



University Thesis

Francisco Manuel Kalies

Embodied Carbon

Wie viel CO₂ enthält eine Projektentwicklung?

Herausgegeben von Prof. Dr. Anne Sanftenberg

Francisco Manuel Kalies
Embodied Carbon

Wie viel CO₂ enthält eine Projektentwicklung?

Francisco Manuel Kalies

Embodied Carbon

Wie viel CO₂ enthält eine Projektentwicklung?

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.de> abrufbar.

WeltTrends

c/o Prof. Dr. Lutz Kleinwächter
Waldhornweg 25
D-14480 Potsdam

Tel.: +49 (0) 331 / 600 88 77

Handy: 0151 - 153 409 15

Mail: verlag@welttrends.de

Die Schriftenreihe University Thesis wird herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Thomas P. Zahn als Leiter des Forschungsinstituts fib,
im Auftrag der bbw Hochschule.

Francisco Manuel Kalies
Embodied Carbon
Wie viel CO₂ enthält eine Projektentwicklung?

Das Manuskript ist urheberrechtlich geschützt.
© WeltTrends, Potsdam 2024

Projektleitung/Herausgeberschaft: Prof. Dr. Anne Sanftenberg
Lektorat: Angela Unkrüer
Satz & Produktion: printlayout & webdesign, Ivo Olias, Potsdam
Druck: Wir machen Druck, Stuttgart

ISBN 978-3-949887-37-6

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie viel verkörperter Kohlenstoff (Embodied Carbon) eine Projektentwicklung enthält und anhand der zugrunde gelegten Forschungsliteratur ein geeigneter Grenzwert abgeleitet. In diesem Zuge wird die These „*Eine Projektentwicklung verbraucht 500 kg CO₂Äq./m²*“ validiert.

Der Gebäudesektor nimmt für das Erreichen der Klimaziele eine Schlüsselrolle ein. Die Treibhausgasemissionen, die jährlich in Deutschland durch die Bauindustrie emittiert werden, betragen 40 % der gesamten nationalen Emissionen (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2020: S. 14). Durch die optimierte Energieeffizienz im Gebäudebetrieb rücken die durch die Produktion, den Transport, die Bauausführung, die Instandhaltung (Nutzung) und den Abriss resultierenden CO₂-Emissionen in den Vordergrund. Diese werden gemeinhin als verkörperter Kohlenstoff (Embodied Carbon) bezeichnet und in dieser Arbeit genauer untersucht. Dabei wird auf das Modell der Ökobilanzierung zur Berechnung des Embodied Carbons eingegangen und analysiert, welche politischen Regulierungen auf EU- und Bundesebene zu dessen Eindämmung bestehen. Vor diesem Hintergrund wird die abgeleitete Obergrenze anhand einer Fallstudie überprüft. Des Weiteren wird eruiert, welche Baumaterialien die Haupttreiber des Embodied Carbons sind, in welcher Phase die meisten Emissionen auftreten, sowie welche Gebäudeelemente, Konstruktionsformen und Gebäudenutzungsformen besonders viel Kohlenstoff verkörpern.

Die Hauptergebnisse sind, dass eine Projektentwicklung unter 500 kg CO₂Äq./m² verbraucht und die These dahingehend widerlegt werden konnte. Die Obergrenze von 500 kg CO₂Äq./m² bildet einen passenden Referenzwert, wobei sowohl auf EU- als auch auf Bundesebene diesbezüglich noch keine Regulation besteht. Der höchste Embodied Carbon entsteht bei der Rohstoffgewinnung, dem Transport (Produktion) und der Materialherstellung (Module A1-A3). Beton, Stahl und Aluminium sind die Baustoffe mit dem größten Treibhausgaspotential, wohingegen Holz derjenige mit dem niedrigsten unter den Hauptmaterialien ist. Organische Baustoffe zeigen geringere Auswirkungen als mineralische. Es ist jedoch

stets eine Einzelfallbetrachtung erforderlich, da ebenso Beton- bzw. Stahlkonstruktionen mit einem geringen Embodied Carbon möglich sind. Außerdem ist die bei der Ökobilanzierung getroffene Systemgrenze ausschlaggebend für das Ergebnis. Leichtbau- und Hybridkonstruktionen weisen tendenziell einen niedrigeren Embodied Carbon als Massivbaukonstruktionen auf. Unter den Bauelementen verkörpern die vertikalen und horizontalen Tragstrukturen die höchsten CO₂-Emissionen. Wohngebäude weisen im Vergleich zu Bürogebäuden geringere Emissionen auf. Über die anderen Nutzungsformen konnten keine eindeutigen Aussagen getroffen werden.

In dieser Arbeit konnten die intransparenten und unstrukturieren Erkenntnisse auf dem Forschungsgebiet zusammengeführt und geordnet werden. Die Ergebnisse zeigen die Relevanz der Bewertung des Embodied Carbons in Gebäuden. In Anbetracht künftiger politischer Regulierungen bedarf es einer intensiven Auseinandersetzung mit der Thematik, um die Transformation hin zu einer nachhaltigen und dekarbonisierten Bauindustrie zu erreichen.

Inhalt

1. Einleitung	12
1.1 Problemstellung und Motivation	12
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung	22
1.3 Methodik	24
1.4 Struktur der Arbeit	25
2. Hauptteil	28
2.1 Grundlagen zum Embodied Carbon	28
2.1.1 Definition und Abgrenzung des Embodied Carbons	28
2.1.2 Exkurs - Wirkungsindikatoren	32
2.1.3 Ökobilanzierung und Umweltproduktdeklarationen	38
2.1.4 Lebenszyklusbewertung von Gebäuden	43
2.2 Normen, Richtlinien und Risiken	52
2.2.1 Globale Klimamaßnahmen	52
2.2.2 EU-Politik	55
2.2.3 Bundespolitik	64
2.2.4 Zwischenfazit Regulierung	66
2.2.5 Chancen und Risiken für Projektentwickler	67
2.3 Embodied Carbon – Eine quantitative Betrachtung	69
2.3.1 Quellen des Embodied Carbon	69
2.3.2. Baumaterialien	74
2.3.3 Gebäudeelemente	80
2.3.4 Bauweisen	84
2.3.5 Auswirkungen am Lebensende (Modul C3, C4, D)	87
2.3.6 Vergleichswerte	94
2.4 Stand der Forschung	103
2.5 Methodik	107
2.6 Fallstudie	112
2.7 Ergebnisse	114
2.8 Diskussion	117
3. Fazit	126
3.1 Zusammenfassung	126
3.2 Ausblick	128
3.2.1 Vorüberlegungen in der Planung	130

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prognostizierte Emissionsdefizite bis 2050	13
Abbildung 2:	Anstieg der Umweltkatastrophen 1990 bis 2000	14
Abbildung 3:	Embodied Carbon nach Teilbereichen der Bauwirtschaft	17
Abbildung 4:	Embodied Carbon nach Lieferketten der Bauwirtschaft	18
Abbildung 5:	Zusammenhang betriebliche und verkörperte Emissionen	19
Abbildung 6:	Entwicklung des Kohlenstoff-Fußabdruckes von Gebäuden	20
Abbildung 7:	Vergleich kumulierte THG-Emissionen mit Klimazielen	20
Abbildung 8:	Zusammensetzung der eingebundenen Emissionen	29
Abbildung 9:	Schematische Darstellung des Treibhausgas-effektes	33
Abbildung 10:	Biokapazitätsreserve der Erde	35
Abbildung 11:	Notwendige Reduktion der globalen Umweltfußabdrücke	37
Abbildung 12:	Umweltfußabdrücke der Bauindustrie im Jahr 2014	37
Abbildung 13:	Gebäude-Lebenszyklusphasen nach EN 15978	44
Abbildung 14:	Anzahl Embodied Carbon Systeme nach Ländern	53
Abbildung 15:	Durchschnittlicher EC-Grenzwert in Frankreich	61
Abbildung 16:	Kohlenstoffgrenzwerte in Dänemark	62
Abbildung 17:	Embodied Carbon nach Modulen CHBM-Studie	71
Abbildung 18:	Auswertung Lebenszyklusphasen IEA-Studie	72
Abbildung 19:	Embodied Carbon nach Materialien in kg CO ₂ /kg	79
Abbildung 20:	Embodied Carbon nach Material und Gebäudeart	80
Abbildung 21:	Embodied Carbon nach Elementen mit Reduktionspotential	82

Abbildung 22: Treibhausgasemissionen nach DIN 276	83
Abbildung 23: Embodied Carbon nach Element und Nutzungsart	83
Abbildung 24: Treibhausgasemissionen nach Bauweise	87
Abbildung 25: Cradle-to-Gate-Ergebnisse	89
Abbildung 26: Cradle-to-Grave-Ergebnisse	89
Abbildung 27: Unterschied Ergebnisse nach Systemgrenze	90
Abbildung 28: Embodied Carbon Westeuropa	97
Abbildung 29: Embodied Carbon Europa gesamt	97
Abbildung 30: Boxplot Embodied Carbon Osteuropa	98
Abbildung 31: Basiswerte Benchmark je Niveau und Nutzungsart	100
Abbildung 32: Aufstockungsfaktoren für Benchmark	101
Abbildung 33: Skala Carbon Heroes Benchmark Programm	102
Abbildung 34: Geografische Verteilung der Veröffentlichungen	104
Abbildung 35: Verteilung europäischer Veröffentlichungen	105
Abbildung 36: Zeitlicher Verlauf an Veröffentlichungen	106
Abbildung 37: Ergebnisse der Fallstudie nach Modul	114
Abbildung 38: Ergebnisse der Fallstudie nach Elementen	116
Abbildung 39: Einwertung Fallstudie nach Benchmarks	116
Abbildung 40: Massen-Fallstudie nach Elementen	120
Abbildung 41: Pyramide zur Reduktion des Embodied Carbons	131
Abbildung 42: Gebäudeschichten mit Lebensdauer und Emissionen	133
Abbildung 43: Einflussmöglichkeiten im Projektverlauf	135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Embodied Carbon-Grenzwerte in Frankreich	60
Tabelle 2: Einteilung Ländergruppen	95
Tabelle 3: Embodied Carbon-Fallstudie nach Material	115

Über den Autor



Francisco Manuel Kalies, geboren 1994 in Berlin, studierte an der Hochschule für Technik Berlin im Bachelorstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen - Bau, wo er sich bautechnisches Know-how aneignete und den Grundstein für seine berufliche Laufbahn in der Bau- und Immobilienwirtschaft legte.

Als Werkstudent bei einem der größten deutschen Wohnimmobilienentwickler sammelte er erste Erfahrungen in der Projektentwicklung, die er durch seine anschließende Tätigkeit im Projektmanagement bei einem mittelständischen Wohnimmobilienentwickler mit hohem architektonischem und bautechnischem Anspruch ausbaute. Im Rahmen seines berufsbegleitenden Masterstudiums Real Estate Project Management an der bbw Hochschule in Berlin erwarb er ergänzende theoretische Kenntnisse in der Immobilienprojektentwicklung.

Vorwort

Die Bewertung und Messung von Embodied Carbon in Gebäuden ist wesentlicher Bestandteil der Transformation hin zu einer nachhaltigen und dekarbonisierten Bauindustrie. Neben der optimierten Energieeffizienz während des Gebäudebetriebs müssen auch die CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie betrachtet werden. Im Fokus stehen somit auch die durch die Produktion und den Transport, durch die Bauausführung, durch die Instandsetzung und Modernisierung und durch den Abriss resultierenden CO₂-Emissionen. Diese werden als verkörperter Kohlenstoff (Embodied Carbon) bezeichnet, deren Auftreten im Rahmen einer Immobilien-Projektentwicklung im Bestand in dieser Publikation untersucht werden.

Francisco Manuel Kalies widmet sich in seiner Arbeit der Ableitung eines Grenzwertes zum verkörperten Kohlenstoff (Embodied Carbon) und analysiert u.a. mit Hilfe einer Fallstudie, in welcher Phase die meisten Emissionen auftreten, welche Baumaterialien die Haupttreiber des Embodied Carbons sind sowie welche Gebäudeelemente, Konstruktionsformen und Gebäudenutzungsformen besonders viel Kohlenstoff verkörpern. In Bezug auf die CO₂-Emissionen sprechen die Ergebnisse für das Bauen im Bestand im Vergleich zum Neubau.

Herrn Kalies, der durch seine akademische Ausbildung sowie seine mehrjährige berufliche Praxis und Erfahrung im Projektentwicklungsgeschäft der Frage auf den Grund geht, wie viel verkörperter Kohlenstoff eine Bestandsentwicklung enthält, gelingt es an dieser Stelle sehr anschaulich, die z.T. intransparenten und unstrukturierten Erkenntnisse auf dem Forschungsgebiet zusammenzuführen und einen geeigneten Grenzwert abzuleiten.

Prof. Dr. Anne Sanftenberg

Berlin, Dezember 2023