

Nachhaltiges Bauen durch Building Information Modeling: Eine explorative Analyse und ein methodischer Ansatz zur Verbesserung der Ökobilanzierung

Thujietha Thuraisingam^{1,2}, Nijanthan Mohan¹, Rolf Groß¹, Thomas Kleinow²

¹Chairs of Institute of Smart Building Engineering, Fachhochschule Aachen, Bayernallee 9, 52066 Aachen

²PD – Berater der öffentlichen Hand GmbH, Friedrichstraße 149, 10117 Berlin

Abstract: Vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung von Nachhaltigkeit in der Bauwirtschaft konzentriert sich diese Studie auf den Einsatz von Building Information Modeling (BIM) Technologien zur Förderung nachhaltiger Bauprozesse. Die zentralen Forschungsfragen sind die Rolle von BIM bei der Erreichung von Nachhaltigkeitszielen, mögliche Effizienzgewinne bei der ökologischen Bewertung durch BIM sowie die damit verbundenen Chancen und Risiken. Die Studie untersucht, wie BIM die Planungsphase verbessern kann, insbesondere durch die Erleichterung des Vergleichs verschiedener Baumaterialien hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen. Methodisch umfasst die Studie die Erstellung eines Gebäudemodells und die Durchführung einer vorläufigen Umweltbewertung nach den Kriterien des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB). Die anschließende Analyse zielt darauf ab, aufkommende Chancen und potenzielle Herausforderungen zu identifizieren. Die Studie ist noch nicht abgeschlossen, aber erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Standardisierung dieser Methodik für öffentliche Bauprojekte zu einer effizienteren Planung und Bewertung zukünftiger Bauprojekte führen könnte, was einen großen Schritt in Richtung nachhaltiger Baupraktiken bedeuten würde. Diese Forschung trägt zur Entwicklung von Richtlinien für die systematische Integration von Umweltbewertungen in den BIM-Prozess bei.

Keywords: BIM, Nachhaltigkeit, Ökobilanzierung, Standardisierung, Bauprozesse



Erschienen in Tagungsband 35. Forum Bauinformatik 2024, Hamburg, Deutschland, DOI: 10.15480/882.13534
© 2024 Das Copyright für diesen Beitrag liegt bei den Autoren. Verwendung erlaubt unter Creative Commons Lizenz Namensnennung 4.0 International.

1 Einleitung

1.1 Status quo

In einer zunehmend globalisierten Welt steht die Menschheit vor großen Herausforderungen, die von Klimawandel und Umweltzerstörung bis hin zu sozialer Ungleichheit reichen. Diese Probleme

betreffen alle Länder und beeinflussen die Lebensqualität weltweit. Vor diesem Hintergrund hat die internationale Gemeinschaft durch die Vereinten Nationen die Agenda 2030 mit den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs) formuliert [1]. Diese Ziele bieten einen umfassenden Ansatz zur Lösung globaler Probleme durch die Integration sozialer, ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeit.

Die Bauwirtschaft spielt eine wesentliche Rolle bei der Erreichung dieser Ziele, da sie erheblich zum Ressourcenverbrauch und zu den Umweltbelastungen beiträgt. Der Sektor ist für 30-50% der globalen CO₂-Emissionen und 15-25% des Energieverbrauchs verantwortlich [2] [3]. Nachhaltiges Bauen, das die Prinzipien der Ökonomie, Ökologie und Soziokultur in allen Phasen eines Bauprojekts integriert, wird daher immer wichtiger. Dies umfasst die Auswahl umweltfreundlicher Baustoffe, die Reduzierung des Energiebedarfs über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes und die Schaffung gesunder und behaglicher Lebensräume [4].

Die Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment, LCA) ist ein wichtiges Werkzeug hierfür, denn damit kann ein Gebäude über seinen gesamten Lebenszyklus bewertet werden. Durch die Analyse der Umweltwirkungen von der Rohstoffgewinnung über die Nutzung bis hin zum Rückbau und Recycling kann die ökologische Leistung eines Bauwerks optimiert werden [5].

1.2 Rolle von Building Information Modeling

Building Information Modeling (BIM) bezeichnet eine digitale Methode, die zur Förderung nachhaltiger Bauprozesse beiträgt. BIM ermöglicht die frühzeitige Integration von Umweltdaten sowie die Visualisierung des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Dadurch wird eine ressourceneffiziente und umweltbewusste Planung und Durchführung von Bauprojekten unterstützt [6].

Die Methode BIM ermöglicht eine Reduzierung des Energiebedarfs und der CO₂-Emissionen durch eine optimierte Materialauswahl und Energieeffizienz bereits in der Planungsphase. Des Weiteren bietet BIM zahlreiche Vorteile gegenüber traditionellen Bauprozessen. Dazu zählen eine frühzeitige Einflussnahme auf die Projektkosten sowie die Minimierung späterer Änderungskosten. Im Betrieb eines Gebäudes ermöglicht BIM durch technisches Gebäudemonitoring und regelmäßige Soll-Ist-Vergleiche eine kontinuierliche Reduzierung des Energieverbrauchs und Materialeinsatzes. Dies resultiert in einer optimierten Gebäudeperformance, einer Reduzierung der Betriebskosten und gleichzeitig einer Minimierung der Umweltauswirkungen [7] [8].

Die Integration von LCA in BIM-Prozesse ermöglicht eine umfassende Bewertung der ökologischen Auswirkungen eines Bauwerks über dessen gesamten Lebenszyklus hinweg. Die Analyse der Umweltwirkungen erstreckt sich demnach über die gesamte Wertschöpfungskette, beginnend bei der Rohstoffgewinnung über die Nutzung bis hin zum Rückbau und Recycling. Die Verbindung von BIM und LCA ermöglicht die Identifikation von Umweltbelastungen sowie die Entwicklung von Maßnahmen zu deren Reduktion. Diese Vorgehensweise trägt zu nachhaltigeren Baupraktiken bei [9] [5].

Die vorliegende Studie untersucht den Einsatz der BIM-Methodik zur Förderung nachhaltiger Bauprozesse. Im Mittelpunkt stehen die Fragen, welche Rolle BIM bei der Erreichung von Nachhaltigkeitszielen spielt, welche Effizienzgewinne durch den Einsatz von BIM bei der ökologischen Bewertung von Bauprojekten erzielt werden können und welche Chancen und Risiken mit der Integration von BIM in nachhaltige Bauprozesse verbunden sind.

2 Methodik

Zur Beantwortung der im vorangegangenen Kapitel 1.2 "Rolle des Building Information Modeling" genannten Forschungsfragen wurde ein strukturierter Prozess implementiert, der die Erstellung eines BIM-Modells, die Durchführung einer thermischen Gebäudesimulation sowie eine anschließende LCA nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) umfasst. Dies ist im folgenden Flussdiagramm (siehe Abbildung 1) dargestellt:

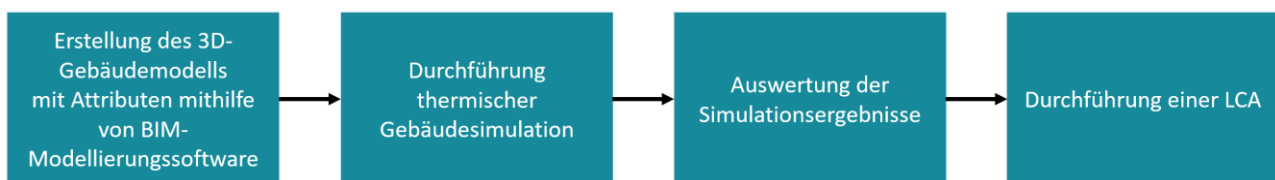


Abbildung 1: Flussdiagramm der Methodik zur Durchführung von LCA mit BIM

Die Durchführung der LCA zur Bewertung der ökologischen Auswirkungen des Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus umfasst:

1. Zieldefinition: Festlegung des Umfangs und der Zielsetzungen der Umweltbewertung.
2. Sachbilanz: Sammlung und Quantifizierung aller relevanten Daten zu Material- und Energieflüssen im Lebenszyklus des Gebäudes.
3. Wirkungsabschätzung: Bewertung der potenziellen Umweltwirkungen anhand der gesammelten Daten.
4. Auswertung der Ergebnisse: Interpretation der Ergebnisse zur Identifikation von Optimierungspotenzialen und Entwicklung von Handlungsempfehlungen [10].

2.1 Fallbeispiel Integration von BIM und LCA

Zur praktischen Veranschaulichung des beschriebenen Prozesses dient das folgende Fallbeispiel. Das dargestellte Ablaufschema (siehe Abbildung 2) zeigt die für jeden Prozessschritt erforderlichen Inputs, die über dem jeweiligen Prozess aufgelistet sind, und die Outputs, die rechts daneben als Bilder dargestellt sind.

Zur Durchführung der LCA wurden zusätzliche Daten in die LCA-Software aufgenommen, wie z.B. die Gebäudegrundfläche und die Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulation mit dem Energiebedarf. Es ist auch möglich, die LCA ohne die Ergebnisse der thermischen Simulation durchzuführen, indem nur die Gebäudedaten, z.B. die verwendeten Materialien, berücksichtigt werden. Für die

Bewertung wurde ein Zeitraum von 50 Jahren festgelegt und die LCA wurde nach den Kriterien der BNB erstellt.

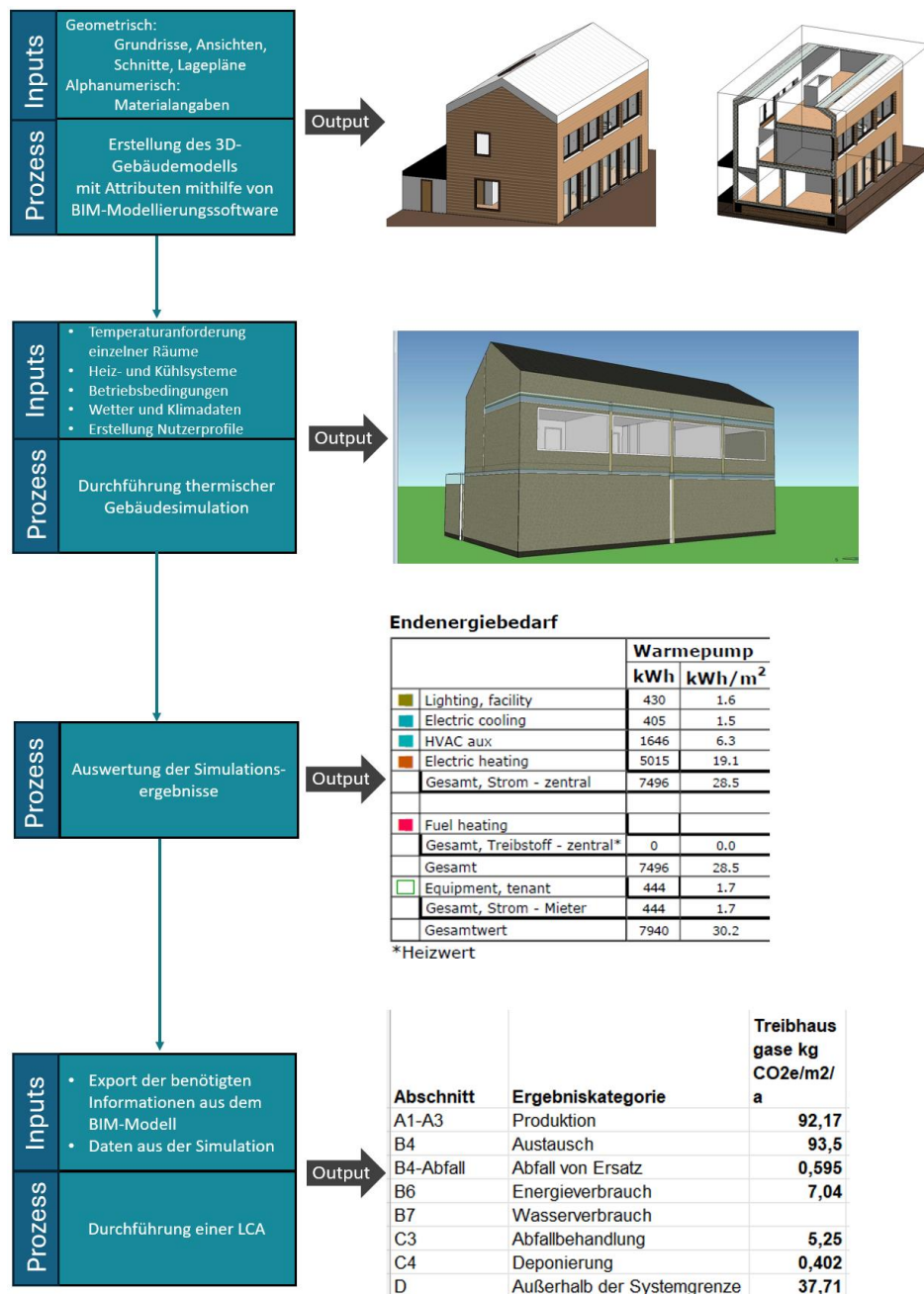


Abbildung 2: Ablaufschema für die Durchführung der LCA

Die Ergebnisse der LCA, die als letzter Output in Abbildung 2 dargestellt sind, umfassen verschiedene Umweltindikatoren, wie Treibhausgasemissionen, Versauerung, Überdüngung und Ressourcenverbrauch. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Methodik liegt, wird auf eine detaillierte Diskussion der einzelnen Ergebnisse verzichtet. Die Analyse zeigt beispielsweise, dass die Treibhausgasemissionen während der Produktions- und Austauschphase des Gebäudes am höchsten sind. Die Ergebnisse werden differenziert nach verschiedenen Kategorien dargestellt, darunter Produktion

(A1-A3), Austausch (B4), Abfall aus Ersatz (B4-Abfall), Energieverbrauch (B6), Wasserverbrauch (B7), Abfallbehandlung (C3), Deponierung (C4) sowie Auswirkungen außerhalb der Systemgrenze (D). Diese detaillierte Aufschlüsselung ermöglicht es, spezifische Bereiche zu identifizieren, in denen Maßnahmen zur Verringerung der Umweltauswirkungen besonders wirksam sein könnten. Diese Kategorien entsprechen den Anforderungen der BNB-Zertifizierung, was für die LCA berücksichtigt werden muss [11].

Das beschriebene methodische Vorgehen bildet die Grundlage für die anschließende Analyse und Diskussion der Erkenntnisse in den folgenden Kapiteln.

3 Nachhaltiges Bauen mit BIM

3.1 Erkenntnisse aus der Studie

Die Integration von BIM und LCA bietet eine Vielfalt an Vorteilen für das nachhaltige Bauen.

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse dieser Studie dargelegt und teilweise mit dem aktuellen Forschungsstand oder praktischen Beispielen verglichen.

- BIM ermöglicht eine **genauere und konsistentere LCA** durch die Zusammenführung von Umwelt- und Baudaten. Im Vergleich dazu werden Umweltdaten bei herkömmlichen Methoden oft manuell erfasst und separat gespeichert, woraus ein erhöhtes Risiko von Ungenauigkeiten und Fehlern resultiert.
- Des Weiteren **reduziert** die automatisierte Datenübertragung zwischen BIM und LCA den **Aufwand und die Fehleranfälligkeit** bei der Dateneingabe. Die implementierte Plausibilitätsprüfung stellt die Konsistenz, Vollständigkeit und Genauigkeit der Daten sicher, was die Einhaltung der Zertifizierungskriterien der BNB erleichtert. Im Vergleich dazu sind manuelle Methoden fehleranfälliger und zeitaufwändiger [4].
- Darüber hinaus können **Materialien und Komponenten leicht geändert** werden, was eine umgehende Neuberechnung der LCA ermöglicht. Bei konventionellen Methoden erfordern Änderungen oft eine komplette Neuberechnung, die zeitaufwändig und ineffizient ist.
- Nicht zuletzt kann die **Energiebedarfsberechnung direkt in das BIM-Modell integriert** und automatisiert durchgeführt werden. Die Möglichkeit, verschiedene Varianten direkt zu vergleichen und ihre Auswirkungen auf den Energiebedarf und die LCA zu analysieren, ist im Zusammenhang mit der BNB-Zertifizierung besonders relevant, da der Energiebedarf eine wesentliche Rolle spielt. Manuelle Methoden erfordern oft zeitintensive Berechnungen auf der Grundlage von Bauplänen und technischen Spezifikationen [9].

3.2 Herausforderungen der Ökobilanzierung mittels BIM

Bei der Umsetzung dieser Methoden sind jedoch auch einige Herausforderungen zu berücksichtigen, denen mit gezielten Lösungsansätzen begegnet werden kann, wie in der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 1) dargestellt.

Tabelle 1: Herausforderungen bei der Integration von BIM und LCA [6]

Herausforderungen	Lösungsansätze
Komplexität und Qualität der Daten	<ul style="list-style-type: none"> - Regelmäßige Aktualisierung und Pflege der Daten im BIM-Modell - Verwendung von standardisierten Datenformaten - Einsatz von Maßnahmen zur Datenqualitätssicherung
Kompatibilität verschiedener Softwarelösungen	<ul style="list-style-type: none"> - Auswahl kompatibler Softwarelösungen - Verwendung von Konvertierungstools für Datenformate - Schulung des Personals in der Bedienung der Software
Hohe Kosten und Investitionen	<ul style="list-style-type: none"> - Budgetplanung für Software, Schulungen und Datenmanagement - Langfristige Kosten-Nutzen-Analyse vor der Implementierung
Akzeptanz und Integration in der Praxis	<ul style="list-style-type: none"> - Schulung und Sensibilisierung der Mitarbeiter für die Vorteile von BIM und LCA - Pilotprojekte zur Demonstration von Effizienz und Nutzen - Einbindung von Stakeholdern in den Implementierungsprozess

3.3 Auswertung - LCA mit BIM für öffentliche Bauprojekte

Durch die Verknüpfung von BIM und LCA können Bauprojekte bereits in der Planungsphase hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen optimiert werden. Dies umfasst die Reduzierung von Treibhausgasemissionen, Ressourcenverbrauch und Abfallentsorgung über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Auswahl geeigneter Materialien für das nachhaltige Bauen. BIM und die darauf aufbauende LCA nehmen hier eine wesentliche Rolle ein, da mit diesen Methoden umweltrelevante Daten, wie Materialzusammensetzung, Herkunft und Recyclingfähigkeit direkt in das Planungsmodell integriert werden können. Dadurch können verschiedene Szenarien und Materialoptionen schnell modelliert und bewertet werden. Insbesondere können diese verschiedenen Materialoptionen miteinander verglichen und sofort analysiert werden, um ihre Einflüsse auf die Umweltauswirkungen des Gebäudes zu bewerten. Diese schnelle und präzise Analysemöglichkeit trägt dazu bei, fundierte Entscheidungen über die Auswahl von Baumaterialien zu treffen, die dazu dienen, die Umweltauswirkungen gering zu halten.

Für öffentliche Gebäude gelten hinsichtlich der Nachhaltigkeit besondere Anforderungen, die durch Zertifizierungsverfahren wie z.B. die BNB-Zertifizierung sichergestellt werden müssen [12]. Eine umfassende LCA ist in diesem Zusammenhang unerlässlich, da sie eine detaillierte Analyse der Umweltauswirkungen eines Gebäudes ermöglicht.

Bei öffentlichen Bauprojekten, insbesondere bei großen Gebäudekomplexen, ist eine herkömmliche LCA mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden, da die manuelle Dateneingabe sowohl zeitaufwändig als auch fehleranfällig ist, wie bereits in Kapitel 3.1 "Erkenntnisse aus der Studie" beschrieben. Diese Herausforderung wird durch die Notwendigkeit verschärft, die Ergebnisse der LCA manuell mit den spezifischen Zertifizierungskriterien, wie sie für die BNB-Zertifizierung gelten, zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Die Integration von BIM in die LCA ermöglicht nicht nur eine schnellere und genauere Modellierung

und Bewertung verschiedener Material- und Planungsoptionen, sondern auch eine direkte Überprüfung der Ergebnisse anhand der spezifischen Anforderungen der BNB-Zertifizierung. Die LCA kann beispielsweise nach den BNB-Kriterien durchgeführt werden, wie es in dieser Fallstudie praktiziert wurde. Dies vereinfacht die Analyse, ob ein Gebäude die erforderlichen Kriterien für eine Nachhaltigkeitszertifizierung erfüllt, erheblich und trägt dazu bei, den gesamten Bewertungsprozess effizienter zu gestalten.

Eine Standardisierung dieser Methodik könnte insbesondere bei öffentlichen Bauprojekten zu einer effizienteren Planung und Bewertung zukünftiger Bauprojekte führen. Trotz der Vorteile birgt die Integration von BIM und LCA Herausforderungen, wie die Komplexität und Qualität der benötigten Daten, die Kompatibilität und Schulungsbedarf für Softwarelösungen. Auch in diesem Zusammenhang kann eine Standardisierung durch einheitliche Verfahren, Richtlinien und Protokolle dazu beitragen, diese Herausforderungen zu bewältigen und die Effizienz und Zuverlässigkeit der Umweltbewertung zu verbessern.

4 Fazit

Das Ziel dieser Studie ist es, die Rolle von BIM bei der Förderung nachhaltiger Bauprozesse zu untersuchen und die LCA mit Hilfe von BIM zu verbessern. Insbesondere wurde untersucht, wie eine Standardisierung dieser Methodik in öffentlichen Bauprojekten zu einer effizienteren Planung und Bewertung zukünftiger Bauprojekte beitragen kann. Die Studie befindet sich noch in der Durchführung, erste Ergebnisse zeigen jedoch bereits, dass die Integration von BIM und LCA insbesondere bei öffentlichen Bauprojekten wesentliche Vorteile für nachhaltiges Bauen bietet, wie in Kapitel 3.3 "Auswertung - LCA mit BIM für öffentliche Bauprojekte" erläutert wurde.

Die methodische Verknüpfung beider Ansätze ermöglicht eine präzisere und effizientere Planung und Bewertung von Bauprojekten hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen. Eine Standardisierung dieser Methodik durch einheitliche Verfahren, Richtlinien und Protokolle könnte zu einer deutlichen Effizienzsteigerung führen. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Integration von BIM und LCA ein erhebliches Potenzial für die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele öffentlicher Bauprojekte bietet. Sie ermöglicht nicht nur eine umfassende Analyse der Umweltauswirkungen eines Gebäudes, sondern auch die Durchführung der LCA direkt nach den Kriterien der BNB-Zertifizierung.

Für die Zukunft könnte eine Vertiefung der Standardisierung und Integration von BIM und LCA in öffentliche Bauprojekte von großem Interesse sein. Dies könnte die Entwicklung neuer Methoden und Richtlinien zur Vereinfachung und Optimierung der Nachhaltigkeitsbewertung umfassen. Dadurch wird nicht nur die Effizienz der Planung und Bewertung öffentlicher Bauprojekte verbessert, sondern auch ein Beitrag zur Förderung nachhaltigerer Baupraktiken auf globaler Ebene geleistet.

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt dem Institut für Smart Building Engineering – dem Team des Projekts DiggiTwin an der FH Aachen, gefördert durch das Ministerium für Kultur und Wissenschaft des

Landes Nordrhein-Westfalen unter dem Förderkennzeichen 005-2302-0018, Deutschland, an der FH Aachen, für ihren kooperativen Geist, der die Tiefe unserer Arbeit bereichert hat.

Literaturverzeichnis

- [1] J. M. u. W. Oberland, „Die Agenda 2030, Globale Zukunftsziele für nachhaltige Entwicklung,“ Global Policy Forum, Bonn /Osnabrück, 2017.
- [2] United Nations Environment Programme (UNEP), "2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector," 2022 United Nations Environment Programme, Nairobi, 2022.
- [3] M. M., T. S.-P., A. Schumann, „Aktueller Überblick bei der Verwendung von nichtmetallischer Bewehrung im Neubau und beim Bauen im Bestand,“ Technische Universität Hamburg, Hamburg, 2024.
- [4] S. T., J. H., R. W., A. M.-B., M. Z., M. Lambertz, „Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen,“ Zukunft Bau, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat, Köln, 2019.
- [5] K. Forth, „BIM-integrierte Ökobilanzierung,“ Technische Universität München, München, 2018.
- [6] G. W., M. W., J. B., R. G., N. Mohan, „Auf dem Weg zu einem ganzheitlichen Lebenszyklusmanagement von Bauwerken für nachhaltiges Bauen: Vorschlag einer Methodik zur digitalen Transformation durch datenbankbasierte Informationsmodelle,“ 34. Forum Bauinformatik, Bochum, 2023.
- [7] M. K., C. K., J. B., A. Borrmann, Building Information Modeling Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021.
- [8] R. G., K. M., F. T., N. Mohan, „Opportunities and Challenges in the Implementation of Building Information Modelling for Prefabrication of Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems in Small and Medium-Sized Contracting Companies in Germany: A Case Study,“ WIT Transactions on The Built Environment, WIT Press, 2021.
- [9] P. v. B., K. R., S. E., R. H., O. J., C. S., M. F., J. Gantner, „Ökobilanz- Integration in den Entwurfsprozess, BIM-basierte entwurfsbegleitende Ökobilanz in frühen Phasen einer Integrale Gebäudeplanung,“ Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH&co.KG, Berlin, 2018.
- [10] DIN EN ISO 14040, Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2021.
- [11] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit , „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude, Bilanzierungsregeln für die Erstellung von Ökobilanzen,“ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit , 2015.
- [12] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, „Leitfaden Nachhaltiges Bauen Büro, Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäude,“ Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2019.
- [13] H. Hülswitt, „Methodik zur Erstellung einer Gebäude-Ökobilanz entlang der BIM-Projektentwicklung,“ in HAWK – Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Fakultät Management, Soziale Arbeit, Bauen, Aachen, 2016.