

**BELLONA**

**2024**

**Embodied Carbon**

---

**Der stille Klimagigant**



Die Bilanzierung und Festlegung von Grenzwerten für Embodied Carbon (verkörperter Kohlenstoff) ist ein entscheidender Bestandteil der laufenden Bemühungen der EU, die Klimaziele zu erreichen. Der Gebäudesektor, auf den etwa 40 % des Energieverbrauchs und 36 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der EU [1] entfallen, ist dabei besonders relevant. Von diesen Emissionen macht Embodied Carbon schätzungsweise 10–25 % des gesamten CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks von Gebäuden aus. Dieser Anteil ist bei neuen Gebäuden höher und nimmt im Allgemeinen zu, wenn die Energieeffizienz den Anteil der betrieblichen Emissionen verringert.

Um bis 2050 einen Gebäudesektor mit Netto-Null-Emissionen zu erreichen, der zum Erreichen der EU-Klimaziele notwendig ist, müssen alle neuen Gebäude und Renovierungsprojekte Embodied Carbon berücksichtigen. Zwei Drittel (65 %) des europäischen Gebäudebestands wurden vor 1980 gebaut, und etwa 97 % der Gebäude in der EU müssen saniert werden, um das Ziel für 2050 zu erreichen [1]. Eine riesige Renovierungswelle steht uns bevor.

In der EU und im deutschen Kontext wird das Thema momentan auf mehreren Ebenen bearbeitet. So geht Deutschland beispielsweise mit der Entwicklung von Labels für grünen Stahl, grünen Zement und grüne Chemikalien einen wichtigen Schritt voran, um CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Produktionsphase zu reduzieren. Die Labels übernehmen die wichtige Funktion, die Verbraucher über das Produkt zu informieren und Anreize zu schaffen, CO<sub>2</sub>-arme Produkte zu kaufen. Damit nimmt Deutschland eine aktive Rolle in der Reduzierung von Embodied Carbon in Europa ein. Doch die Maßnahmen müssen unbedingt an Schnelligkeit gewinnen. Um ein genaueres Bild über die nötigen Vorgehensweisen und Instrumente zu bilden, geben wir im Folgenden eine Einführung zu Embodied Carbon – und warum es so wichtig ist, den stillen Klimagiganten schnellstmöglich zu reduzieren.

# Embodied Carbon 101

## Was ist Embodied Carbon?

Bei Embodied Carbon handelt es sich um eine Emissionskategorie, die den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Inhaltsstoffe und Prozesse bei der Herstellung eines Produkts (so genannter Upfront Carbon) umfasst sowie die Emissionen, die bei der Behandlung oder Entsorgung eines solchen Produkts am Ende seiner Lebensdauer entstehen (so genannter End-of-Life Carbon).

Embodied Carbon (verkörperter Kohlenstoff) unterscheidet sich von betrieblichen Kohlenstoffemissionen (Betriebskohlenstoff oder Betriebsemissionen), d. h. dem Kohlenstoff der bei der Nutzung eines Produkts oder Gebäudes freigesetzt wird, z. B. beim Heizen, Kühlen oder bei der Beleuchtung eines Gebäudes. Mit anderen Worten: Embodied Carbon ist die Gesamtheit der Emissionen, die mit einem bestimmten Gut verbunden oder in ihm enthalten sind, abzüglich des betrieblichen Kohlenstoffs.

Zusammen ergeben Embodied Carbon und der betriebliche Kohlenstoff den gesamten Klima-Fußabdruck oder die Lebenszyklusemissionen beispielsweise eines Gebäudes (siehe Abbildung 1). Dies wird auch als „Whole-Life Carbon“ (WLC) bezeichnet.

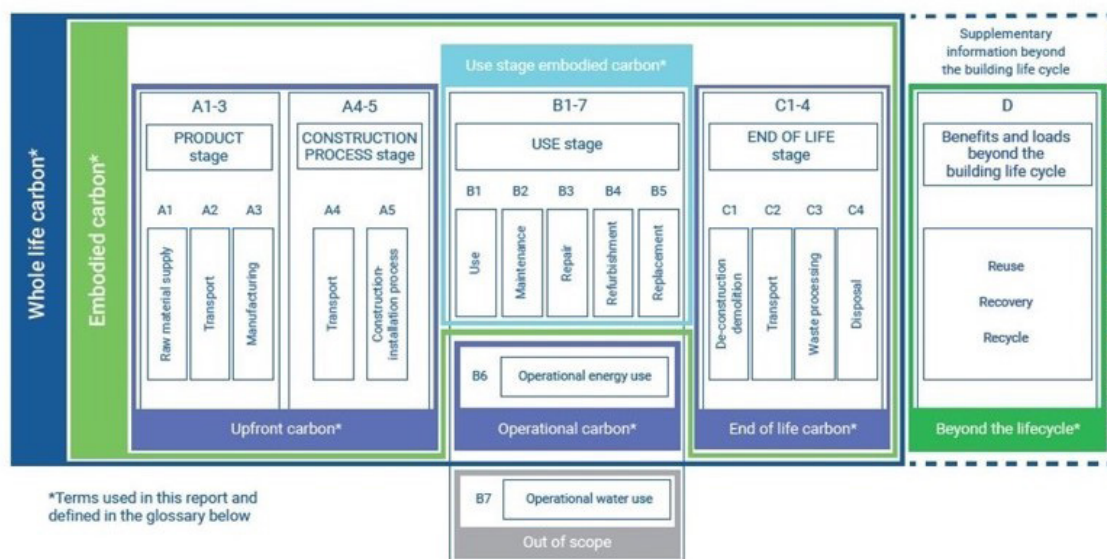


Abbildung 1: Lebenszyklus-Emissionen eines Gebäudes. Quelle: WorldGBC, 2022 [2].

## Warum unterscheiden wir zwischen Embodied Carbon und betrieblichen Kohlenstoff?

Der Vorteil der Unterscheidung zwischen Embodied Carbon und betrieblichem Kohlenstoff liegt darin, dass wir uns auf die Emissionen aus der Produktion und Entsorgung von Materialien konzentrieren können. Dazu gehören schwer vermeidbare Prozessemissionen, die während einigen chemischen Prozessen entstehen und daher nicht durch den Wechsel zu erneuerbaren Energien vermieden werden können. Dies gilt beispielsweise für die Herstellung von Zement, bei der durch die Verwendung von Kalkstein CO<sub>2</sub> freigesetzt wird. Da dieses CO<sub>2</sub> in der Entstehung unvermeidbar ist, bedarf es der Anwendung von Carbon Capture Storage (CCS), also der Abscheidung von CO<sub>2</sub>, um Emissionen zu verhindern.

Ein weiterer Vorteil der Unterscheidung zwischen Embodied Carbon und betrieblichem Kohlenstoff ist, dass sie uns hilft, die Klimabilanz z.B. eines Gebäudes besser zu verstehen. Wenn es um Klimaschutzmaßnahmen im Gebäude- und Bausektor geht, lag der Schwerpunkt der Bemühungen bisher oft darauf, die betrieblichen Emissionen durch Energieeinsparungen und Energieeffizienzmaßnahmen zu minimieren. Die EU-Energieeffizienzrichtlinie hat sich dafür als erfolgreiche Maßnahme erwiesen, um die betrieblichen Emissionen zu senken. Die Energieeffizienz ist jedoch nur ein Teil der gesamten Klimabilanz eines Gebäudes, die es zu verbessern gilt. Aufgrund des Erfolgs in der Energieeffizienz, ist der Anteil des Embodied Carbon an der Klimabilanz proportional gestiegen.

## Warum ist Embodied Carbon so wichtig?

Der Fokus auf Embodied Carbon verdeutlicht, welche zusätzlichen Maßnahmen wir über die Energieeffizienz hinaus ergreifen müssen. Oft sind das Maßnahmen, die lange vor dem Bau oder der Fertigstellung eines Gebäudes erfolgen müssen, zum Beispiel bei der Auswahl und Produktion der Materialien.

Bei neugebauten Häusern kann Embodied Carbon bis zu 50 % der gesamten Treibhausgasemissionen ausmachen, wenn auch der Anteil je nach Gebäudetyp variiert. Ein Lagerhaus hat beispielsweise in der Regel geringere betriebliche Emissionen als ein Bürogebäude, so dass ein höherer Anteil des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks über die gesamte Lebensdauer auf Embodied Carbon entfällt.

Die Möglichkeit, die Emissionen verschiedener Bauteile eines Gebäudes über die betrieblichen Emissionen hinaus zu vergleichen, ist für das Erreichen der Klimaneutralität von grundlegender Bedeutung. Indem wir Embodied Carbon in den Gesamtfußabdruck jedes Materials und Produkts

einbeziehen, schaffen wir ein Bewusstsein für den gesamten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Gebäudes. Dies wiederum kann uns helfen, die klimaneutrale Produktion von Materialien entlang der gesamten Wertschöpfungskette voranzutreiben. einbeziehen, schaffen wir ein Bewusstsein für den gesamten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Gebäudes.

## Um welche Materialien handelt es sich hauptsächlich?

Die weltweite Materialproduktion belief sich im Jahr 2020 auf 12,7 Gt CO<sub>2</sub>e, einschließlich der zu ihrer Herstellung verwendeten Energie. Das ist ein Viertel (25 %) der Gesamtemissionen im Jahr 2020. Die wichtigsten produzierten Materialien waren Eisen und Stahl (7 % der globalen Emissionen), Zement und Beton (6 %), Kunststoffe (4 %) und Aluminium (2 %), während die übrigen 6 % auf verschiedene andere Materialien entfielen [3]. Zu den in der Bauindustrie häufig verwendeten Materialien gehören auch Glas und Holz. Bauchemikalien spielen ebenfalls eine Rolle, z.B. bei der Häuserisolierung.

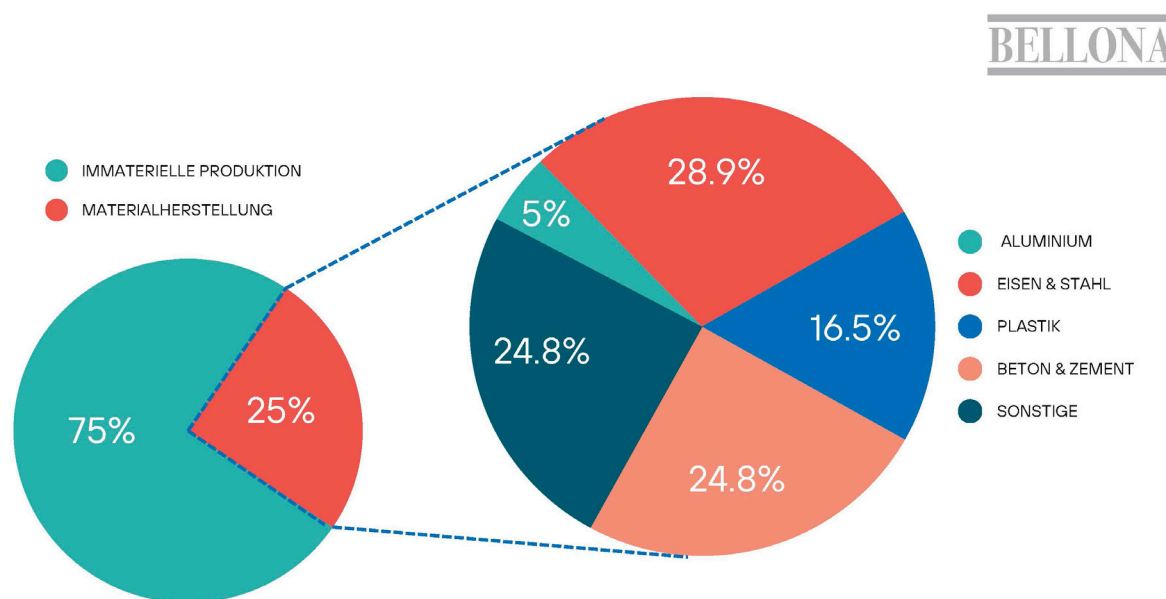


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen (THG) aus der Materialproduktion weltweit in 2020. Quelle: Eunomia, 2022.

### Kunststoffe und Bauchemikalien

In Europa entfallen jährlich 10 Millionen Tonnen Kunststoffe (20 % des gesamten Kunststoffverbrauchs) auf den Bausektor. Zu den Kunststoffanwendungen in Gebäuden gehören Isolierung, Rohrleitungen und Fensterrahmen [4]. Die Emissionen von Kunststoffen variieren je nach Produkt. So verursacht die Kunststoffproduktion etwa 1,6 bis 1,95 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Polypropylen<sup>1</sup> einer Kunststoffart, die häufig für Rohrleitungen verwendet wird [5, 6].

<sup>1</sup> In diesem Wert ist das Ende der Lebensdauer nicht enthalten.

Neben Kunststoffen gibt es noch andere Chemikalien, die im Bauwesen verwendet werden, wie z. B. Betonzusatzmittel, Klebstoffe, Beschichtungen, Lacke und weitere [7], die jedoch aufgrund ihrer Anwendungsmerkmale in geringeren Mengen eingesetzt werden als die hier genannten Materialien.

## **Aluminium**

Nach Stahl ist Aluminium das am häufigsten für Bauzwecke verwendete Metall, das in verschiedenen Bereichen, von Geschäftsgebäuden bis hin zu Wohnhäusern, in großem Umfang eingesetzt wird. Die Bauindustrie im Vereinigten Königreich verbraucht z.B. 40 % der inländischen Jahresproduktion von Aluminium. Es wird für Fenster, Bedachungen, Verkleidungen, Vorhangfassaden und strukturelle Verglasungen, vorgefertigte Gebäude, Rohrleitungen, Ladeneinrichtungen sowie Trennwände verwendet. Aluminium wird auch in großem Umfang für Leitern und Gerüste während der Bauphase verwendet [8]. Aluminium ist jedoch ein höchst kohlenstoffintensives Produkt. So stößt Primäraluminium durchschnittlich 16,5 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Metall aus [9].

## **Glas**

In der Bauindustrie wird Glas üblicherweise für Fensterscheiben verwendet. In den vergangenen 25 Jahren ist jedoch ein wachsender Trend zur Verwendung von Glas als primäres Baumaterial zu verzeichnen. Das Embodied Carbon von Glas ist vor allem mit den hohen Temperaturen verbunden, die für seine Herstellung erforderlich sind. Zum Vergleich: Der Wert (in MJ/kg) ist höher als der von Stahlbeton und niedriger als der von Stahl [10]. Die Emissionen der Glasproduktion belaufen sich auf 0,46 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Glas [11].

## **Holz**

Holz wird seit Jahrhunderten als Baumaterial verwendet. Die Holzwerkstoffe haben sich in den vergangenen Jahren als Baumaterial durchgesetzt. Wenn die Anforderungen einer verantwortungsvollen Fällung und nachhaltigen Forstwirtschaftsstrategien erfüllt werden, kann Holz als erneuerbares Material sinnvoll sein [12]. Der Holzbau bietet eine Vielzahl von Vorteilen, die sowohl ökologische, ökonomische als auch ästhetische Aspekte umfassen. So ist Holz ein nachwachsender Rohstoff, und der Holzbau trägt zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks bei. Bäume absorbieren während ihres Wachstums CO<sub>2</sub>, und dieses wird im Holz gespeichert, was dazu beiträgt, den Treibhauseffekt zu verringern. Holz ist ein natürlicher Isolator und bietet gute Wärmedämmung. Holzkonstruktionen haben daher oft eine bessere Energieeffizienz. Moderne Holzbautechniken ermöglichen eine schnellere Bauzeit im Vergleich zu traditionellen Baustilen.

Dies kann zu Kostenersparnissen und schnellerem Bezug führen. Es ist im Vergleich zu anderen Baumaterialien leichter, was den Transport und die Handhabung auf der Baustelle erleichtert, insbesondere bei großen Bauprojekten. Holz kann recycelt und wiederverwendet werden, was zu einer nachhaltigen Bauweise beiträgt. Abfallprodukte können für andere Zwecke, wie Biomasseenergie, verwendet werden. Holz reguliert auf natürliche Weise die Luftfeuchtigkeit im Innenraum, was zu einem gesünderen und angenehmeren Raumklima beiträgt. Zudem emittiert es im Vergleich zu einigen anderen Baustoffen weniger schädliche Substanzen. Diese Vorteile machen den Holzbau zu einer attraktiven Option für eine Vielzahl von Bauprojekten, von Wohnhäusern bis hin zu gewerblichen und öffentlichen Gebäuden. Begrenzt wird der Einsatz durch die Verfügbarkeit [13].

### **Isolierung**

Mit der Zunahme von Energieeffizienzmaßnahmen für Gebäude wird auch der Verbrauch von Dämmstoffen steigen. Zu den gebräuchlichsten Materialien, die für Dämmung verwendet werden, gehören Zellulose, Glasfaser, Mineralwolle (aus Gestein oder Schlacke), Polyurethan-Schaumstoffe und Polystyrol [14], [15].

Es wird prognostiziert, dass sich der Rohstoffverbrauch bis 2060 verdoppelt [16], was bedeutet, dass die Dekarbonisierung der bereits weit verbreiteten und kohlenstoffintensiven Materialien so schnell wie möglich erfolgen muss.

### **Zement**

Zement ist ein wichtiger Bestandteil von Beton, welcher im Bauwesen genutzt wird. Obwohl Zement nur einen relativ kleinen Teil des Betons ausmacht, ist er für den größten Teil seiner Emissionen verantwortlich. Bei der Herstellung von Zement werden ungefähr 0,9 Tonnen CO<sub>2</sub> pro produzierter Tonne Zement emittiert [17]. Eine Tonne Normalbeton besteht zu ca. 20% aus Zement [18].

### **Stahl**

Stahl ist ein wichtiger Werkstoff in unserer Gesellschaft, da er für Infrastrukturen wie z. B. Gebäude eingesetzt wird. Die Stahlproduktion, die momentan größtenteils auf der kohlebasierten Hochofenroute basiert, zählt zu den größten Emittenten (zwischen 1,4 und 2,3 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Stahl, je nach Produktionsweg [18]) und weltweit für 7,2 % der jährlichen Treibhausgasemissionen [20] verantwortlich. Den beiden wichtigsten Baumaterialien Zement und Stahl widmen wir uns in zwei jeweiligen Kurzanalysen ausführlicher.

## Referenzen

- [1] BPIE (2021). Deep Renovation: Shifting from Exception to Standard Practice in EU Policy. Retrieved from. Abgerufen von: [https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2021/11/BPIE\\_Deep-Renovation-Brieng\\_Final.pdf](https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2021/11/BPIE_Deep-Renovation-Brieng_Final.pdf) (Zugri: 15. Juli 2023).
- [2] World Green Building Council (2022). Bringing embodied carbon upfront.
- [3] Eunomia (2022). Is Net Zero Enough for the Materials Sector? Verfügbar unter: <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/is-net-zero-enough-for-the-materials-production-sector/> (Zugri: 15. Juli 2023).
- [4] Plastics Europe (2022). Plastics Explained: Building & Construction. Verfügbar unter: <https://plasticseurope.org/plastics-explained/plastics-in-use/building-and-construction/> (Zugri: 19. Juni 2023).
- [5] Alsabri, A., & Al-Ghamdi, S. G. (2020). Carbon footprint and embodied energy of PVC, PE, and PP piping: Perspective on environmental performance. Energy Reports, 6, 364–370. doi:10.1016/j.egy.2020.11.173
- [6] Alsabri, A., Tahir, F., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). Life-cycle assessment of polypropylene production in the Gulf Cooperation Council (GCC) region. Polymers, 13(21), 3793. doi:10.3390/polym13213793
- [7] Deloitte Consulting LLP (2019). Chemicals and advanced materials in construction. Abgerufen von <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/chemicals-advanced-materials-inconstruction.html> (Zugri: 19. Juni 2023)
- [8] Civil Engineering Portal (2023). Use of Aluminium in Building Construction. Abgerufen von <https://www.engineeringcivil.com/use-of-aluminium-in-building-construction.html> (Zugri: 19. Juni 2023)
- [9] Reuters (2020) Factbox: Aluminium groups compete to sell lower-carbon products. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/article/aluminium-carbon-factbox-idINKCN2581M6> (Zugri: 11. Juli 2023).
- [10] M. Achintha (2016). Sustainability of glass in construction, In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Sustainability of Construction Materials (Second Edition), Seiten 79-104, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00005-6>.
- [11] Zier, M. et al (2021). A review of decarbonization options for the glass industry. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100083>
- [12] Universität von Galway (2009). Introduction to Timber as an Engineering Material. Abgerufen von <https://www.universityofgalway.ie/media/timberengineeringresearchgroup/Harte---2009---Introduction-to-timber-as-an-engineering-material.pdf> (Zugri: 15. Juli 2023).
- [13] <https://www.korona-holzbau.de/wp-content/uploads/2021/11/broschuere-bauen-mit-holzklimaschutz1.pdf> (Abruf 01.02.2024)
- [14] U.S. Energieministerium. Types of insulation. Abgerufen von <https://www.energy.gov/energysaver/typesinsulation> (Zugri: 16. Juni 2023).
- [15] ThermaxxJacken. (2022) 5 most common thermal insulation materials, Thermaxx Blog: Insulation, Energy Savings, & More. Verfügbar unter: <https://blog.thermaxxjackets.com/5-most-common-thermal-insulationmaterials> (Zugri: 06. Juni 2023).

[16] GlobalABC (2022). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction.

[17] Mahasenana, N. et al. (2007) The cement industry and Global Climate Change: Current and potential future cement industry CO2 emissions. <https://doi.org/10.1016/B978-008044276-1/50157-4>

[18] <https://www.cemex.de/produkte/zement/beton-mischen>

[94] Weltstahlverband (2023). Sustainability indicators. Abgerufen von <https://worldsteel.org/steeltopics/sustainability/sustainability-indicators/> (Zugri: 15. Juli 2023).

[20] IEA, 2020: Iron and Steel Technology Roadmap, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/iron-and-steeltechnology-roadmap>, Lizenz: CC BY 4.0