806000	<input type="text"/>

¹⁾ Die Emissionsfaktoren werden in Nettoangaben vorgenommen.
²⁾ Im Musterwerk wird von Eigengewinnung ausgegangen, somit sind die Emissionen bereits beim Strom enthalten.

Abbildung 17: VKR-Auszug – Eingabefelder für Emissionsfaktoren Referenzjahr 2020

Für die drei Scopes sind die gleichen CO₂-Preise als Default-Werte hinterlegt. Da der Preis durch unterschiedliche Systeme beeinflusst werden kann, z. B. Scope 1 durch das nationale Emissions-

handelssystem nach BEHG und Scope 2 und 3 durch das europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS), können diese durch die Handeingabe separat angepasst werden (siehe Abbildung 18).

Eingabe der Preisannahmen

Erläuterung: In diesem Blatt werden die Default Werte für Preisannahmen aufgeführt. Die hinterlegten Default Werte zu den Preisen können durch Handeingaben angepasst werden. Dies ist für die drei betrachteten Jahre 2020, 2025 und 2030 unterschiedlich möglich. Zudem wird der CO₂-Preis je Scope dargestellt, da der CO₂-Preis durch unterschiedliche Systeme geprägt sein kann (z. B. der Erdgaspreis im Werk in Scope 1 durch das nationale Emissionshandelssystem (nEHS) und die Scope 2 Emissionen Strombezug aus dem Europäischen Emissionshandel (EU ETS)).

Preise der Energieträger	Einheit	2020		2025		2030	
		Default Wert	Hand-eingabe	Default Wert	Hand-eingabe	Default Wert	Hand-eingabe
Erdgas	€/MWh	61,00		61,00		61,00	
Heizöl	€/MWh	46,00		46,00		46,00	
Strom	€/MWh	172,00		172,00		172,00	
Flüssiggas	€/MWh	40,00		40,00		40,00	
Diesel	€/l	1,12		1,12		1,12	
Grünstrom	€/MWh	174,50		174,50		174,50	
Alternativer Energieträger Härtekammer	€/MWh	-		-		-	
Alternativer Energieträger restliche Werk	€/MWh	-		-		-	
CO₂-Preis							
Scope 1	€/tCO ₂	25		45		80	
Scope 2	€/tCO ₂	25		45		80	
Scope 3	€/tCO ₂	25		45		80	

Abbildung 18: VKR-Auszug – Eingabefelder für Preise

9.2 Bedienungshinweise

In diesem Kapitel werden Hinweise zur Bedienung des VKR anhand von Beispielen gegeben.

9.2.1 Anpassung der Startbilanz

In den Tabellenblättern „Referenz Pflaster“ bzw. „Referenz Platten“ sind die Verbrauchswerte sowie die Startbilanz des jeweiligen Musterwerks zu finden. Die vordefinierten Default-Werte sind grau hinterlegt. Daneben sind die Eingabefelder zu finden, mit denen per Handeingabe die Werte auf das eigene Werk angepasst werden können. In Abbildung 20 ist dies beispielhaft anhand des Musterwerks Pflastersteinfertiger dargestellt.

Wenn keine Handeingaben getätigt werden, wird die Startbilanz mit den Default-Werten (rot umrandete Verbrauchswerte in Abbildung 19 und den Emissionsfaktoren im entsprechenden Blatt) berechnet. Ein Auszug der Ergebnisse der Startbilanz für die Härtekammer kann ebenfalls der nachfolgenden Abbildung entnommen werden. Im Musterwerk werden die Härtekammern mit einem Energiemix aus Erdgas, Heizöl und Strom betrieben. Die Höhe der Emissionen können nach Scope aufgeteilt in der

Startbilanz abgelesen werden (ebenfalls in Abbildung 19 rot umrandet).

Energieträger	Default Verbrauchswerte	Einheit	Handeingabe		
			Verbrauchswerte	Einheit	
Scope 1 und 2 Härtekammern					
Erdgas	9.000 kWh Hs			kWh Hs	
Heizöl	2.000 kWh Hi			kWh Hi	
Elektrische Energie	150.000 kWh			kWh	
Alternativer Energieträger	0 kWh			kWh	
Emissionen Startbilanz					
	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Summe Scope 1 und Scope 2	Gesamt
Erdgas	2	0	0	2	2 t CO ₂ e
Heizöl	1	0	0	1	1 t CO ₂ e
Elektrische Energie (deutscher)	0	57	8	57	66 t CO ₂ e
Alternativer Energieträger	0	0	0	0	0 t CO ₂ e
...					

Abbildung 19: Startbilanz mit den Default-Werten – Beispiel Härtekammern

Sobald Werte in den blau hinterlegten Handeingabefeldern eingetragen werden, verändert sich die Startbilanz. Zur Berechnung werden nun nicht die Default-Werte herangezogen, sondern die Eingaben (siehe Abbildung 20). In diesem Beispiel werden die Härtekammern elektrisch betrieben. Somit müssen die Verbrauchswerte für Erdgas und Heizöl auf null gesetzt und der Verbrauchswert für Strom angepasst werden.

Energieträger	Default		Handeingabe		
	Verbrauchswerte	Einheit	Verbrauchswerte	Einheit	
Scope 1 und 2					
Härtekammern	Erdgas	9.000 kWh Hs	<input type="text"/>	kWh Hs	
	Heizöl	2.000 kWh Hi	<input type="text"/>	kWh Hi	
	Elektrische Energie	150.000 kWh	<input type="text" value="275.000"/>	kWh	
	Alternativer Energieträger	0 kWh	<input type="text"/>	kWh	
Emissionen Startbilanz					
	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Summe Scope 1 und Scope 2	Gesamt
Erdgas	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0 t CO ₂ e
Heizöl	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0 t CO ₂ e
Elektrische Energie (deutscher)	0	105	15	105	120 t CO ₂ e
Alternativer Energieträger	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0 t CO ₂ e
...					

Abbildung 20: Startbilanz mit Handeingaben – Beispiel Härtekammern

9.2.2 Berechnung der Reduktionsmaßnahmen

Wie auch bei den Musterwerken können sämtliche Parameter die Maßnahmen betreffend individuell angepasst werden, damit diese für das eigene Unternehmen beurteilt werden können. Die Maßnahmen werden separat betrachtet und sind nicht aufeinander aufbauend. Wechselwirkungen sind nicht abgebildet.

Für jede Maßnahme gibt es ein separates Tabellenblatt, in dem die Eingaben getätigt und die Ergebnisse dargestellt werden. In Abbildung 21 ist das Eingabefeld für Maßnahme 1 „Verminderung oder Vermeidung von Brennstoffeinsatz für die Härtekammern“ zu sehen. Es gibt jeweils die Möglichkeit das Reduktionspotenzial für die Betrachtungsjahre 2025 und 2030 anzupassen. Das Reduktionspotenzial ist nicht additiv zu betrachten.

In dem unten gezeigten Beispiel beträgt der Default-Wert für beide Jahre 30 %. Somit wurde im Jahr 2025 eine Maßnahme umgesetzt, die 30 % der eingesetzten Energie gegenüber dem Referenzjahr 2020 einspart. Bis 2030 wird keine weitere Maßnahme für die Härtekammern umgesetzt. Daher bleibt der Reduktionswert auf 30 % und die Investitionen fallen nur im Jahr 2025 an (siehe Abbildung 21).

Maßnahme 1: Verminderung oder Vermeiden von Brennstoffeinsatz für die Härtekammern	2025		2030	
	Default	Handeingabe	Default	Handeingabe
Prozentuale Reduktion der Energieträger für die	30 %	<input type="text"/>	30 %	<input type="text"/>
Investitionskosten im Jahr 2025 bzw. 2030	400.000,00 €	<input type="text"/>	0,00 €	<input type="text"/>
Zusätzliche jährl. Kosten ¹⁾	0,00 €/a	<input type="text"/>	0,00 €/a	<input type="text"/>
Einmalige Kosten ²⁾	0,00 €	<input type="text"/>	0,00 €	<input type="text"/>
Abschreibungszeitraum	10 a	<input type="text"/>	10 a	<input type="text"/>
Zinssatz	8,0 %	<input type="text"/>	8,0 %	<input type="text"/>

¹⁾ Z. B. Mehrkosten bei Wartung, Instandhaltung, Personal, etc.
²⁾ Z. B. für zusätzlichen Brandschutz, etc.

Abbildung 21: Eingabefelder und Default-Werte für Maßnahme 1

Die Ergebnisse der Berechnung werden im selben Blatt tabellarisch und grafisch dargestellt. Maßnahme 1 hat vor allem Auswirkungen auf die Scope 1- und Scope 2-Emissionen. Daher werden diese Werte gesondert gezeigt.

Bereits in der Startbilanz gibt es die Möglichkeit, weitere Energieträger, wie zum Beispiel Flüssiggas, zu berücksichtigen. Zudem gibt es Platzhalter für alternative Energieträger bei den Härtekammern und auch dem restlichen Werk (siehe

Referenzjahr 2020		Emissionen [t CO ₂ e pro Einheit]	
		Scope 1	
Emissionsquelle	Einheit der Emissionsquelle	Default	Handeingabe
Energieträger Betrieb			
Erdgas	kWh _{Hs}	0,000183	<input type="text"/>
Heizöl	kWh	0,000267	<input type="text"/>
Strommix DtlD 2020	kWh		<input type="text"/>
Alternative Energieträger Härtekammer	kWh	k.A.	<input type="text"/>
Flüssiggas	kWh	0,000230	<input type="text"/>
Alternative Energieträger restliches Werk	kWh	k.A.	<input type="text"/>
Diesel	Liter	0,002658	<input type="text"/>
Transport vorgelagert	Liter		<input type="text"/>
Transport nachgelagert	Liter		<input type="text"/>
Zement ¹⁾			
Zement - CEM I	t		<input type="text"/>
Zement - CEM II	t		<input type="text"/>
Weißzement	t		<input type="text"/>
Weitere Zementsorte	t		<input type="text"/>
Gesteinskörnungen (Zuschlagsstoffe)			
Sand, Kies	t		<input type="text"/>
Brechsand, Splitt	t		<input type="text"/>
RC-Material (Sand, Splitt)	t		<input type="text"/>
Farben	t		<input type="text"/>
Zusatzstoffe (Füllstoffe)			
Flugasche	t		<input type="text"/>
Quarzsteinmehl	t		<input type="text"/>
Kalksteinmehl	t		<input type="text"/>
Zusatzmittel			
Plastifizierer			<input type="text"/>
Luftporenbildner			<input type="text"/>
Stabilisierer			<input type="text"/>
Hydrophobierer			<input type="text"/>
Wasser ²⁾	t		<input type="text"/>
Abwasser	cbm		<input type="text"/>
Oberflächenschutzsysteme			
Hydrophobierung	t		<input type="text"/>
Imprägniermittel (Aushärtung über Infrarot)	t		<input type="text"/>
Beschichtung	t		<input type="text"/>
Oberflächenbearbeitung (vor/nach Erhärtung)			
Stahlkugeln (Strahlanlage)	t		<input type="text"/>
Weitere Materialien	t		<input type="text"/>
Oberflächenbearbeitungsarten	t		<input type="text"/>
Verpackungsmaterial	t		<input type="text"/>

¹⁾ Die Emissionsfaktoren werden in Nettoangaben vorgenommen.
²⁾ Im Musterwerk wird von Eigengewinnung ausgegangen, somit sind die Emissionen bere...

Abbildung 17). Werden hier Eingaben getätigt, müssen zudem Preise und auch Emissionsfaktoren in den entsprechenden Blättern eingetragen werden. Diese sind für das Musterwerk mit null hinterlegt.

Welche Energieträger in der grafischen Darstellung berücksichtigt werden sollen, kann per Häkchen neben der Tabelle ausgewählt werden. Damit kann die Grafik nach Belieben angepasst werden (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23).

Emissionen Scope 1 und Scope 2				
In Diagramm anzeigen	Referenz			
	2020	2025	2030	
<input checked="" type="checkbox"/> Erdgas	8,2	7,7	7,7 t CO ₂ e	
<input checked="" type="checkbox"/> Heizöl	2,7	2,5	2,5 t CO ₂ e	
<input checked="" type="checkbox"/> Strom	286,5	195,7	96,4 t CO ₂ e	
<input type="checkbox"/> Alternativer Energieträger Härtekammer	0,0	0,0	0,0 t CO ₂ e	
<input type="checkbox"/> Flüssiggas	0,0	0,0	0,0 t CO ₂ e	
<input type="checkbox"/> Alternativer Energieträger restliche Werk	0,0	0,0	0,0 t CO ₂ e	
<input checked="" type="checkbox"/> Diesel	95,7	95,7	95,7 t CO ₂ e	
Summe	393,1	301,6	202,4 t CO₂e	

Abbildung 22: Tabellarische Ergebnisdarstellung und Darstellungsmöglichkeiten im Diagramm aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 1

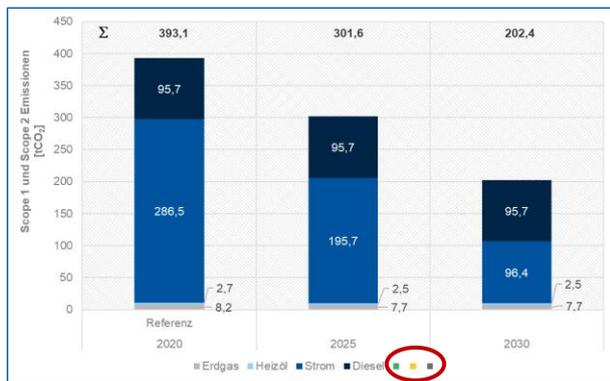


Abbildung 23: Grafische Ergebnisdarstellung der Scope 1- und Scope 2-Emissionen aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 1

Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse für Maßnahme 1 mit den Default-Werten des Musterwerks Pflastersteinfertiger. In der Tabelle wurden die Energieträger Erdgas, Heizöl, Strom und Diesel für die grafische Darstellung ausgewählt. Da die drei weiteren Energieträger beim Musterwerk keine Rolle spielen, werden diese in der Grafik weggelassen.

Der Rückgang der Emissionen ist zum einen auf die Effizienzsteigerung an den Härtekammern um 30 % zurückzuführen. Zudem hat der absinkende Emissionsfaktor des deutschen Strommixes einen relevanten Einfluss auf die Scope 2-Emissionen.

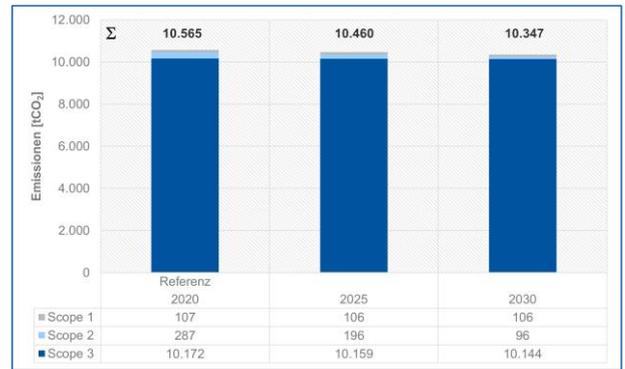


Abbildung 24: Verlauf der Gesamtemissionen nach Umsetzung von Maßnahme 1 – „Reduktion des Energiebedarfs der Härtekammern“ aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger

Neben den Scope 1- und Scope 2-Emissionen werden auch die Gesamtemissionen dargestellt. Dies dient dazu ein Gesamtbild und eine Einordnung der Ergebnisse zu bieten. Die Scope 3-Emissionen dominieren das Bild. Ein deutlicher Rückgang der Scope 1- und Scope 2-Emissionen ist zu vermerken. Der Rückgang der Scope 3-Emissionen ist auf die Reduzierung der Energieträger der Härtekammern zurückzuführen (siehe Abbildung 24).

Jährliche Kosten				
In Diagramm anzeigen	Referenz			
	2020	2025	2030	
Energieträger intern				
Erdgas	2.745 €	2.580 €	2.580 €	
Heizöl	460 €	432 €	432 €	
Strom	129.000 €	121.260 €	121.260 €	
Flüssiggas	0 €	0 €	0 €	
Alternative Energieträger Härtekammer	0 €	0 €	0 €	
Alternative Energieträger restliches Werk	0 €	0 €	0 €	
Diesel	40.464 €	40.464 €	40.464 €	
<input checked="" type="checkbox"/> CAPEX	0 €	72.000 €	72.000 €	
<input checked="" type="checkbox"/> Zusätzliche Kosten	0 €	0 €	0 €	
<input type="checkbox"/> Einmalige Kosten	0 €	0 €	0 €	
<input checked="" type="checkbox"/> CO₂-Kosten Gesamt	264.135 €	470.722 €	827.736 €	
<input checked="" type="checkbox"/> CO ₂ -Kosten Scope 1	2.665 €	4.768 €	8.476 €	
<input checked="" type="checkbox"/> CO ₂ -Kosten Scope 2	7.163 €	8.805 €	7.715 €	
<input checked="" type="checkbox"/> CO ₂ -Kosten Scope 3	254.307 €	457.149 €	811.546 €	
Summe	436.804 €	707.458 €	1.064.473 €	

Abbildung 25: Tabellarische Ergebnisdarstellung der Kosten und Darstellungsmöglichkeiten im Diagramm aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger - Maßnahme 1

Neben den Emissionen werden auch die relevanten Kosten im Zusammenhang mit den Reduktionsmaßnahmen und den Emissionen im Reiter dargestellt. Wie bereits bei den Emissionen gibt es auch hier die Möglichkeit das Diagramm anzupassen, je nachdem welche Parameter von Interesse sind. Zur besseren Überschaubarkeit sind in Abbildung 25 und Abbildung 26 die zusätzlichen Kosten und einmaligen Kosten nicht ausgewählt, da diese null betragen.

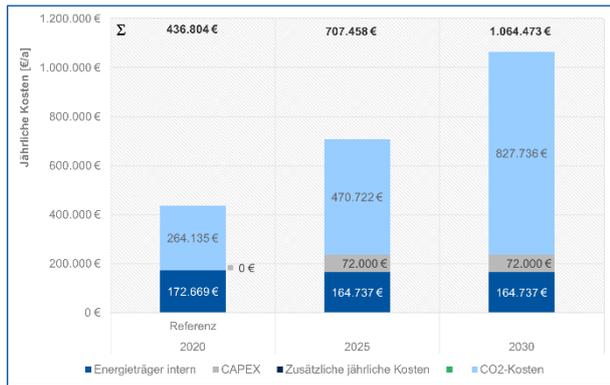


Abbildung 26: Grafische Ergebnisdarstellung der Kosten inkl. CO₂-Kosten aus Scope 3 aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 1

Die CO₂-Kosten werden nach Scopes aufgeteilt. In Abbildung 26 ist deutlich zu erkennen, dass die CO₂-Kosten das Bild stark dominieren. Durch die steigenden CO₂-Preise steigen die Gesamtkosten trotz sinkenden Emissionen.

Sollten zum Beispiel die Kosten aus den Scope 3-Emissionen für das Werk nicht von Interesse sein, können diese durch das Entfernen des

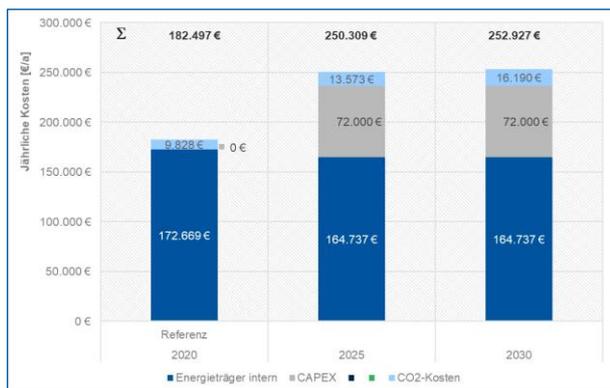


Abbildung 28: Grafische Ergebnisdarstellung der Kosten ohne CO₂-Kosten aus Scope 3 aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger - Maßnahme 1

Abbildung 29 zeigt das Eingabefeld für Maßnahme 4 – „Ökostrom-Einkauf durch z. B. Power Purchase Agreements (PPAs) oder Herkunftsnachweise (HKN)“. Bei dieser Maßnahme sind deutlich weniger Eingaben zu tätigen. Maßnahme 4 umfasst die Umstellung des Strombezugs vom deutschen Strommix auf 100 % Grünstrombezug. Der Energiebedarf wird bei dieser Maßnahme nicht beeinflusst. Es kann Ökostrom, z. B. direkt über einen Vertrag mit einem Erzeuger von erneuerbarem Strom, beschaffen werden (PPA) oder über den Stromlieferanten mit Hilfe von Herkunftsnachweisen (HKN). Somit fallen keine Investitions- oder sonstigen Kosten an. Die zusätzlichen Kosten werden über den Grünstrompreis abgebildet. Da die Scope 3-

entsprechenden Häkchens aus der grafischen Darstellung entfernt werden (siehe Abbildung 27).

In Diagramm anzeigen	2020	2025	2030
Referenz			
Energieträger intern	172.669 €	164.737 €	164.737 €
Erdgas	2.745 €	2.580 €	2.580 €
Heizöl	460 €	432 €	432 €
Strom	129.000 €	121.260 €	121.260 €
Flüssiggas	0 €	0 €	0 €
Alternative Energieträger Härtekammer	0 €	0 €	0 €
Alternative Energieträger restliches Werk	0 €	0 €	0 €
Diesel	40.464 €	40.464 €	40.464 €
<input checked="" type="checkbox"/> CAPEX	0 €	72.000 €	72.000 €
<input checked="" type="checkbox"/> Zusätzliche Kosten	0 €	0 €	0 €
<input type="checkbox"/> Einmalige Kosten	0 €	0 €	0 €
CO₂-Kosten Gesamt	264.135 €	470.722 €	827.736 €
<input checked="" type="checkbox"/> CO ₂ -Kosten Scope 1	2.665 €	4.768 €	8.476 €
<input checked="" type="checkbox"/> CO ₂ -Kosten Scope 2	7.163 €	8.805 €	7.715 €
<input type="checkbox"/> CO ₂ -Kosten Scope 3	254.307 €	457.149 €	811.546 €
Summe	436.804 €	707.458 €	1.064.473 €

Abbildung 27: Tabellarische Ergebnisdarstellung der Kosten und Darstellungsmöglichkeiten im Diagramm aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger - Maßnahme 1

Durch das Entfernen der CO₂-Kosten aus Scope 3 ändert sich das Bild stark. Nun dominieren vor allem die Kosten der Energieträger (siehe Abbildung 28).

Emissionen je nach Quelle des Stroms unterschiedlich ausfallen, muss hier angegeben werden, um welchen Strom es sich handelt. Als Default ist ein Grünstrommix hinterlegt.

Maßnahme 4: Ökostrom-Einkauf durch z. B. Power Purchase Agreement (PPA) oder Herkunftsnachweise (HKN)

Default Handeingabe

Auswahl Grünstrom-Quelle¹⁾ für 2025 und 2030

Grünstrommix Wind

Die zusätzlichen Kosten werden über den Grünstrompreis im Reiter "Eingabe Preise" definiert.

¹⁾ Die Scope 2 Emissionen betragen bei allen Grünstromarten null. Jedoch sind die Scope 3 Emissionen je nach erneuerbarem Energiequelle unterschiedlich.

Abbildung 29: Eingabefelder und Default-Werte für Maßnahme 2

Ab Maßnahme 7 werden Reduktionsmaßnahmen betrachtet, die vor allem die Emissionen aus Scope 3 reduzieren sollen. Hierbei liegt der Fokus auf der Reduzierung der Emissionen aus dem Zement, da diese den größten Teil ausmachen. Dies ist vor allem durch Rezepturänderungen möglich. Maßnahme 7 betrachtet die Rezepturänderung durch die Veränderung des Zementeinsetzes. Diese Reduzierung bezieht sich auf den Zementeinsetz aus dem Referenzjahr 2020 und wird in Prozent angegeben (siehe Abbildung 30).

Maßnahme 7: Rezepturänderung - Veränderung Materialeinsatz			
	2025	2030	
	Default	Handeingabe	Default
Veränderung Zementersatz (ggü. Referenzjahr):			
CEM I	-2 %	%	-5 %
CEM II	-2 %	%	-5 %
Weißzement	-2 %	%	-5 %
Weitere Zementsorte ¹⁾	-2 %	%	-5 %
Veränderung Ersatzstoffe²⁾ (ggü. Referenzjahr):			
Flugasche	0 %	%	0 %
Quarzsteinmehl	2 %	%	5 %
Kalksteinmehl	2 %	%	5 %
Weiterer Ersatzstoff 1	0 t	t	0 t
Weiterer Ersatzstoff 2	0 t	t	0 t
Emissionsfaktor (Scope 3):			
Ersatzstoff 1	tCO ₂ e/t _{subst.}	tCO ₂ e/t _{subst.}	tCO ₂ e/t _{subst.}
Emissionsfaktor (Scope 3)	tCO ₂ e/t _{subst.}	tCO ₂ e/t _{subst.}	tCO ₂ e/t _{subst.}
Ersatzstoff 2	tCO ₂ e/t _{subst.}	tCO ₂ e/t _{subst.}	tCO ₂ e/t _{subst.}
Investitionskosten³⁾ im Jahr 2025 bzw. 2030			
	0 €	€	0 €
Zusätzliche jährl. Kosten⁴⁾			
	0 €/a	€/a	0 €/a
Einmalige Kosten⁵⁾			
	0 €	€	0 €

Abbildung 30: Eingabefelder und Default-Werte für Maßnahme 7 – Betrachtungsjahre 2025 und 2030

Damit der Zementersatz reduziert werden kann, wird der Einsatz von Quarzsteinmehl und Kalksteinmehl erhöht. Zudem besteht die Möglichkeit, neben dem Mehrverbrauch dieser zwei Stoffe auch den Einsatz von weiteren Ersatzstoffen anzugeben.

Maßnahme 7 hat vor allem Einfluss auf die Scope 3-Emissionen, daher werden bei dieser Maßnahme diese Emissionen an Stelle der Scope 1- und Scope 2-Emissionen tabellarisch und grafisch dargestellt (siehe Abbildung 31).

Aufteilung der Scope 3 Emissionen				
In Diagramm anzeigen	2020	2025	2030	
	Referenz			
<input checked="" type="checkbox"/> Energieträger gesamt	61	49	34	t CO ₂ e
<input checked="" type="checkbox"/> Transport gesamt	579	579	579	t CO ₂ e
<input checked="" type="checkbox"/> Zement	7.683	7.530	7.299	t CO ₂ e
<input checked="" type="checkbox"/> Gesteinskörnungen (Zuschlagsstoffe)	39	39	39	t CO ₂ e
<input checked="" type="checkbox"/> Farben	1.040	1.040	1.040	t CO ₂ e
<input checked="" type="checkbox"/> Zusatzstoffe (Füllstoffe)	424	426	428	t CO ₂ e
<input checked="" type="checkbox"/> Zusatzmittel	186	186	186	t CO ₂ e
<input type="checkbox"/> Zusätzliche Ersatzstoffe	0	0	0	t CO ₂ e
<input type="checkbox"/> Wasser & Abwasser	0	0	0	t CO ₂ e
<input type="checkbox"/> Oberflächenschutzsysteme	0	0	0	t CO ₂ e
<input type="checkbox"/> Oberflächenbearbeitung (vor/nach Erhärtung)	0	0	0	t CO ₂ e
<input checked="" type="checkbox"/> Verpackungsmaterial	161	161	161	t CO ₂ e
Summe	10.172	10.009	9.765	t CO₂e

Abbildung 31: Tabellarische Ergebnisdarstellung und Darstellungsmöglichkeiten im Diagramm aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 7

Diese sind in Oberkategorien zusammengefasst (vgl. Abbildung 31 und Abbildung 32). So werden zum Beispiel nicht die einzelnen Zementsorten aufgeführt, sondern die Gesamtemissionen von Zement. Wie auch bei den anderen Maßnahmen kann die Grafik mithilfe der Häkchen in der Tabelle angepasst werden. Sollten zum Beispiel Ersatzstoffe in Maßnahme 7 zum Einsatz kommen, müssen diese auch in der Tabelle ausgewählt werden, damit sie in der Grafik angezeigt werden.

Hierbei werden dann Tonnenangaben eingetragen und keine prozentuale Änderung, da diese Stoffe unter Umständen neu sind und im Referenzjahr noch nicht zum Einsatz kamen. Daher muss neben der Verbrauchsmenge auch ein Emissionsfaktor eingetragen werden (siehe zweiter roter Kasten in Abbildung 30). Sollte zum Beispiel eine neue Zementsorte zum Einsatz kommen, ist diese nicht in der Zeile „Weitere Zementsorte“ einzutragen, da es sich hier nur um die Reduzierung der Zementsorten aus dem Referenzjahr handelt, sondern unter dem Platzhalter „Weitere Ersatzstoffe“. Damit festgehalten werden kann, um welchen „weiteren Einsatzstoff“ es sich handelt, gibt es für diese Zeilen Kommentarfelder (siehe 30).

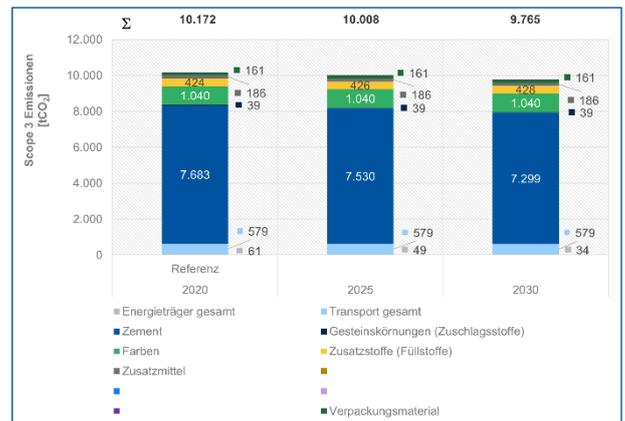


Abbildung 32: Grafische Ergebnisdarstellung der Scope 3-Emissionen aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 7

Bei Maßnahme 7 besteht zudem die Möglichkeit, den Austausch zweier Zementsorten zu bewerten. In Abbildung 33 ist ein fiktives Reduktionsmaßnahmenbeispiel aufgezeigt. Hier werden nicht alle Zementsorten zu einem gewissen Anteil in der Rezeptur reduziert, sondern CEM II soll zu 100 % durch eine andere Zementsorte ausgetauscht werden. In diesem Fall werden die Reduktion und der Mehrverbrauch der nicht betrachteten Stoffe auf null gesetzt und CEM II entsprechend auf eine Reduktion um 100 %.

Für die nun neu eingesetzte Zementsorte wird die benötigte Menge (für die im Referenzwerk angegebene Produktionsmenge) in der Zeile „Weitere Ersatzstoffe 1“ eingetragen. Zudem ist der entsprechende Emissionsfaktor anzugeben (siehe Abbildung 34).

Maßnahme 7: Rezepturänderung - Veränderung Materialeinsatz				
	2025		2030	
	Default	Händelngabe	Default	Händelngabe
Veränderung Zementersatz (ggü. Referenzjahr):				
CEM I	-2 %	0 %	-5 %	0 %
CEM III	-2 %	-100 %	-5 %	-100 %
Weißzement	-2 %	0 %	-5 %	0 %
Weitere Zementsorte ¹⁾	-2 %	0 %	-5 %	0 %
Veränderung Ersatzstoffe²⁾ (ggü. Referenzjahr):				
Flugsche	0 %	0 %	0 %	0 %
Quarzsand	2 %	0 %	5 %	0 %
Kalksteinmehl	2 %	0 %	5 %	0 %
Weiterer Ersatzstoff 1	0 t	9.000 t	0 t	9.000 t
Weiterer Ersatzstoff 2	0 t	0 t	0 t	0 t
Emissionsfaktor (Scope 3)				
Ersatzstoff 1	0,432 tCO ₂ e/tEms	-	0,432 tCO ₂ e/tEms	-
Emissionsfaktor (Scope 3)	-	-	-	-
Ersatzstoff 2	-	-	-	-
Investitionskosten³⁾ im Jahr 2025 bzw. 2030				
Zusätzliche jährl. Kosten ⁴⁾	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Einmalige Kosten ⁵⁾	0 €	0 €	0 €	0 €

Abbildung 33: Eingaben Maßnahme 7 – fiktives Reduktionsmaßnahmenbeispiel – Ersatz CEM II durch Hochofenzement CEM IIIA

Die neue Zementsorte wird in diesem Fall nicht unter Zement zusammengefasst, sondern unter dem Begriff „zusätzliche Ersatzstoffe“. Damit in diesem Fall die Ergebnisse in der Grafik auch korrekt dargestellt werden, muss in der Tabelle „zusätzliche Einsatzstoffe“ ausgewählt werden (siehe Abbildung 34).

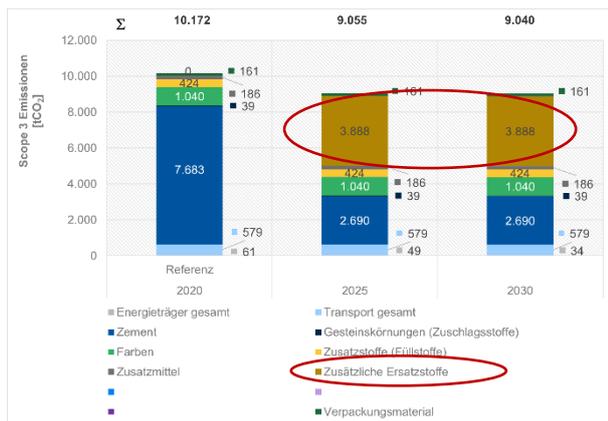


Abbildung 34: Scope 3-Emissionen Maßnahme 7 nach Anpassung: Austausch CEM II durch CEM III/A

10 Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf

10.1 Relevante Maßnahmen

Die relevanten Maßnahmen auf dem Weg zu einer klimaneutralen Betonsteinherstellung sind im Kapitel 8.1 dargestellt. Mit Umsetzung dieser Maßnahmen kann die Betonsteinindustrie auch im Zeitraum bis 2030 beachtliche Emissionsreduktionen erzielen.

Einige Reduktionsmaßnahmen sind von den Unternehmen direkt zu beeinflussen (hauptsächlich die enthaltenen Scope 1- und Scope 2-Emissionsquellen, bei Scope 3 auch z. B. Rezepturveränderungen), andere Maßnahmen sind von der Umsetzung in der Vorkette abhängig (siehe Tabelle 1).

Die Betonsteinhersteller sind dabei stark von der Entwicklung der Emissionsfaktoren der eingesetzten Zementprodukte abhängig, obwohl diese zum Teil reduziert bzw. ersetzt werden können, jedoch für den Produktionsprozess auch weiterhin in einem großen Maße notwendig sein werden. Hier muss entsprechend mit den Zulieferern zusammengearbeitet werden. Dies kann ggf. auch beinhalten, bewusst Zemente mit niedrigen Emissionsfaktoren einzusetzen, auch dann, wenn diese teurer sein sollten.

Den Betonsteinherstellern kommt ggf. auch eine vermittelnde Rolle gegenüber den Endkunden zu, insbesondere dann, wenn diese gezielt nach solchen Produkten fragen. Eine Reduzierung der Emissionsfaktoren der Zemente kann durch die Maßnahmen, die in der Roadmap zur Dekarbonisierung der Zementindustrie dargelegt sind, erfolgen, bis hin zu Carbon Capture and Storage-Maßnahmen, bei welchen das CO₂ direkt bei der Produktion abgeschieden wird, wodurch dann auch die prozessbedingten Anteile der Emissionen in der Zementproduktion (2/3) reduziert werden³.

In den Default-Werten des Vermeidungskostenrechners sind für die Entwicklung der Emissionsfaktoren der Zementprodukte keine vorgegebenen Reduzierungen vorgesehen, da diese derzeit auch zeitlich noch nicht einzuschätzen sind. Reduzierte Emissionsfaktoren können von den Unternehmen bei Nutzung des Vermeidungskostenrechners dennoch entsprechend eingetragen werden.

Die für die Musteranlagen betrachteten Maßnahmen lassen sich auf einzelne reale Anlagen übertragen, ggf. ergänzt um weitere, standortspezifische Maßnahmen. Auf diese Weise werden zugleich Vorarbeiten geleistet, um unternehmensindividuelle Transformationskonzepte, Roadmaps und Maßnahmenpläne zu erstellen⁴ und ggf. auch gezielt Fördermaßnahmen in Anspruch zu nehmen.

³ Siehe VDZ, Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien.

⁴ Seit Anfang 2022 ist die Erstellung standort- oder unternehmensspezifischer Transformationskonzepte gerade für KMU förderfähig, siehe

Auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität kann im Einzelfall und als ergänzende Maßnahme auch der freiwillige Ausgleich von Emissionen sinnvoll sein. Dies wurde hier nicht näher betrachtet, da hier konkrete Reduktionsmaßnahmen im Vordergrund stehen.

10.2 Kosten und externe Rahmenbedingungen

Für die Betonsteinhersteller in Deutschland lassen sich abschließend auch besonders wichtige externe Rahmenbedingungen benennen, die für den eigenen Weg zur Klimaneutralität von besonderer Bedeutung sind.

Wie für andere Branchen auch, ist die Verfügbarkeit grüner Energien zu erschwinglichen Bedingungen, insbesondere von Strom, von großer Bedeutung.

Auch die Betonsteinhersteller sind trotz der vorgesehenen Kostendämpfungsmaßnahmen von stark gestiegenen Energiekosten betroffen. Dies stärkt einerseits die Wirtschaftlichkeit gerade von Effizienzsteigerungsmaßnahmen und Eigenproduktion von erneuerbarem Strom, schränkt andererseits aber auch die finanziellen Ressourcen der Betriebe ein.

Aus mittel- und langfristiger Sicht sind für die Betriebe und Produkte der Betonsteinindustrie die Entwicklung der CO₂-Kosten noch wichtiger – diese sind nicht nur im Scope 1 (Brenn- und Kraftstoffe) und Scope 2 (Strombezug) von steigender Bedeutung, sondern auch und besonders in der Vorkette. Emissionsintensive Vorprodukte werden sich weiter verteuern.

Diese bereits vorher bestehende Tendenz wird sich mit Umsetzung der Beschlüsse zur EU-Klimapolitik, insbesondere zur weiteren Reform des EU-Emissionshandels, vom Dezember 2022 verstärken. Der auch wirtschaftliche Druck zur Emissionsreduktion steigt dadurch weiter an.

Hinzu kommen Anforderungen der öffentlichen und privaten Kunden, bei deren Beschaffungsentscheidungen auch mit den Produkten und deren Herstellung verbundene Emissionen einen immer wichtigeren Stellenwert einnehmen. Dies geht hin bis zu eigenen CO₂-Bepreisungssystemen, um

Emissionsunterschiede vergleichbarer Produkte auch z. T. von Wirtschaftlichkeitsbewertungen zu machen.

Zu den Rahmenbedingungen gehört auch die Förderlandschaft. Für die Unternehmen der Betonsteinindustrie sind zum einen die auf Querschnittstechnologien und dem Einsatz erneuerbarer Energien zielenden Instrumente von Bedeutung. Mit Blick auf die Zementproduktion kommt auch auf die Förderung klimaneutraler Produktionsweisen zielenden neuen Instrumenten⁵ besondere Bedeutung zu. Diese haben das Potenzial für die Betonsteinindustrie, dass emissionsarme oder sogar emissionsneutrale Vorprodukte verfügbar werden, im Idealfall sogar mit nur geringen Mehrkosten im Vergleich zu heute gängigen Einsatzstoffen.

Auch mit Blick auf die abschließend benannten wichtigsten Rahmenbedingungen lässt sich festhalten, dass die für die Unternehmen der Betonsteinindustrie erarbeiteten Reduktionsmaßnahmen sinnvoll erscheinen und die Umsetzung solcher Maßnahmen auch aus wirtschaftlichen Gründen eine hohe Priorität haben sollte.

11 Weiterführende Informationen

- Standards zur CO₂e-Fußabdruck Berechnung:
 - Greenhouse Gas Protocol: <https://ghgprotocol.org/companies-and-organizations>
 - ISO 14064: <https://www.iso.org/standard/66453.html>
- Leitfäden zur Erstellung von CCFs/ Etablierung von Klimaschutz im Unternehmen:
 - Leitfaden des *Umweltbundesamtes* für Landesverwaltungen: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/der-weg-zur-treibhausgasneutralen-verwaltung>
 - Anleitung „vom Energiemanagement zum Klimamanagement“ von der Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V. (DENEFF): <https://deneff.org/deneff-downloads/leitfaden-vom-energiemanagement-zum-klimamanagement/>

der Industrie durch Klimaschutzverträge (Förderlinie Klimaschutzverträge – FRL KSV)“.

Förderprogramm „Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft“ (EEW).
⁵ Ein Beispiel ist der im Dezember 2022 bekannt gewordene Entwurf des BMWK „Richtlinie zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in

- CO₂e-Fußabdruck der Landesvertretung der Freien und Hansestadt Hamburg:
<https://www.hamburg.de/klima-plan/13493606/co2-fussabdruck-landesverwaltung-hh/>

12 Verzeichnisse

12.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prozentualer Absatz von Beton-erzeugnis-sen für den Straßen-, Garten- und Landschaftsbau in 2021 (Datenquelle: Statistisches Bundesamt)	7
Abbildung 2: Netto-Umsatzentwicklung [€] von Beton-erzeugnissen für den Straßen-, Garten- und Landschafts-bau von 2001 bis 2021 (Datenquelle: Statistisches Bundesamt)	7
Abbildung 3: Ablauf Carbon Footprinting	8
Abbildung 4: Operative Systemgrenzen Carbon Footprint	10
Abbildung 5: In der Startbilanz betrachtete Emissionsquellen.....	11
Abbildung 6: Definition Musterbetriebe	12
Abbildung 7: Dargestellte Maßnahmen im Vermeidungskostenrechner	20
Abbildung 8: Entwicklung der CO2-Emissionen in Scope 1 und 2 des Musterwerks Pflastersteinfertiger bis 2030.....	24
Abbildung 9: Entwicklung der CO2-Emissionen in Scope 1 und 2 des Musterwerks Plattenfertiger bis 2030 ..	24
Abbildung 10: Entwicklung der gesamten CO2-Emis-sionen des Musterwerks Pflastersteinfertiger bis 2030 ..	24
Abbildung 11: Entwicklung der gesamten CO2-Emissionen des Musterwerks Plattenfertiger bis 2030	25
Abbildung 12: Aufbau des Vermeidungskostenrechners.....	25
Abbildung 13: VKR-Auszug – Referenzwerk mit relevanten Verbrauchswerten für Scope 1- und Scope 2-Emissionen	26
Abbildung 14: VKR-Auszug – Referenzwerk mit relevanten Verbrauchswerten für Scope 3-Emissionen	26
Abbildung 15: VKR-Auszug – Startbilanz für das fiktive Musterwerk Pflastersteinfertiger im Referenzjahr 2020	27
Abbildung 16: VKR-Auszug – Default-Werte mit Quellenangabe Preise	28
Abbildung 17: VKR-Auszug – Eingabefelder für Emissionsfaktoren Referenzjahr 2020	29
Abbildung 18: VKR-Auszug – Eingabefelder für Preise.....	30
Abbildung 19: Startbilanz mit den Default-Werten – Beispiel Härtekammern	30
Abbildung 20: Startbilanz mit Handeingaben – Beispiel Härtekammern	31
Abbildung 21: Eingabefelder und Default-Werte für Maßnahme 1	31
Abbildung 22: Tabellarische Ergebnisdarstellung und Darstellungsmöglichkeiten im Diagramm aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 1	31
Abbildung 23: Grafische Ergebnisdarstellung der Scope 1- und Scope 2-Emissionen aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 1	31
Abbildung 24: Verlauf der Gesamtemissionen nach Umsetzung von Maßnahme 1 – „Reduktion des Energiebedarfs der Härtekammern“ aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger	32
Abbildung 25: Tabellarische Ergebnisdarstellung der Kosten und Darstellungsmöglichkeiten im Diagramm aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger - Maßnahme 1	32
Abbildung 26: Grafische Ergebnisdarstellung der Kosten inkl. CO2-Kosten aus Scope 3 aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 1	32
Abbildung 27: Tabellarische Ergebnisdarstellung der Kosten und Darstellungsmöglichkeiten im Diagramm aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger - Maßnahme 1	32
Abbildung 28: Grafische Ergebnisdarstellung der Kosten ohne CO2-Kosten aus Scope 3 aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger - Maßnahme 1	33
Abbildung 29: Eingabefelder und Default-Werte für Maßnahme 2	33
Abbildung 30: Eingabefelder und Default-Werte für Maßnahme 7 – Betrachtungsjahre 2025 und 2030	33
Abbildung 31: Tabellarische Ergebnisdarstellung und Darstellungsmöglichkeiten im Diagramm aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 7	34

Abbildung 32: Grafische Ergebnisdarstellung der Scope 3-Emissionen aus dem Musterwerk Pflastersteinfertiger – Maßnahme 734

Abbildung 33: Eingaben Maßnahme 7 – fiktives Reduktionsmaßnahmenbeispiel – Ersatz CEM II durch Hochofenzement CEM IIIA34

Abbildung 34: Scope 3-Emissionen Maßnahme 7 nach Anpassung: Austausch CEM II durch CEM III/A34

12.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Identifizierte Treibhausgas-Reduktionsmaßnahmen6

Tabelle 2: Erwärmungspotenzial von THG9

Tabelle 3: Verbrauchswerte Plattenfertiger14

Tabelle 4: Verbrauchswerte Pflastersteinfertiger16

Tabelle 5: Startbilanz Plattenfertiger18

Tabelle 6: Startbilanz Steinfertiger19

Tabelle 7: Umgesetzte Maßnahmen für die Reduktionspfade im Zeitraum bis 203023

Tabelle 8: Quellen Emissionsfaktoren42

12.3 Abkürzungsverzeichnis

BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
CAPEX	Capital Expenditures (Investitionsausgaben für längerfristige Anlagegüter)
CCF	Corporate Carbon Footprint
CO ₂ e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
EF	Emissionsfaktor
EPD	Environmental Product Declaration
EU-ETS	European Emission Trading System
GHG	Greenhouse Gas Protocol
GWP	Global Warming Potential
Hi	Heizwert
HKN	Herkunftsnachweis
Hs	Brennwert
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Jährl.	Jährlich
nEHS	Nationaler Emissionshandel
OPEX	Operational Expenditures (laufende Ausgaben für einen funktionierenden operativen Geschäftsbetrieb)
PPA	Power Purchase Agreement
THG	Treibhausgase
VKR	Vermeidungskostenrechner
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resources Institute

12.4 Quellenverzeichnis

GHG-Protocol: Gründung 1998 durch World Resources Institute (WRI) und World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Verfügbar unter: <http://www.ghgprotocol.org>

VDZ (2020), Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien, Verfügbar unter: <https://www.vdz-online.de/wissensportal/publikationen/dekarbonisierung-von-zement-und-beton-minderungspfade-und-handlungsstrategien>

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit, Verfügbar unter: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/energieeffizienz_und_prozesswaerme_node.html

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), (2022) „Richtlinie zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge (Förderrichtlinie Klimaschutzverträge – FRL KSV)“.

Anhang 1: Emissionsfaktoren

		Emissionen [t CO ₂ e pro Einheit]			Quellenverzeichnis		
Emissionsquelle	Einheit der Emissionsquelle	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Scope 1	Scope 2	Scope 3
Energieträger Betrieb							
Erdgas	kWh Hs	0,000183	-	0,000031	DEFRA 2021, Fuels, Gaseous Fuels, Natural Gas, GCV (Gross calorific value)	-	DEFRA 2021, WTT Fuels, Gaseous Fuels, Natural Gas, GCV (Gross calorific value)
Heizöl	kWh	0,000267	-	0,000040	UBA/DEHS: Leitfaden zur Erstellung von Überwachungsplänen und Emissionsberichten für stationäre Anlagen in der dritten Handelsperiode (2021-2030), Anhang 4;	-	GEMIS 5.0, Öl-leicht-Kessel-DE-2020 (Endenergie)
Strommix Dtlid 2020	kWh	-	0,000382	0,000056		UBA: Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021, Jahr 2020	UBA: Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021, Jahr 2020
Flüssiggas	kWh Hi	0,000230	-	0,000027	DEFRA 2021, Fuels, Gaseous Fuels, LPG, NCV (Net calorific value)	-	DEFRA 2021, WTT Fuels, Gaseous Fuels, LPG, NCV (Net calorific value)
Diesel	Liter	0,002658	-	0,000470	UBA/DEHS: Leitfaden zur Erstellung von Überwachungsplänen und Emissionsberichten für stationäre Anlagen in der dritten Handelsperiode (2021-2030), Anhang 4; Umrechnung Einheiten gemäß Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Nov. 2019; Merkblatt zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs, Tab. S. 6	-	GEMIS 5.0, Diesel-Mix-DE-2020 (inkl. Biokraftstoffe); Umrechnung Einheiten gemäß Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Nov. 2019; Merkblatt zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs, Tab. S. 6
Transport vorgelagert	Liter	-	-	0,003128	UBA/DEHS: Leitfaden zur Erstellung von Überwachungsplänen und Emissionsberichten für stationäre Anlagen in der dritten Handelsperiode (2021-2030), Anhang 4; Umrechnung Einheiten gemäß Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Nov. 2019; Merkblatt zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs, Tab. S. 6	-	GEMIS 5.0, Diesel-Mix-DE-2020 (inkl. Biokraftstoffe); Umrechnung Einheiten gemäß Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Nov. 2019; Merkblatt zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs, Tab. S. 6
Transport nachgelagert	Liter	-	-	0,003128	UBA/DEHS: Leitfaden zur Erstellung von Überwachungsplänen und Emissionsberichten für stationäre Anlagen in der dritten Handelsperiode (2021-2030), Anhang 4; Umrechnung Einheiten gemäß Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Nov. 2019; Merkblatt zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs, Tab. S. 6	-	GEMIS 5.0, Diesel-Mix-DE-2020 (inkl. Biokraftstoffe); Umrechnung Einheiten gemäß Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Nov. 2019; Merkblatt zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs, Tab. S. 6
Zement							
Zement - CEM I	t	-	-	0,665000			EPD-VDZ-20220153-IAG1-DE (Nettowert)
Zement - CEM II	t	-	-	0,553000			EPD-VDZ-20210336-IAG1-DE (Nettowert)
Weißzement	t	-	-	0,845000			EPD Dyckerhoff (nicht veröffentlicht) - „Self-declaration based on Envrondec c-PCR-001 Cement and building limes (EN 16908)“ (Nettowert)
Gesteinskörnungen (Zuschlagsstoffe)							
Sand, Kies	t	-	-	0,000485			Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle; Informationsblatt CO ₂ -Faktoren, Datum des Inkrafttretens 01.11.2021; Kies (Baukies) analog Sand (Bausand)
Farben	t	-	-	2,600000			Eurocolour e.V., The groups of pigments and their CF values; Inorganic pigments and fillers, Status: May 2022
Zusatzstoffe (Füllstoffe)							
Flugasche	t	-	-	0,198000			EPD-Baumineral-021-DE
Quarzsteinmehl	t	-	-	0,043420			Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle; Informationsblatt CO ₂ -Faktoren, Datum des Inkrafttretens 01.11.2021; Quarzsand
Kalksteinmehl	t	-	-	0,0452			ProBas Steine-ErdenCaCO ₃ -Mehl-DE-2000

SLG-Projekt „Wege zur klimaneutralen Betonsteinherstellung“

		Emissionen [t CO ₂ e pro Einheit]			Quellenverzeichnis			
Emissionsquelle	Einheit der Emissionsquelle		Scope 1	Scope 2	Scope 3	Scope 1	Scope 2	Scope 3
Zusatzmittel								
Plastifizierer - Concrete admixtures – Plasticizer and superplasticizer - Deutsche Bauchemie e.V. (DBC) (A1-A3)	1 kg plasticisers and superplasticisers		-	-	1,53			Global warming potential - total A1-A3 (LCA angebe im Datenblatt)
Luftporenbildner - Sodium ligninsulfonate	Concrete admixtures – air entrainers (Annahme, dass das passt)		-	-	0,439			Global warming potential - total A1-A3 (LCA angebe im Datenblatt)
Stabilisierer - Concrete admixtures – Retarders – Deutsche Bauchemie e.V. (DBC) (A1-A3)	RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT according to EN 15804+A2: 1 kg retarders		-	-	1,23			Global warming potential - total A1-A3 (LCA angebe im Datenblatt)
Hydrophobierer - Phenylmethyl siloxane	RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT according to EN 15804+A2: 1 kg water resisting admixture		-	-	2,67			Global warming potential - total A1-A3 (LCA angebe im Datenblatt)
Wasser ¹⁾	t		-	-	0,000000			
Abwasser	cbm		-	-	0,000272			DEFRA 2021, Water treatment, cubic metres
Oberflächenschutzsysteme								
Imprägniermittel (Aushärtung über Infrarot)	t		-	-	2,012000			Ecoinvent 3.8, market for acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state
Oberflächenbearbeitung (vor/nach Erhärtung)								
Stahlkugeln (Strahlanlage)	t		-	-	1,5			ProBas MetallStahl-mix-DE-2020
Verpackungsmaterial	t		-	-	0,806000			ProBas Papier-PappeKraftpapier
Grünstrom								
Ökostrommix Dtdl 2020	kWh		-	0,000001	0,00004			Eigene Herleitung/Berechnung gemäß GHG PK-Vorgaben aus 1) AGEb: Stromerzeugung nach Energieträgern 1990 - 2021 (Stand Dezember 2021); 2) BDEW: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern in D (Stand Nov 2021) 3) AGEe, Sept 2021: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Excel, S. 6 Tabelle 3; 4) GEMIS 5.0, aktualisierte Daten Feb. 2021, EI-mix-DE-2020; 5) UBA, Mai 2021: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxidemissionen des deutschen Strommix 1990 - 2020
PV-Strom	kWh		-	0	0,00006			Eigene Herleitung/Berechnung gemäß GHG PK-Vorgaben aus 1) AGEb: Stromerzeugung nach Energieträgern 1990 - 2021 (Stand Dezember 2021); 2) BDEW: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern in D (Stand Nov 2021) 3) AGEe, Sept 2021: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Excel, S. 6 Tabelle 3; 4) GEMIS 5.0, aktualisierte Daten Feb. 2021, EI-mix-DE-2020; 5) UBA, Mai 2021: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxidemissionen des deutschen Strommix 1990 - 2020, Tabelle 1, S. 10 sowie S. 16, Tab. 3
Windstrom	kWh		-	0	0,00002			
Wasserstrom	kWh		-	0	0,00000			

Anhang 2: Quellen Emissionsfaktoren

Tabelle 8: Quellen Emissionsfaktoren

Abkürzung	Bezeichnung	Link
Agora	Agora Energiewende, Smart Energy for Europe Platform (SEFEP) gGmbH	https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/transformationskostenrechner-power-2-heat/
Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA); Informationsblatt CO ₂ -Faktoren, Datum des Inkrafttretens 01.11.2021	https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2021.pdf;jsessionid=B9BD68A926560CFF69991AF149A45574.1_cid381?__blob=publicationFile&v=9
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs (Britische Regierung)	https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting
BauMineral GmbH	BCS Öko-Garantie GmbH - Ecobility Experts	https://www.baumineral.de/downloads/file/481/EPD-Baumineral-021-EFA-F%C3%BCller-HM.pdf
Ecoinvent	Ecoinvent	https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/
EPD Deutsche Bauchemie	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Umweltprodukt-Deklaration, EPD-EFC-20210198-IBG1-EN, 16.12.2021	https://muster-epd.deutsche-bauchemie.de/fileadmin/user_upload/EFCA-model-EPD_plasticisers_superplasticisers_final_2026-12-15.pdf
EPD Deutsche Bauchemie	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Umweltprodukt-Deklaration, EPD-EFC-20210193-IBG1-EN, 16.12.2022	https://muster-epd.deutsche-bauchemie.de/fileadmin/user_upload/EFCA-model-EPD_air_entrainers_final_2026-12-15.pdf
EPD Deutsche Bauchemie	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Umweltprodukt-Deklaration, EPD-EFC-20210195-IBG1-EN, 16.12.2023	https://muster-epd.deutsche-bauchemie.de/fileadmin/user_upload/EFCA-model-EPD_retarders_final_2026-12-15.pdf
EPD Deutsche Bauchemie	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), Umweltprodukt-Deklaration, EPD-EFC-20210197-IBG1-EN, 16.12.2024	https://muster-epd.deutsche-bauchemie.de/fileadmin/user_upload/EFCA-model-EPD_water-resisting_admixtures_final_2026-12-15.pdf
EPD-VDZ-20210336-IAG1-DE	Verein Deutscher Zementwerke e.V., Umweltprodukt-Deklaration, EPD-VDZ-20210336-IAG1-DE, 25.05.2022	https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/umweltschutz/Durchschnittlicher_Zement_D.pdf
EPD-VDZ-20220153-IAG1-DE	Verein Deutscher Zementwerke e.V., Umweltprodukt-Deklaration, EPD-VDZ-20220153-IAG1-DE, 08.06.2022	https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/umweltschutz/Portlandzement_CEM_I.pdf
Eurocolour	Eurocolour e.V., The groups of pigments and their CF values; Inorganic pigments and fillers, Status: May 2022	https://eurocolour.org/media/eurocolour_flyer_carbon_footprint_05.2022.pdf
GEMIS	GEMIS von Internationale Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und – strategien (IINAS)	https://iinas.org/downloads/gemis-downloads/
Probas	Umweltbundesamt & Internationale Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS), "Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas)"	https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id=%7B0E0B2C9A-9043-11D3-B2C8-0080C8941B49%7D

UBA	Umweltbundesamt	https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendi-oxid-8
UBA/DEHST	Umweltbundesamt / Deutsche Emissionshandelsstelle: Leitfaden zur Erstellung von Überwachungsplänen und Emissionsberichten für stationäre Anlagen in der dritten Handelsperiode (2021-2030)	https://www.dehst.de/DE/service/archivsuche/archiv/SharedDocs/downloads/DE/stationaere-anlagen_2013-2020/Emissionsbericht_Leitfaden.pdf?__blob=publication-File&v=2