



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



BBSR-
Online-Publikation
70/2024

Digital Twin Footprint

von

Sascha Bahlau
Rebecca Schumacher
Prof. Dr.-Ing.
Michaela Lambertz
Sebastian Theißen
Jannick Höper
Prof. Dr.-Ing.
Andre Borrmann
Kasimir Forth
Prof. Dr.-Ing.
Petra von Both
Sebastian Ebertshäuser
Rafael Horn



Digital Twin Footprint

Erarbeitung eines ganzheitlichen Meilensteinplans mit Handlungsempfehlungen und notwendigen Forschungsbausteinen zur zielführenden Verknüpfung der Lebenszyklusanalyse (Gebäudeökobilanzierung) und BIM-Planungsprozesse mit einem Fokus auf den frühen Planungsphasen

Das Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 4 „Digitale Transformation des Bauwesens“
Michael Lautwein
michael.lautwein@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

intecplan Essen GmbH & Co. KG
Sascha Bahlau
Rebecca Schumacher

Technische Hochschule Köln (TH Köln)
Forschungsschwerpunkt Green Building
Prof. Dr.-Ing. Michaela Lambertz
Sebastian Theißen
Jannick Höper

Technische Universität München (TUM)
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation
Prof. Dr.-Ing. Andre Borrmann
Kasimir Forth

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Fachgebiet Building Lifecycle Management (BLM)
Prof. Dr.-Ing. Petra von Both

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)
Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung
Sebastian Ebershäuser
Rafael Horn

Stand

Juli 2022

Bildnachweis

Titelbild: Retusche www.pixabay.com

Die Abbildungen im Innenteil stammen von dem Autorenteam unter Einbeziehung von Abbildungen von Roberta Di Bari, Lisa Wastiels und Ruben Decuyper.

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), 2024: Digital Twin Footprint: Erarbeitung eines ganzheitlichen Meilensteinplans mit Handlungsempfehlungen und notwendigen Forschungsbausteinen zur zielführenden Verknüpfung der Lebenszyklusanalyse (Gebäudeökobilanzierung) und BIM-Planungsprozesse mit einem Fokus auf den frühen Planungsphasen. BBSR-Online-Publikation 70/2024, Bonn.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	7
Allgemeines zum Projektkonsortium und der Arbeitsweise	9
1 Arbeitspaket 1: Forschungsstandanalyse und mögliche Anwendungsfälle	10
1.1 Vorstellung und Einteilung der Anwendungsfälle	13
1.2 Analyse und Einteilung von BIM&LCA Workflows	16
1.3 Diskussion und Bewertung der Vor- und Nachteile	20
1.4 Abschließende Bewertung und Vergleichsübersicht	26
1.5 Identifizierte Anpassungs- und Erweiterungsbedarfe sowie vorgeschlagene Lösungsansätze	27
2 Arbeitspaket 2: Interdisziplinärer Workshop	32
2.1 Durchführung des interdisziplinären Workshops	32
2.2 Dokumentation der Gruppendiskussionen des Workshops	34
3 Arbeitspaket 3: Meilensteinplan mit Handlungsempfehlungen	40
4 Fazit	41
Abbildungsverzeichnis	42
Tabellenverzeichnis	43
Literatur	44
Anhang	47

Kurzfassung

Klimaneutralität und Digitalisierung – Megatrends, die derzeit hoch im Kurs stehen und die Bauwirtschaft vor neue Anforderungen stellen. Mit einer Verschärfung der Klimaziele der EU bis 2030 wird eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 55 % im Vergleich zu 1990 angestrebt. Dem Bau- und Gebäudesektor als größtem Treibhausgasemittent kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu (Global Alliance for Buildings and Construction 2020).

Die durchgängige digitale Verknüpfung der unterschiedlichen Prozessketten im Gebäudeplanungsprozess kann die Umweltauswirkungen der Bauwirtschaft entscheidend reduzieren und zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Transformation der gebauten Umwelt führen. Im Forschungsvorhaben Digital Twin Footprint wurde ein Meilensteinplan mit Handlungsempfehlungen und Forschungsbausteinen erarbeitet, um die Lebenszyklusanalyse (Gebäudeökobilanzierung) und den BIM-Planungsprozess (BIM – Building Information Modeling) bereits in frühen Planungsphasen von Gebäuden zu verknüpfen.

Während dem Bau- und Gebäudesektor in der Theorie ein hohes Optimierungspotenzial in puncto Klima- und Umweltauswirkungen zugesprochen wird, fehlt es in der Praxis noch an ganzheitlichen Maßnahmen und Vorgaben. Die Gründe dafür sind vielfältig. Unter anderem werden häufig nur rein energetische Maßnahmen fokussiert, da bisherige politische Maßnahmen im Bauwesen vorwiegend die Steigerung der Energieeffizienz und den Einsatz erneuerbarer Energien adressieren. Durch die Fokussierung auf die Energieeinsparung und die entstehenden Emissionen in der Betriebsphase werden die Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes nicht erfasst, obwohl hier ein großes Optimierungspotenzial liegt. Die materialgebundenen CO₂-Emissionen, oft auch als graue CO₂-Emissionen (engl. embodied carbon) bezeichnet, können in der Gesamtbetrachtung, speziell bei hohen Energieeffizienzstandards, einen Anteil von bis zu 80 % einnehmen (RICS 2017).

Um effektiv bzw. konsequent Klimaneutralität transparent darlegen und bewerten zu können, ist es daher erforderlich, eine vollständige Berechnung von CO₂-Emissionen und weiteren Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus durchzuführen. Gebäude werden beispielsweise nach der Definition der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) als klimaneutral definiert, „wenn die Differenz der ausgestoßenen Emissionen und der Emissionen, die durch Produktion und Bereitstellung nach extern von CO₂-freier Energie eingespart werden, auf ein Jahr hin betrachtet Null oder kleiner als Null ist.“ (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. 2022). Neuartige und innovative Lösungsansätze mit einer offenen Datenaustauschstrategie (Open-BIM) bieten dabei einen großen Mehrwert, um die Bewertung hinsichtlich der CO₂-Bilanz zu vereinfachen und praxistauglich anwendbar zu machen. Eine der wohl wichtigsten Methoden im Bereich des nachhaltigen Bauens bzw. zur Erreichung von Klimaneutralität stellt die Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment – LCA) dar. Diese Methode erlaubt, über den gesamten Lebenszyklus CO₂- sowie weitere umwelt- und ressourcenbedingte Optimierungen zu erzielen, speziell wenn die Ökobilanz bereits in den frühen Planungsphasen eingesetzt wird.

In der Baupraxis wird diese Methode bisher jedoch nur selten bzw. lediglich bei Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen für Gebäude eingesetzt. Hierbei erfolgt die ökologische Bilanzierung meist zu spät, erst nach Verabschiedung der Planung, wodurch ökologische Optimierungspotenziale in der Regel nicht mehr ausgeschöpft werden können. Zudem wird die Technische Gebäudeausrüstung (TGA) meist nur pauschalisiert berücksichtigt und dabei unterschätzt (Lambertz et al. 2019). Hauptgrund dafür ist die Komplexität der Anwendung, da die notwendige Informations- und Datenbeschaffung von den vielen Projektbeteiligten und Datenbanken unstrukturiert ist und vorwiegend auf 2D-Planungsunterlagen basiert (Gantner/Both et al. 2018). So werden Mehraufwände für ganzheitliche, ökologische Gebäudeplanungs- und Sanierungskonzepte nicht zuletzt we-

gen vermeintlich zu hoher Komplexität und Kosten gescheut. Dabei bietet die BIM-Methode im Allgemeinen sowie in Hinblick auf offene Datenaustauschformate wie z. B. die Industry Foundation Classes (IFC) ein großes Potenzial, Gebäudeökobilanzen wesentlich effizienter und umfassender durchzuführen (Theißen/Höper/Wimmer/Zibell et al. 2020). Durch die einheitliche Strukturierung der für die Berechnungen erforderlichen Informationen und deren leichtere Zugänglichkeit innerhalb der BIM-Modelle ist ein hohes Automatisierungspotenzial für die Durchführung einer Gebäudeökobilanz gegeben. Grundlage hierfür ist eine einfache und standardisierte Verknüpfung der Ökobilanzdaten mit den BIM-Objekten im Planungsprozess (Höper 2020).

In diesem Bereich gibt es zwar bereits erste Forschungen und Entwicklungen, jedoch wurden die Erkenntnisse bislang nicht zusammengeführt bzw. in keinen abgestimmten Kontext gesetzt. Viele Ansätze sind nicht direkt praxistauglich und funktionieren nur in ihrer eigenen Software- und Forschungsprojektumgebung. Erste LCA-Softwareprodukte auf dem Markt ermöglichen zwar eine BIM-basierte Berechnung der Gebäudeökobilanz, allerdings funktionieren diese vorwiegend nur mit herstellerspezifischen Datenformaten (Closed-BIM-Ansatz).

Dabei sollte angestrebt werden, BIM-integrierte Gebäudeökobilanzen im open BIM Ansatz mit offenen und standardisierten Datenaustauschformaten umzusetzen. Hiermit kann die Herstellerneutralität und eine Vielfalt der eingesetzten Modellierungs- und Planungssoftwaresysteme je nach Fachdisziplin gewahrt werden (Theißen/Höper/Drzymalla et al. 2020). Daher besteht eine hohe Notwendigkeit, bisherige Lösungsansätze aus Forschung aber auch der aktuell praktizierten Praxis im BIM&LCA-Bereich zusammenzutragen, diese in Hinblick auf ihre Anwendungsmöglichkeit einzuordnen sowie Vor- und Nachteile zu evaluieren und zu diskutieren.

Übergeordnetes Ziel ist es, eine hohe Interoperabilität zwischen BIM-Planungssoftwarelösungen und den (ökologischen) spezifischen Ökobilanzdaten in den unterschiedlichen Planungsphasen herzustellen. Dadurch können frühzeitig teilautomatisierte Berechnung der Ökobilanz bzw. Optimierungen durchgeführt und gleichzeitig aufwändige und kostenintensive Änderungen in den späteren Planungsphasen vermieden werden.

Somit gilt es im Rahmen des Digital Twin Footprint Projekts, bisherige Grundlagen, Konzepte und Lösungswege im Bereich BIM und Ökobilanzierung von Gebäuden zu analysieren und zu vergleichen, um ein gemeinsames Verständnis und eine abgestimmte, harmonisierte Lösung für eine zukünftige, breite Anwendung der BIM-basierten Gebäudeökobilanz zu schaffen. Dieser Aspekt ist auch relevant, um Doppelforschung zu vermeiden und zusätzlich einen Einklang aus Forschung, Praxis sowie Normung zu schaffen. In einem Expertenworkshop (Arbeitspaket 2) wurden im Diskurs mit den Expertinnen und Experten die notwendigen Anpassungs- und Forschungsbedarfe für unterschiedliche Anwendungsfälle konkretisiert und priorisiert. Hierbei wurde die zusammengetragene Erkenntnis mit verschiedenen relevanten Sichtweisen und Perspektiven, z. B. öffentliche Institutionen, BIM Softwarevertreter, Ökobilanzexperten, etc. diskutiert und abgestimmt, um eine Meilensteinplanung und Handlungsempfehlungen (AP3) vorzubereiten. Zudem wurden die Forschungspotenziale und Themen für die zukünftige und zielführende Antrags- und Auftragsforschung identifiziert. Zur weiteren Aufschlüsselung der Handlungsempfehlungen bzw. Anpassungsbedarfe wurden in Arbeitspaket 3 Maßnahmen formuliert, die für eine praxisgeeignete Anwendung der Gebäudeökobilanz mit BIM notwendig sind. Es folgte zudem eine grobe Identifizierung der Handlungsebenen bzw. Akteurinnen und Akteure, bei denen vorgeschlagen wird, die Maßnahmen umzusetzen. Mit einer Einordnung in einen Zeithorizont (kurz-, mittel-, langfristig) und den Aufwand soll die Relevanz und die Umsetzbarkeit der Maßnahme herausgestellt werden. Dadurch wird es möglich sein, eine zukünftige Forschungsstrategie des Bundes und Anwendung in der Praxis zu unterstützen, die übergeordnet den iterativen und planungsbegleitenden Einsatz der Gebäudeökobilanz fördert, um Gebäude lebenszyklusübergreifend im Sinne von Klima- und Umweltschutz optimieren zu können.

Abstract

Climate neutrality and digitalisation – megatrends that are currently very popular and present the construction industry with new challenges. With a tightening of the EU's climate targets by 2030, the aim is to reduce greenhouse gas emissions by 55 % compared to 1990. The construction and building sector, being the largest greenhouse gas emitter, owns a key role here (Global Alliance for Buildings and Construction 2020).

The continuous digital linking of the different process chains in the building planning process is able to decisively reduce environmental impact of the construction industry and lead to a sustainable and resource-saving transformation of the built environment. The Digital Twin Footprint research project is developing a milestone plan with recommendations for action and research modules to link life cycle analysis (building life cycle assessment) and the BIM planning process (BIM – Building Information Modelling) in the early planning phases of buildings.

While in theory the construction and building sector is said to have a high potential for optimisation in terms of climate and environmental impact, in practice there is still a lack of holistic measures and specifications. There are many reasons for this. Among other things, the focus often is only on purely energy-related measures, as previous political measures in the building sector have mainly addressed the increase of energy efficiency and the use of renewable energies. By focussing on energy savings and the resulting emissions in the operating phase, the environmental impacts over the entire life cycle of a building are not recorded, although there is great potential for optimisation here. Material-bound CO₂ emissions, often referred to as embodied carbon, can account for up to 80 % of the total, especially in the case of high energy efficiency standards (RICS 2017).

In order to be able to present and evaluate climate neutrality transparently and consistently, it is therefore necessary to carry out a complete calculation of CO₂ emissions and other environmental impacts over the entire life cycle. According to the definition of the German Sustainable Building Council (DGNB), buildings are defined as climate-neutral "if the difference between the emissions emitted and the emissions saved through production and provision of external CO₂-free energy is zero or less than zero over a period of one year" (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. 2022). Novel and innovative approaches with an open data exchange strategy (Open-BIM) offer a great added value to simplify the assessment with regard to the CO₂ balance and make it applicable in practice. One of the most important methods in the field of sustainable construction or to achieve climate neutrality is the Life Cycle Assessment (LCA). This method makes it possible to achieve CO₂ and other environmental and resource-related optimisations over the entire life cycle, especially if the LCA is already used in the early planning phases.

In building practice, however, this method has so far been used only rarely or only in sustainability certification systems for buildings. In these cases, the ecological balance is usually carried out too late, after the planning has been approved, which means that ecological optimisation potential can usually no longer be used. In addition, the technical building equipment is usually only taken into account in a generalised way and is underestimated (Lambertz et al. 2019). The main reason for this is the complexity of the application, as the necessary information and data procurement from the many project participants and databases is unstructured and mainly based on 2D planning documents (Gantner/Both et al. 2018). Thus, additional efforts for holistic, ecological building planning and renovation concepts are avoided, not least because of the supposedly too high complexity and costs. However, the BIM method in general and with regard to open data exchange formats, such as the Industry Foundation Classes (IFC), offers great potential for carrying out life cycle assessments of buildings much more efficiently and comprehensively (Theißen/Höper/Wimmer/Zibell et al. 2020). Due to the uniform structuring of the information required for the calculations and its easier accessibility within the BIM

models, there is a high automation potential for carrying out a life cycle assessment of a building. The basis for this is a simple and standardised linking of the LCA data with BIM objects in the planning process (Höper 2020).

Although there is already initial research and development in this area, the findings have not yet been brought together or placed in a coordinated context. Many approaches are not directly practical and only work in their own software and research project environment. Although the first LCA software products on the market enable a BIM-based calculation of the building life cycle assessment, they mainly only work with manufacturer-specific data formats (closed BIM approach).

The aim should be to implement BIM-integrated life cycle assessments in the open BIM approach with open and standardised data exchange formats. In this way, vendor neutrality and a diversity of the modelling and planning software systems used can be maintained depending on the discipline (Theißen/Höper/Drzymalla et al. 2020). Therefore, there is a great need to compile previous solution approaches from research but also from current practice in the BIM&LCA field, to classify them with regard to their applicability and to evaluate and discuss advantages and disadvantages.

The overall objective is to establish a high level of interoperability between BIM planning software solutions and the (ecological) specific LCA data in the different planning phases. In this way, partially automated LCA calculations and optimisations can be carried out at an early stage and, at the same time, time-consuming and cost-intensive changes can be avoided in the later planning phases.

Thus, within the framework of the Digital Twin Footprint project, it is important to analyse and compare previous principles, concepts and solutions in the area of BIM and LCA of buildings in order to create a common understanding and a coordinated, harmonised solution for a future, broad application of BIM-based LCA of buildings. This aspect is also relevant to avoid duplication of research and to create a harmony of research, practice and standardisation. In an expert workshop (AP2), the necessary adaptation and research requirements for different applications were concretised and prioritised in discourse with the experts. The findings were discussed and coordinated with various relevant viewpoints and perspectives, e.g. public institutions, BIM software representatives, LCA experts, etc., in order to prepare milestone planning and recommendations for action (AP3). In addition, the research potentials and topics for future and target-oriented proposal and contract research were identified. To further break down the recommendations for action or adaptation needs, measures were formulated in AP3 that are necessary for a practical application of LCA with BIM. This was followed by identification of the levels of action or actors for whom it is proposed to implement the measures. With a classification in a timeline (short, medium, long term) and the effort, the relevance and feasibility of the measure should be highlighted. This will make it possible to support a future federal research strategy and practical application that promotes the iterative and planning-accompanying use of building life cycle assessment in order to be able to optimise buildings along the life cycle in terms of climate and environmental protection.

Allgemeines zum Projektkonsortium und der Arbeitsweise

Das Projektkonsortium besteht aus der intecplan Essen (ehemals LIST Digital) als Erstantragssteller sowie der Technischen Hochschule Köln, der Technischen Universität München, dem Fraunhofer Institut für Bauphysik und dem Karlsruher Institut für Technologie. Über die Promotionen der Doktoranden Sascha Bahlau (intecplan Essen) sowie Sebastian Theißen und Jannick Höper (TH Köln) besteht zudem eine sehr intensive Kooperation mit dem BIM-Institut der Bergischen Universität Wuppertal, die sich dadurch gleichzeitig als assoziierter Partner in das Projekt miteinbringen. Des Weiteren besteht über die Normungs- und Standardisierungsaktivitäten der VDI/bS 2552 Blatt 11.4 (BIM; Informationsaustauschanforderungen, Ökobilanzierung) und der buildingSMART Fachgruppe BIM+Nachhaltigkeit ein enger fachlicher Austausch sowie eine Netzwerkstruktur zwischen den Partnern im Konsortium.

Die intecplan Essen verantwortet das Arbeitspaket 4 „Berichtswesen“ und übernimmt damit die durchgehende Berichterstattung sowie die operative Projektleitung. Zusätzlich bringt die intecplan Essen inhaltliche Expertise zur Anwendung von Nachhaltigkeitsbewertung, wie z. B. der Gebäudeökobilanz in der BIM-Praxis beratend mit ein.

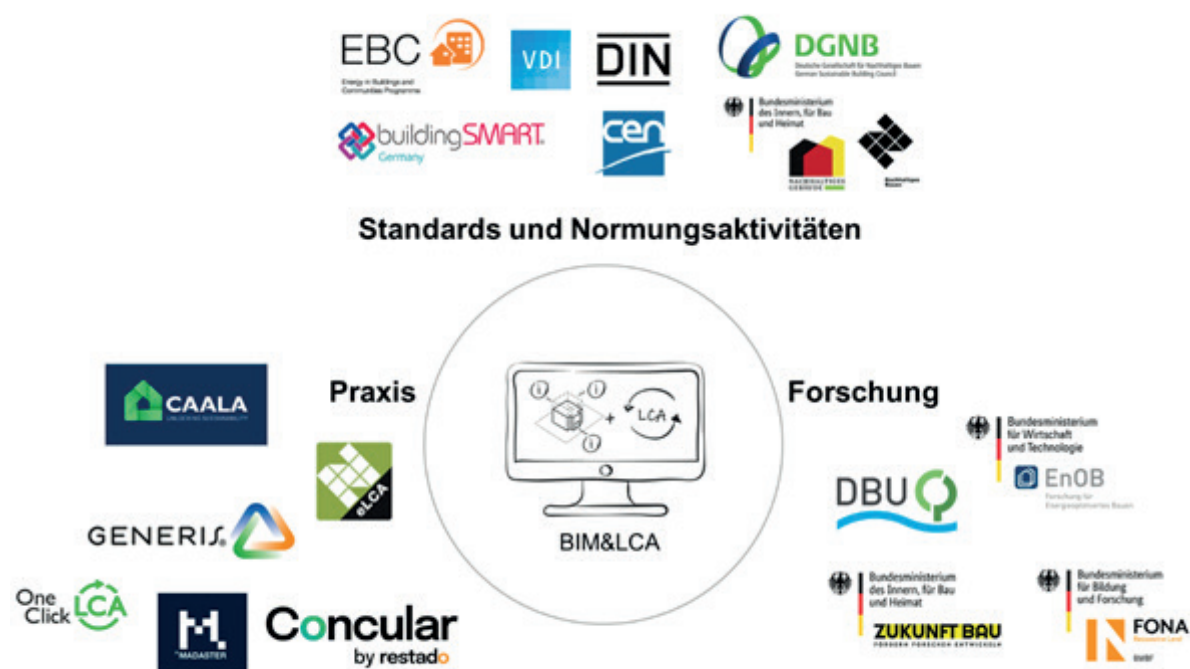
Die Forschungsinstitutionen im Projekt agieren in einer gemeinsam beratenden Funktion aus Sicht der Forschung bzw. Normung im BIM&LCA Bereich. Die TH Köln, vertreten durch Sebastian Theißen und Jannick Höper, übernehmen die Verantwortlichkeit für das Arbeitspaket 1 „Forschungsstandanalyse und mögliche Anwendungsfälle“ und AP3 „Meilensteinplan mit Handlungsempfehlungen“. Die TU München, mit Kasimir Forth, übernimmt die Verantwortung für AP2, den Interdisziplinären Expertenworkshop. Als wesentliches Element der Arbeits- und Vorgehensweise im Projekt werden Webmeetings/online Seminare zur gemeinschaftlichen Diskussion und Abstimmung eingesetzt. Dadurch können Ergebnisse von einem oder zwei Partnern des Konsortiums in Einzelarbeiten vorbereitet und anschließend gemeinsam reflektiert werden. Diese Arbeitsweise ermöglicht es, auf effiziente Art und Weise viele relevante Akteure bzw. Expertisen im Bereich der BIM&LCA einzubinden. Da zudem durch die Partner im Projekt sämtliche Forschungsprojekte, die im Rahmen von AP1 zur Forschungsstandanalyse untersucht werden sollen, bearbeitet worden sind, kann darüber hinaus sichergestellt werden, dass Ergebnisse direkt aus „erster Hand“ der Forschungsnehmer eingebracht werden.

1 Arbeitspaket 1: Forschungsstandanalyse und mögliche Anwendungsfälle

Arbeitspaket 1 (AP1) umfasst die Analyse der Anwendungsfälle zur Gebäudeökobilanz sowie Integrationsmöglichkeiten von Ökobilanzdatensätzen mit der BIM-Methode. Dabei handelt es sich primär um die materialgebunden/graue Umweltwirkungen. Umweltwirkungen aus der Betriebsphase werden nicht betrachtet, da diese als ein gesonderter Anwendungsfall im Rahmen der Energiebilanzierung, wie z. B. auch in der VDI/bS 2552 Blatt 11.4, behandelt werden.

Für die in AP1 erfolgte Forschungsstandanalyse wurden Ergebnisse und Lösungen aus Forschung und Praxis verglichen. Zur Harmonisierung im nationalen und internationalen Kontext der BIM&LCA-Thematik wurde über die Projektarbeitenden des Konsortiums sichergestellt, dass ein fachlicher Austausch zu Normungsaktivitäten und relevanten Fachreferaten des Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) besteht.

Abbildung 1
Übersicht der involvierten Lösungen aus Forschung und Praxis



Quelle: eigene Darstellung

Nachfolgend werden alle einzelnen analysierten Arbeiten und Aktivitäten nach Rubrik sortiert aufgelistet.

Forschungsprojekte

- Lebenszyklusbetrachtung als Entscheidungsgrundlage in frühen Planungsphasen – Design2Eco (ZukunftBau Ressortforschung SWD – 10.08.18.7-16.60 – 2017-2019)
- Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen (ZukunftBau Ressortforschung – SWD 10.08.17.7-18.29 – 2019)
- Detaillierte Entwicklung von BIM-basierten Prozessen des Betreibens von Bauwerken zur Integration in eine lebenszyklusübergreifende Prozesskette (ZukunftBau Ressortforschung – SWD 10.08.18.7-17.09 – 2017-2019)
- Entwicklung einer standardisierten BIM-Modellierungsrichtlinie (ZukunftBau – Ressortforschung – SWD 10.08.18.7-18.28 – 2019-2021)
- The BIM2LCA4IP BIM-basierte Integrale Planung – (BMW Förderkennzeichen 03ET1466A-D – 2017- 2019)
- ÖKOBAUDAT – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung, (BBSR, Zukunft Bauen, Forschung für die Praxis | Band 09, 2019)
- earlyBIM – Bewertung von Gebäudeentwurfsvarianten in frühen Entwurfsphasen auf Basis adaptiver Detaillierungsstrategien (Deutsche Forschungsgemeinschaft – DFG, Projektnummer 271444440 TU München, TU Berlin, RUB (Ruhr-Universität Bochum, Universität Duisburg-Essen)
- KoVi – Intuitive Kommunikation und Visualisierung von Gebäudeökobilanzen und Risikostoffen zur Entscheidungsunterstützung im digitalen Planungsprozess (Deutsche Bundestiftung Umwelt – DBU, Aktenzeichen 36041/01, TH Köln, CAALA, LEGEP)
- Zukunft Bau: ILCO - Methoden zur systematischen Variantenexploration in frühen Phasen der Planung unter Berücksichtigung von Lebenszyklusaspekten“ (10.08.18.7-14.35)
- Zukunft Bau: ONIB - ONIB - Optimierung der Nachhaltigkeit von Bauwerken durch die Integration von Nachhaltigkeitsanforderungen in die digitale Methode Building Information Modeling (10.08.18.7-17.29)
- 6D-Terminal – Missing Link für die Planung CO2-neutraler Gebäude (Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie Österreich, Stadt der Zukunft, IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH)
- IFC2eLCA – Integration einer IFC-Schnittstelle zur Berechnung der Gebäudeökobilanz in eLCA (SWD-F 10.08.17.7-19.09 – BBSR)

Wissenschaftliche Arbeiten und Publikationen

- Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies (Theißen/Höper/Drzymalla et al. 2020)
- Suggestions for the Technical Integration of Life Cycle Assessment Data Sets of ÖKOBAUDAT into Building Information Modeling and Industry Foundation Classes (Theißen/Höper/Wimmer/Meins-Becker/Lambertz 2020)

- Ökobilanz - Integration in den Entwurfsprozess (Gantner/Both et al. 2018)
- Ökobau.dat 3.0–Quo Vadis? (Gantner/Lenz et al. 2018)
- Using Open BIM and IFC to Enable a Comprehensive Consideration of Building Services within a Whole-Building LCA (Theißen/Höper/Drzymalla et al. 2020)
- BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review (Potrč Obrecht et al. 2020)

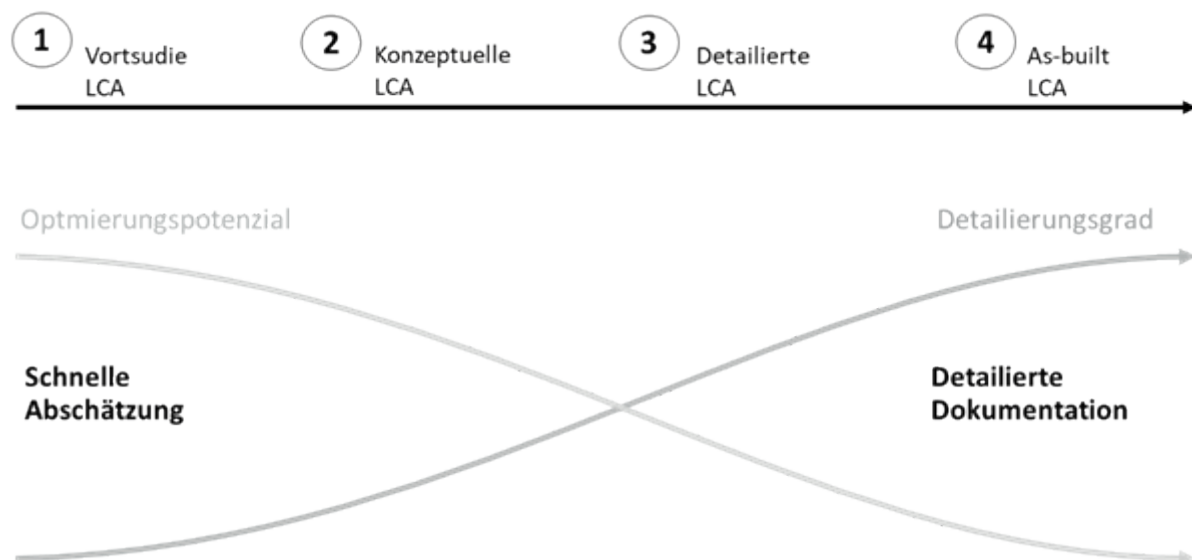
Fachlicher Austausch zu folgenden Normungsaktivitäten

- Fachreferate des BBSR (II4, II5, II6)
- VDI/bS 2552, Blatt 11.4 „Informationsaustauschanforderungen; Ökobilanzierung“
- buildingSMART Deutschland, Fachgruppe BIM+Nachhaltigkeit
- DIN Normungsroadmap BIM, Arbeitsgruppe Nachhaltigkeit
- IEA EBC Annex 72 - Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings, Subtask 2: Building assessment workflows and tools, Activity 2.2. Identification of requirements for the implementation of life cycle related aspects in different stages of the design and planning process. Proposal for implementation strategies in view of internationally compatible solutions of planning tools and formats (e.g. BIM) to integrate life cycle information (e.g. following existing structures of a cost calculation approach).

1.1 Vorstellung und Einteilung der Anwendungsfälle

Die Ökobilanzierung von Gebäuden stellt eine wichtige Bewertungsmethode für die ökologische Qualität eines Gebäudes und deren Einfluss auf Klima- und Umwelt dar. Für eine erfolgreiche Anwendung als planungsbegleitendes Werkzeug, bedarf die Gebäudeökobilanz einer Vielzahl an Informationsübergaben zwischen Prozessbeteiligten. Hierfür ist eine klare Definition der jeweils notwendigen Übergabezeitpunkte von Datenmengen mit entsprechenden Detaillierungsgraden über den gesamten Bauwerkslebenszyklus notwendig. Die Gebäudeökobilanz kann entlang des Lebenszyklus in verschiedenen Planungsphasen angewendet werden. In diesem Forschungsvorhaben soll analog zu den Normungsaktivitäten der VDI/bS 2552 Blatt 11.4 sowie den Standardisierungsaktivitäten der buildingSMART Fachgruppe BIM und Nachhaltigkeit die folgende Unterteilung für die unterschiedlichen Anwendungsfälle vorgenommen werden. Hierbei wird zwischen einer Vorstudie, einer Konzeptuellen Gebäudeökobilanz, einer detaillierten Gebäudeökobilanz und einer As-built (gebauter Endzustand) Gebäudeökobilanz unterschieden.

Abbildung 2
Unterteilung der Anwendungsfälle für die Ökobilanz von Gebäuden



Quelle: eigene Darstellung

Vorstudie: Definition von Anforderungen: Zu Beginn können bei der Bedarfs- bzw. Grundlagenplanung mit Hilfe der Ökobilanz Zieldefinitionen zum Klima- Umweltschutz des Gebäudes untersucht und festgelegt werden. Beispielsweise bezüglich der anfänglichen Entscheidungsunterstützung beim:

Abschätzen der groben Wahl des Energiestandards, wie z. B. KfW oder Passivhaus

- Aufklären über Einsparungen bei materialgebundenen Emissionen im Falle eines Bestandobjekts
- Aufklärung/Festlegung des Bilanzierungsrahmens, wie z. B. reine Betrachtung der Betriebsphase oder auch der Konstruktion bei der Zielsetzung „Klimaneutrales Gebäude“)

Konzeptuelle Gebäudeökobilanz: In der Vor- und Entwurfsplanung lässt sich die Ökobilanz beispielsweise für Varianten- bzw. Konzeptvergleiche von Geometrie, Bauarten, TGA-Konzepten oder auch einzelner Vergleiche von Bauteilen und Materialien nutzen.

Detaillierte Gebäudeökobilanz: Der Stand der Ausführungsplanung bietet mit konkreten Informationen über Materialien, etc. eine Basis für eine detaillierte Gebäudeökobilanz. Während strukturelle Entscheidung bereits getroffen worden sind, bietet die Anwendung der Ökobilanz hier i.d.R. nur noch Optimierungspotenzial bei auf der Detail- und Bauteilebene, wie beispielsweise bei Vergleichen von Materialien und Herstellerprodukten. Soweit möglich sollten hierbei produktspezifische Ökobilanzdaten (EPDs) genutzt werden.

As-built Gebäudeökobilanz: Mit der Objektüberwachung und Dokumentation liegt eine as-built Qualität vor, die für eine Gebäudeökobilanz im Rahmen einer Nachhaltigkeitszertifizierung, z. B. gemäß DGNB/BNB/QNG, verwendet werden kann.

Um die untersuchten Forschungsarbeiten und Lösungsansätze aus der Praxis hinsichtlich der Anwendungsfälle zuzuordnen, wurde eine Übersicht erstellt, die ebenfalls die HOAI Leistungsphasen beinhaltet. Zusätzlich wurde eine Einteilung entlang des Level of Development (LOD) bzw. Level of Information Need (LOIN) vorgeschlagen. Die Begriffe LOD „Level of Detail“ oder LOIN „Level of Information Need“ haben sich etabliert, um die im Fortschritt eines Bauprojekts entstehenden zunehmend detaillierteren Informationen, sowohl was die geometrischen Repräsentationen betrifft, also auch die zusätzliche Sachinformation in Form von Merkmalen und Beziehungen, zu beschreiben. Im deutschen Sprachgebrauch werden auch die Synonyme Modellausarbeitungs-, Modellreife-, Modellfertigstellungsgrad gebraucht. So kann die Informationstiefe der Datenübergabepunkte an Meilensteinen entsprechend der LOD-Definition vereinbart und dem Phasenverständnis der deutschen HOAI zugeordnet werden (siehe VDI 2552 Blatt 1)(Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Fachbereich Bautechnik).

Abbildung 3
Vergleichsübersicht zur Einordnung der untersuchten Arbeiten hinsichtlich der definierten Anwendungsfälle

Kategorie	Tool	Prozess	Phasen	Bedarfs-planung	Grundlagen	Vorplanung	Entwurfs-planung	Genehmigungs-planung	Ausführungs-planung	Vorbereitung/ Mitw. Vergabe	Objektü. und Dokumentation
Informationsanforderungen BIM Modelle			LPH	0	1	2	3	4	5	6-7	8-9
			LOD	100	100	200	300	350	400	400	500
			Anwendungsfälle	Definition von Anforderungen		konzeptuelle Gebäudeökobilanz			detaillierte Gebäude-ökobilanz		As-built Gebäude-ökobilanz
			Systemebenen	Gebäude- und Bausysteme		Funktions- Elementsysteme			Bauteilschichten/Bauprodukte und Materialien		
											
			LCA-Daten	LCA-Benchmarks in kgXX/BGF/a oder XX/BRI/a		LCA-Benchmarks in DIN 276 Kostengruppenstruktur (3. Ebene)			Generische und produktspezifische LCA Datensätze		
			Architekturmodell			Bauteile, Geometrie, Flächen, Mengen, Massen, Volumina			Bauteilschichten, Materialkennwerte, Geometrie, Flächen, Mengen, Massen, Volumina		
			Tragwerksplanungs- moell	Gebäudeflächen (BGF/NGF) oder Bruttorauminhalt (BRI), Gebäudenutzungsart, Bauweise (massiv, etc.) und Energiestandard/konzept		Bauteile, Geometrie, Flächen, Mengen, Massen, Volumina			Bauteilschichten, Materialkennwerte, Geometrie, Mengen, Massen, Volumina		
			TGA-Modell			Geometrie, Mengen, Massen, Energiebedarfe (elekt./therm.) der TGA für Verteilung, Speicherung, Generierung, Übergabe			Materialkennwerte, Geometrie, Mengen, Massen, Energiebedarf (elekt./therm.)		
			Zuordnung BIM&LCA Workflows	i.d.R. liegt zu diesem Zeitpunkt kein BIM Modell vor. Ggf. können GIS Modelle verwendet werden.		1, 2, 3, 4, (5)			1, 2, 3, (4), 5		
Forschungsprojekte	x	x	Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen						x		x
			BIM2LCA	x		x			x		x
			6D-Terminal			x			x		x
			earlyBIM	x		x					
			KoVi	x		x			x		x
			IFC2eLCA						x		x
LCA-Software	x	x	eLCA			x			x		x
			CAALA	x		x			x		x
			Concular						x		x
			GENERIS						x		x
			greenBIM			x					
			Madaster					x		x	
		OneClick LCA			x			x		x	

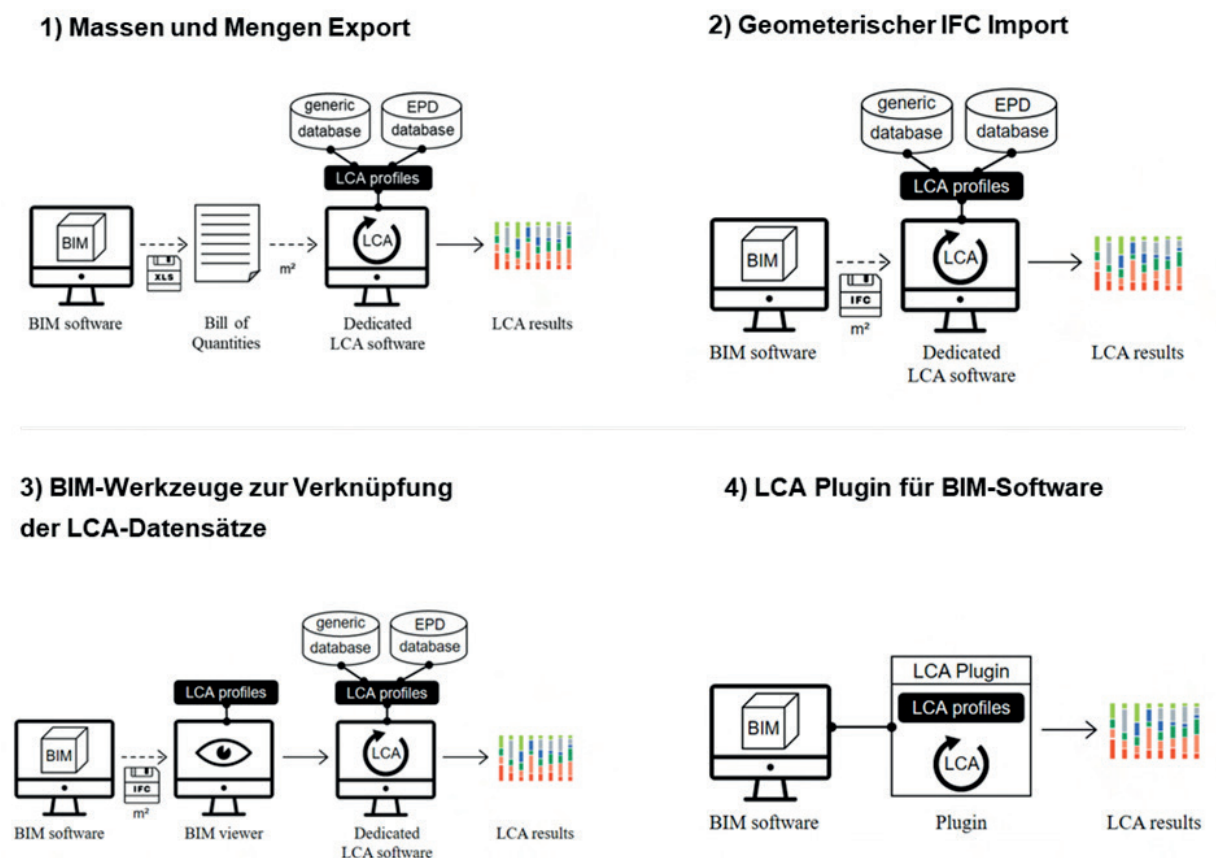
Quelle: eigene Darstellung mit Abbildungen von Di Bari et al. (Di Bari et al. 2019)

1.2 Analyse und Einteilung von BIM&LCA Workflows

Bei der Vergleichsanalyse wurde festgestellt, dass zwischen der technischen (Tool) und organisatorischen (Prozess) Analyse zu unterscheiden ist. Während viele wissenschaftliche Arbeiten häufig die Entwicklung eines Softwaretools bzw. Prototypen fokussiert haben (siehe Abbildung 3), widmeten sich die untersuchten Forschungsprojekte eher der Definition von Informationsaustauschanforderungen, auf Basis derer dann auch Normungsaktivitäten angestoßen wurden. Innerhalb der prozessorientierten Arbeiten im Bereich BIM&LCA wurden konkret Anforderungen auf Prozess- und Informationsebene untersucht um Informationslieferungszeitpunkte (Information Delivery Manuals - IDMs) inklusive definierter Informationsübergabezeitpunkte (Exchange Requirements -ERs) zwischen den Prozessbeteiligten mit den jeweils notwendigen Daten und Detaillierungsgraden aufzuzeigen.

Die Analyse der technischen Integrations- und Verknüpfungsansätze hat gezeigt, dass eine große Vielfalt an Lösungsansätzen existiert. Eine Einteilung der Ansätze ist daher sinnvoll, um einen besseren Überblick zu gewährleisten. In dem Klassifizierungsschema von Wastiels und Decuypere (siehe Abbildung 4) wird zwischen fünf Workflows für die Integration von Ökobilanzen in BIM differenziert (Wastiels/Decuypere 2019). Je nach verwendeter Software und dem technischen Integrations- und Verknüpfungsansatz ergeben sich noch weitere, jedoch minimale Unterschiede, die allerdings im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet werden. Es sei zudem angemerkt, dass diese Workflows den Status Quo abbilden und nur ansatzweise auf zukünftige, weiter optimierte Workflows eingehen.

Abbildung 4
Strategien zur LCA-Integration in BIM, nach L. Wastiels und R. Decuypere



Quelle: Wastiels/Decuypere 2019

Workflow 1: Massen und Mengen Export

Bei dem ersten Workflow werden die benötigten Informationen für eine Gebäudeökobilanz aus einem BIM-Modell z. B. mittels Microsoft Excel extrahiert und anschließend an eine entsprechende Software übergeben bzw. importiert. Hier endet der BIM-Prozess und die restliche Bearbeitung erfolgt in der Gebäudeökobilanz-Software (z. B. eLCA). Basierend auf den extrahierten Daten, z. B. Mengen und Massen der einzelnen Bauteile und Komponenten, werden diese anschließend händisch mit Ökobilanzdatensätzen in der externen Software verknüpft. Somit muss z. B. bei Änderungen innerhalb des Modells erneut eine Massenkalkulation aus dem digitalen Gebäudemodell exportiert und in das Berechnungstool importiert werden. Weiterhin ist durch diese Vorgehensweise keine bidirektionale Kommunikation zwischen dem Modell und den ökologischen Informationen möglich (Naneva 2019).

Workflow 2: Geometrischer IFC Import

Dieser Workflow kann mit nativen und herstellerneutralen Datenformaten durchgeführt werden. Ein digitales Gebäudemodell wird hierfür in die entsprechende LCA-Software exportiert und dort verarbeitet. Ob hierfür ein proprietäres oder ein herstellerneutrales Datenformat genutzt wird, ist abhängig von der implementierten Schnittstelle der LCA-Software. Bei der Verwendung eines offenen Datenformats, z. B. IFC, werden zuvor definierte Informationen durch die Schnittstellenarchitektur erkannt und für die weitere Berechnung der Gebäudeökobilanz verwendet. Hierfür müssen mindestens geometrische Objekte in dem Modell enthalten sein. Anschließend erfolgt gleichermaßen eine manuelle Zuordnung der LCA-Datensätze innerhalb der LCA-Software. Der grundlegende Unterschied zu Workflow 1 ist der automatische Import des BIM-Modells per geeigneten BIM-Datenformat im Gegensatz zu dem alleinigen Import der Mengen und Massen als beispielsweise eine XLS oder CSV-Datei.

Workflow 3: BIM Werkzeuge zur Verknüpfung der LCA-Datensätze

Im dritten Workflow findet eine Übergabe des BIM-Modells an einen BIM-Viewer und/oder einen Informationsmanagementtool statt (z. B. DESITE BIM oder Solibri). Je nach gewählter Software kann innerhalb des Workflows dabei das Informationsmanagementtool als eigenständige Anwendung oder der Viewer als bereits integrierte Anwendung innerhalb einer LCA-Software vorliegen. Höper (Höper 2020) hat beispielsweise im Rahmen seiner Arbeit eine LCA-Software innerhalb eines Informationsmanagementtool entwickelt, sodass eine direkte LCA-Berechnung und Optimierung durchgeführt werden konnte. Die LCA-Software eLCA hat dahingegen im Rahmen des IFC2eLCA Projekts einen BIM-Viewer integriert, der das Mapping von LCA Datensätzen mit Bauteilen aus dem BIM-Modell vereinfacht.

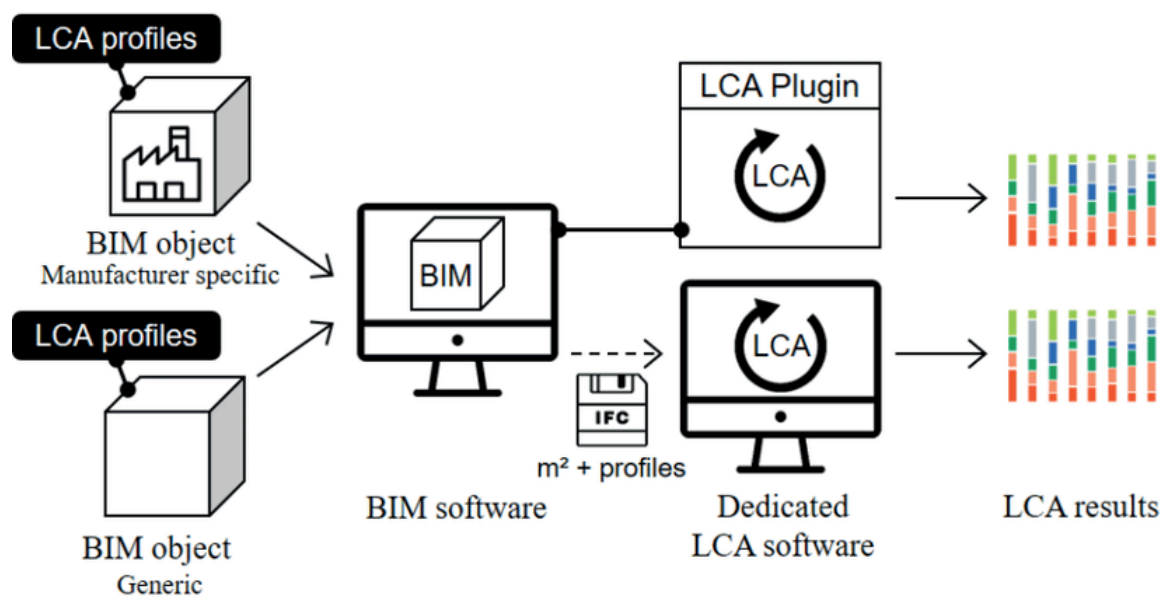
Workflow 4: LCA-Plugin für BIM-Software

Es erfolgt die Ökobilanzberechnung durch ein Plugin innerhalb der BIM-Software. Im Gegensatz zu Workflow 1 muss kein Export von Informationen in ein externes Tool durchgeführt werden. Bei dieser Strategie erkennt das verwendete Plugin die Bauteile und die dazugehörigen Mengen und Massen. Im nächsten Arbeitsschritt erfolgt eine händische oder je nach Plugin automatisierte Zuordnung der entsprechenden LCA-Datensätze zu den geometrischen Objekten, die jedoch i.d.R. einer manuellen Nachbesserung bedarf. Diesbezüglich existieren bereits einige Lösungen, die beispielsweise mithilfe von Autodesk REVIT und Dynamo sowie Microsoft Excel eine BIM-integrierte Gebäudeökobilanz ermöglichen (Forth 2018; Naneva 2019; Marios Tsikos/Kristoffer Nengendahl 2017). Ebenso sind bereits am Markt verfügbare Tools mit diesem Workflow verfügbar, z. B. CAA-LA. Hierbei werden jedoch herstellerspezifische Datenformate verwendet. Dies resultiert in einer closed BIM Lösung.

Workflow 5: Mit LCA-Datensatzinformationen angereicherte BIM-Objekte

Bei Workflow fünf steht die Integration von LCA-Datensätzen in BIM-Objekte im Fokus und nicht das eigentliche Berechnungswerkzeug. Daher kann eine Berechnung der Gebäudeökobilanz in diesem Workflow mithilfe der anderen Workflows kombiniert werden.

Abbildung 5
Strategien zur LCA-Integration in BIM, nach L. Wastiels und R. Decuypere



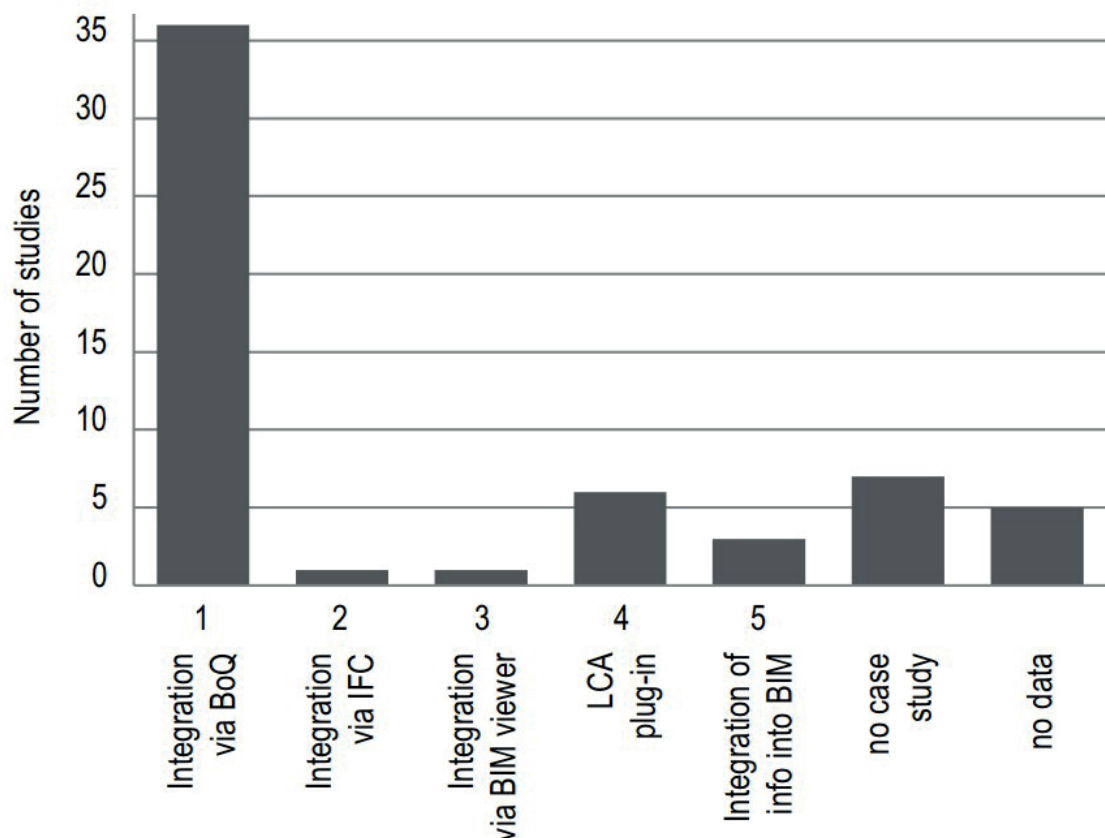
Quelle: Wastiels/Decuypere 2019

Als Voraussetzung bedarf der Workflow der Integration ökologischer Informationen der LCA-Datensätze in BIM-Objekte bzw. Bibliotheken. Bei der Modellierung sind dann automatisch die notwendigen LCA Informationen in den BIM Modellen enthalten. Dadurch muss keine händische Verknüpfung durch den LCA-Experten für die Gebäudeökobilanz erfolgen. Da die Hersteller die Informationen der LCA-Datensätze in ihre Bibliotheken der BIM-Autorentools oder herstellereinspezifischen BIM-Objekte implementieren müssen, benötigen sie jedoch vorab ein Expertenwissen beim Mapping dieser. Grundlegend wird im Endbericht „Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen“ (Lambertz et al. 2020) empfohlen, nicht alle Informationen eines LCA-Datensatzes in die BIM-Objekte zu integrieren, sondern nur eine GUID/UUID zur Verlinkung auf den LCA-Datensatz, die dann in der LCA-Software wieder aufgelöst werden kann. Andernfalls entstehen zu große Datenmengen, die die BIM-Modelle stark in der Performance beeinträchtigen würden (ebd.; Potrč Obrecht et al. 2020). Dieser Workflow wurde so bislang nur vereinzelt umgesetzt, wird jedoch von Diaz et al. sowie Santos et al. als ein Workflow mit hohem Zukunftspotenzial beschrieben (Santos et al. 2020; Díaz/Antón/Reitschmidt 2016).

Obrecht et al. haben basierend auf dieser Einteilung der Workflows eine systematische Literaturanalyse bezüglich 60 veröffentlichter, internationaler Forschungsarbeiten durchgeführt (Potrč Obrecht et al. 2020).

Abbildung 6

Analyseergebnisse von Obrecht et al. zur Anwendung eines BIM&LCA Verknüpfungsansatz, basierend auf 60 ausgewerteten Forschungsarbeiten



Quelle: Obrecht et al. (Potrč Obrecht et al. 2020)

Ihre Analyse zeigt, dass Workflow 1 mit Abstand am häufigsten in bisher veröffentlichten Forschungsarbeiten angewendet wurde. Danach folgen Workflow 4 und 5 sowie 2 und 3. Ebenfalls hat Schumacher et al. 2021 eine Potenzialanalyse zur Bewertung grauer Energie und Emissionen im digitalen Gebäudeplanungsprozess für den DACH-Raum durchgeführt und dabei neben einer Literaturanalyse auch eine Umfrage mit ca. 200 Praxisakteuren und -akteurinnen des nachhaltigen und digitalen Bauens durchgeführt (Schumacher et al. 2021). Hier wurde u.a. auch angelehnt an die fünf Workflows nach Wastiels und Decuypere abgefragt, welche der Workflows derzeit in der Praxis angewendet werden. Bei nur 12 Befragten, die bereits Ökobilanzen mit Hilfe von BIM berechnen, ist Workflow 1 der meistgenannte Workflow, gefolgt von 4 und 2, dann 6 (Auswahl 6 bedeutet keiner der fünf gezeigten) und dann Workflow 3. Workflow 5 wurde von keinem der 12 Befragten durchgeführt.

1.3 Diskussion und Bewertung der Vor- und Nachteile

Nachdem eine Übersicht zur Differenzierung der technischen Verknüpfungsansätze gegeben sowie deren Anwendung in Forschung und Praxis dargelegt wurde, folgt die Diskussion zu den Vor- und Nachteilen der beschriebenen Workflows aus Kapitel 1.2. Für eine Bewertung werden folgende Kriterien bei der technischen Analyse der Workflows berücksichtigt:

Tabelle 1
Definition von Bewertungskriterien

Nr.	Bewertungskriterium	Definition
1	Datenverluste und Fehleranfälligkeit bei Datenaustausch im closed oder open BIM Ansatz	Eignet sich der Workflow auch für die open BIM Projektabwicklung, durch z. B. den Datenaustausch von herstellerneutralen Datenformaten? Und wie hoch ist die dabei Fehleranfälligkeit und der Informationsverlust bei notwendigen Ex- und Importen innerhalb des Workflows?
2	Machbarkeit und Aufwand für erweiterten Bilanzierungsrahmen	Besteht die Möglichkeit auch über die KG 300 hinaus die in der DIN EN 15978 geforderten Elemente, z. B. der TGA, einzubinden und falls ja, wie hoch ist der Aufwand dazu?
3	Planungsbegleitende Anwendbarkeit	Inwiefern kann der Workflow in den definierten Anwendungsfällen angewendet werden?
4	Automatisierungsgrad der LCA durch BIM-Prozess	Wie hoch ist die Automation der LCA bei den Verknüpfungs-, Berechnungs- und Ergebnisdarstellungsprozessen?
5	Dynamische Verknüpfung mit LCA Berechnung	Können Änderungsmöglichkeiten im Modell vorgenommen werden, sodass automatisch die LCA-Berechnung angepasst wird (Echtzeit-Feedback)?
6	Verhältnis von notwendige Anpassungsbedarfen und daraus resultierender zukünftig vereinfachter Anwendung des Workflows	Wie hoch und komplex sind die Anpassungsbedarfe, um die Anwendung des Workflows zu vereinfachen? Beispielsweise durch: BIM-Modellierungsstandards (z. B. monolithische vs. Schichtweise Modellierung) Erweiterung Datenaustauschformate (z. B. Erweiterung in IFC) Anpassungen ÖKOBAUDAT-Datenbank (siehe Kapitel 1.5.1)
7	Praxistauglichkeit	Wie schnell kann der Workflow „erlernt“ und eingeführt, z. B. im Rahmen von Schulungen und neuer Softwarebeschaffung?
8	Intuitive Kommunikation und Visualisierung der LCA-Ergebnisse	Inwiefern wird die 3D-Darstellung der BIM Modelle genutzt, um intuitiv die LCA Ergebnisse für Bauherren, Planungsteam, etc. zu visualisieren und kommunizieren?

1.3.1 Workflow 1: Massen und Mengen Export

Bei dem ersten Workflow werden die benötigten Informationen für eine Gebäudeökobilanz aus einem BIM-Modell z. B. mittels Microsoft Excel extrahiert und anschließend an eine entsprechende Software übergeben bzw. importiert. Hier endet der BIM-Prozess und die restliche Bearbeitung erfolgt in der Gebäudeökobilanz-Software (z. B. eLCA). Basierend auf den extrahierten Daten, z. B. Mengen und Massen der einzelnen Bauteile und Komponenten, werden diese anschließend händisch mit Ökobilanzdatensätzen in der externen Software verknüpft. Somit muss z. B. bei Änderungen innerhalb des Modells erneut eine Massenkalkulation aus dem digitalen Gebäudemodell exportiert und in das Berechnungstool importiert werden. Weiterhin ist durch diese Vorgehensweise keine bidirektionale Kommunikation zwischen dem Modell und den ökologischen Informationen möglich (Lambertz/Theißen/Höper/Wimmer et al. 2019).

Tabelle 2
Übersicht zur Bewertung von Workflow 1

Nr.	Bewertungskriterium	Definition	Bewertung
1	Datenverluste und Fehleranfälligkeit bei Datenaustausch im closed oder open BIM Ansatz	Open BIM Ansatz wird nicht unterstützt, da Datenaustausch über keine „BIM-geeigneten“ Datenformate durchgeführt wird	● ● ●
2	Machbarkeit und Aufwand für erweiterten Bilanzierungsrahmen	Erweiterter Bilanzierungsrahmen inkl. der TGA kann abgedeckt werden, wenn ebenfalls Mengen und Massen der TGA exportiert werden. Der Aufwand Manuelle Verknüpfung ist allerdings sehr hoch, wenn speziell sämtlich Kanal- und Rohrsystemteile manuell verknüpft werden müssen	● ● ●
3	Planungsbegleitende Anwendbarkeit	Eine Anwendbarkeit dieses Workflows ist prinzipiell in allen vier definierte AwF möglich	● ● ●
4	Automatisierungsgrad der LCA durch BIM-Prozess	Es ist keine Automatisierungsmöglichkeit gegeben, da weiterhin eine vollständige manuelle Verknüpfung der Ökobilanzdaten in der LCA-Software durchgeführt werden muss	● ● ●
5	Dynamische Verknüpfung mit LCA Berechnung	Eine dynamische Verknüpfung sowie ein Echtzeit-Feedback der LCA-Berechnung und BIM Modell ist nicht möglich, da der Informationsfluss uni-direktional ist und bei Änderungen ein neuer Export getätigt werden muss	● ● ●
6	Verhältnis von notwendige Anpassungsbedarfen und daraus resultierender zukünftig vereinfachter Anwendung des Workflows	Anpassungsbedarfe sind nicht notwendig, da der Workflow mit den derzeit verfügbaren technischen Möglichkeiten praktiziert werden kann	● ● ●
7	Praxistauglichkeit	Einfache Umsetzung und damit hohe Praktikabilität, da kein Expertenwissen über BIM Software erforderlich ist, weil der Workflow primär in LCA-Software stattfindet	● ● ●
8	Intuitive Kommunikation und Visualisierung der LCA-Ergebnisse	Das Visualisierungspotenzial anhand des BIM-Modells kann nicht genutzt werden	● ● ●

1.3.2 Workflow 2: Geometrischer IFC Import

Dieser Workflow kann mit nativen und herstellerneutralen Datenformaten durchgeführt werden. Ein digitales Gebäudemodell wird hierfür in die entsprechende LCA-Software exportiert und dort verarbeitet. Ob hierfür ein proprietäres oder ein herstellerneutrales Datenformat genutzt wird, ist abhängig von der implementierten Schnittstelle der LCA-Software. Bei der Verwendung eines offenen Datenformats, z. B. IFC, werden zuvor definierte Informationen durch die Schnittstellenarchitektur erkannt und für die weitere Berechnung der Gebäudeökobilanz verwendet. Hierfür müssen mindestens geometrische Objekte in dem Modell enthalten sein. Anschließend erfolgt gleichermaßen eine manuelle Zuordnung der LCA-Datensätze innerhalb der LCA-Software. Der grundlegende Unterschied zu Workflow 1 ist der automatische Import des BIM-Modells per geeigneten BIM-Datenformat im Gegensatz zu dem alleinigen Import der Mengen und Massen als beispielsweise eine XLS oder CSV-Datei.

Tabelle 3
Übersicht zur Bewertung von Workflow 2

Nr.	Bewertungskriterium	Begründung	Bewertung
1	Datenverluste und Fehleranfälligkeit bei Datenaustausch im closed oder open BIM Ansatz	Open BIM Ansatz wird unterstützt, da Datenaustausch über IFC Datenformat durchgeführt wird	● ● ●
2	Machbarkeit und Aufwand für erweiterten Bilanzierungsrahmen	Erweiterter Bilanzierungsrahmen inkl. der TGA kann nicht abgedeckt werden, da LCA Software i.d.R. keine verschiedenen Fachmodelle im IFC Format importieren kann	● ● ●
3	Planungsbegleitende Anwendbarkeit	Eine Anwendbarkeit dieses Workflows ist prinzipiell in allen vier definierte AwF möglich	● ● ●
4	Automatisierungsgrad der LCA durch BIM-Prozess	Es ist teilweise bereits eine Automatisierung möglich, da bei Übertragung von semantischen Informationen auch je nach LCA-Software automatisch Materialzuordnungen mit den BIM-Objekten möglich sind	● ● ●
5	Dynamische Verknüpfung mit LCA Berechnung	Eine dynamische Verknüpfung sowie ein Echtzeit Feedback der LCA-Berechnung und BIM Modell ist teilweise (je nach LCA-Software) möglich, da der Informationsfluss bidirektional ist und bei Änderungen kein neuer Export getätigt werden muss	● ● ●
6	Verhältnis von notwendigen Anpassungsbedarfen und daraus resultierender zukünftig vereinfachter Anwendung des Workflows	Anpassungsbedarfe im Rahmen von Modellierungsrichtlinien/Standards sind notwendig, um speziell die korrekte Integration und Beschreibung der semantischen Informationen der Materialien sicherzustellen	● ● ●
7	Praxistauglichkeit	Einfache Umsetzung und damit hohe Praktikabilität, da kein Expertenwissen über BIM Software erforderlich ist, weil der Workflow primär in LCA-Software stattfindet	● ● ●
8	Intuitive Kommunikation und Visualisierung der LCA-Ergebnisse	Das Visualisierungspotenzial anhand des BIM-Modells kann genutzt werden, wenn die LCA-Software über einen geeigneten Viewer verfügt.	● ● ●

1.3.3 Workflow 3: BIM Werkzeuge zur Verknüpfung der LCA-Datensätze

Im dritten Workflow findet eine Übergabe des BIM-Modells an einen BIM-Viewer und/oder einen Informationsmanagementtool statt (z. B. DESITE BIM oder Solibri). Je nach gewählter Software kann innerhalb des Workflows dabei das Informationsmanagementtool als eigenständige Anwendung oder der Viewer als bereits integrierte Anwendung innerhalb einer LCA-Software vorliegen. Höper (Höper 2020) hat beispielsweise im Rahmen seiner Arbeit eine LCA-Software innerhalb eines Informationsmanagementtool entwickelt, sodass eine direkte LCA-Berechnung und Optimierung durchgeführt werden konnte. Die LCA-Software eLCA hat dahingegen im Rahmen des IFC2eLCA Projekts einen BIM-Viewer integriert, der das Mapping von LCA Datensätzen mit Bauteilen aus dem BIM-Modell vereinfacht.

Tabelle 4
Übersicht zur Bewertung von Workflow 3

Nr.	Bewertungskriterium	Begründung	Bewertung
1	Datenverluste und Fehleranfälligkeit bei Datenaustausch im closed oder open BIM Ansatz	Open BIM Ansatz wird unterstützt, da Datenaustausch über IFC Datenformat durchgeführt wird	  
2	Machbarkeit und Aufwand für erweiterten Bilanzierungsrahmen	Erweiterter Bilanzierungsrahmen inkl. der TGA kann abgedeckt werden, wenn statt reinem BIM Viewer, ein Informationsmanagementtool eingesetzt wird, dass verschiedene Fachmodelle miteinander verlinken kann, bevor ein Export des Gesamtmodells in die LCA Software durchgeführt wird	  
3	Planungsbegleitende Anwendbarkeit	Eine Anwendbarkeit dieses Workflows ist prinzipiell in allen vier definierte AwF möglich	  
4	Automatisierungsgrad der LCA durch BIM-Prozess	Es ist ein guter Automatisierungsgrad gegeben, da bei der Verknüpfung von LCA-Datensätzen mit den BIM-Objekten nur einmal ein Mapping pro Material stattfinden muss, unabhängig davon in welchem Bauteil es verortet ist	  
5	Dynamische Verknüpfung mit LCA Berechnung	Eine dynamische Verknüpfung sowie ein Echtzeit Feedback der LCA-Berechnung und BIM Modell ist möglich, da der Informationsfluss bidirektional ist und bei Änderungen kein neuer Export getätigt werden muss	  
6	Verhältnis von notwendigen Anpassungsbedarfen und daraus resultierender zukünftig vereinfachter Anwendung des Workflows	Anpassungsbedarfe im Rahmen von Modellierungsrichtlinien/Standards sind notwendig, um speziell die korrekte Integration und Beschreibung der semantischen Informationen der Materialien sicherzustellen. Zusätzlich würden Anpassungen seitens der ÖKOBAUDAT (siehe. Kapitel 1.4.1) erheblich die Verknüpfung mit Ökobilanzdaten vergleichen, z. B. wenn Nutzungsdauern bereits in LCA-Datensätzen integriert wären oder weitere LCA-Datensätze für Komposite existieren würden	  
7	Praxistauglichkeit	Umsetzung des Workflows erfordert Expertenwissen im Umgang mit BIM-Informationsmanagementtools, um LCA Datensatzinformation korrekt mit BIM Objekten zu verknüpfen	  
8	Intuitive Kommunikation und Visualisierung der LCA-Ergebnisse	Das Visualisierungspotenzial anhand des BIM-Modells kann einerseits bereits bei der Zuordnung der LCA-Datensatzinformationen genutzt werden und andererseits für die Ergebnisdarstellung, z. B. als farblich markierte ökologische Hotspots	  

1.3.4 Workflow 4: LCA-Plugin für BIM-Software

Es erfolgt die Ökobilanzberechnung durch ein Plugin innerhalb der BIM-Software. Im Gegensatz zu Workflow 1 muss kein Export von Informationen in ein externes Tool durchgeführt werden. Bei dieser Strategie erkennt das verwendete Plugin die Bauteile und die dazugehörigen Mengen und Massen. Im nächsten Arbeitsschritt erfolgt eine händische oder je nach Plugin automatisierte Zuordnung der entsprechenden LCA-Datensätze zu den geometrischen Objekten, die jedoch i.d.R. einer manuellen Nachbesserung bedarf. Diesbezüglich existieren bereits einige Lösungen, die beispielsweise mithilfe von Autodesk REVIT und Dynamo sowie Microsoft Excel eine BIM-integrierte Gebäudeökobilanz ermöglichen (Forth 2018; Naneva 2019; Marios Tsikos/Kristoffer Nengendahl 2017). Ebenso sind bereits am Markt verfügbare Tools mit diesem Workflow verfügbar, z. B. CAA-LA. Hierbei werden jedoch herstellerspezifische Datenformate verwendet. Dies resultiert in einer closed BIM Lösung.

Tabelle 5
Übersicht zur Bewertung von Workflow 4

Nr.	Bewertungskriterium	Begründung	Bewertung
1	Datenverluste und Fehleranfälligkeit bei Datenaustausch im closed oder open BIM Ansatz	Closed BIM Ansatz wird unterstützt, da Workflow nur in nativer Softwareumgebung stattfindet	● ● ●
2	Machbarkeit und Aufwand für erweiterten Bilanzierungsrahmen	Erweiterter Bilanzierungsrahmen inkl. der TGA kann nicht abgedeckt werden, da i.d.R. weitere fachspezifische Software der anderen Planungsdisziplinen benötigt werden sowie ein herstellernerutraler Export der Fachmodelle.	● ● ●
3	Planungsbegleitende Anwendbarkeit	Eine Anwendbarkeit dieses Workflows ist nur in den ersten beiden AwF sinnvoll gegeben	● ● ●
4	Automatisierungsgrad der LCA durch BIM-Prozess	Es ist ein guter Automatisierungsgrad gegeben, da die Verknüpfung von LCA-Datensätzen mit den BIM-Objekten automatisch von dem LCA-Plugin durchgeführt wird	● ● ●
5	Dynamische Verknüpfung mit LCA Berechnung	Eine dynamische Verknüpfung sowie ein Echtzeit Feedback der LCA-Berechnung und BIM Modell ist möglich, da die Änderungen in BIM-Auto-rentool direkt erkannt werden können	● ● ●
6	Verhältnis von notwendigen Anpassungsbedarfen und daraus resultierender zukünftig vereinfachter Anwendung des Workflows	Anpassungsbedarfe im Rahmen von Ökobilanzdaten sind notwendig, da bisherige Plugins, z. B. meist nur generische Ökobilanzdatensätze nutzen. Weitere Anpassungsbedarfe (siehe. Kapitel 1.4.1) sind ebenfalls sinnvoll für die zukünftig vereinfachte Anwendung des Workflows	● ● ●
7	Praxistauglichkeit	Umsetzung des Workflows erfordert Expertenwissen im Umgang mit BIM-Modellierungssoftware, um das LCA-Plugin anwenden zu können	● ● ●
8	Intuitive Kommunikation und Visualisierung der LCA-Ergebnisse	Das Visualisierungspotenzial anhand des BIM-Modells ist für die Ergebnisdarstellung, z. B. als farblich markierte ökologische Hotspots gegeben	● ● ●

1.3.5 Workflow 5: Mit LCA-Datensatzinformationen angereicherte BIM-Objekte

Bei Workflow fünf steht die Integration von LCA-Datensätzen in BIM-Objekte im Fokus und nicht das eigentliche Berechnungswerkzeug. Daher kann eine Berechnung der Gebäudeökobilanz in diesem Workflow mithilfe der anderen Workflows kombiniert werden. Als Voraussetzung bedarf der Workflow die Integration ökologischer Informationen der LCA-Datensätze in BIM-Objekte bzw. Bibliotheken. Bei der Modellierung sind dann automatisch die notwendigen LCA Informationen in den BIM Modellen enthalten. Dadurch muss keine händische Verknüpfung durch den LCA-Experten für die Gebäudeökobilanz erfolgen. Da die Hersteller die Informationen der LCA-Datensätze in ihre Bibliotheken der BIM-Autorentools oder herstellerspezifischen BIM-Objekte implementieren müssen, benötigen sie jedoch vorab ein Expertenwissen beim Mapping dieser. Grundsätzlich wird empfohlen, nicht alle Informationen eines LCA-Datensatzes in die BIM-Objekte zu integrieren, sondern nur eine GUID/UUID zur Verlinkung auf den LCA-Datensatz, die dann in der LCA-Software wieder aufgelöst werden kann. Andernfalls entstehen zu große Datenmengen, die die BIM-Modelle stark in der Performance beeinträchtigen würden (Lambertz et al. 2020; Potrč Obrecht et al. 2020).

Tabelle 6
Übersicht zur Bewertung von Workflow 5

Nr.	Bewertungskriterium	Begründung	Bewertung
1	Datenverluste und Fehleranfälligkeit bei Datenaustausch im closed oder open BIM Ansatz	open BIM Ansatz wird unterstützt, da im späteren Verlauf des Workflows verschiedene IFC-basierte Datenaustauschoptionen für die Ökobilanzberechnung zur Verfügung stehen	● ● ●
2	Machbarkeit und Aufwand für erweiterten Bilanzierungsrahmen	Erweiterter Bilanzierungsrahmen inkl. der TGA kann abgedeckt werden, da auch für TGA-fachspezifische BIM Objekte LCA Informationen integriert werden können	● ● ●
3	Planungsbegleitende Anwendbarkeit	Eine Anwendbarkeit dieses Workflows ist prinzipiell in allen vier AwF möglich, jedoch bieten Hersteller derzeit ihre BIM-Objekte in sehr fortgeschrittenen Entwicklungsgraden an, was sich als problematisch in frühen Phasen erweist, wo zuerst mit generischen Datensätzen bilanziert werden muss bzw. statt elementbezogener Ansätze flächenbezogene vorzuziehen sind	● ● ●
4	Automatisierungsgrad der LCA durch BIM-Prozess	Es ist ein hoher Automatisierungsgrad gegeben, da die Verknüpfung von LCA-Datensätzen mit den BIM-Objekten im Vorfeld stattgefunden hat und theoretisch direkt eine automatische Berechnung der Ökobilanz durchgeführt werden kann	● ● ●
5	Dynamische Verknüpfung mit LCA Berechnung	Ein Echtzeit Feedback der LCA-Berechnung und BIM Modell ist möglich, da bei Änderungen im BIM Modell, z. B. bei Materialänderungen, automatisch neue LCA-Informationen mit den neuen BIM-Objekten zur Verfügung stehen	● ● ●
6	Verhältnis von notwendigen Anpassungsbedarfen und daraus resultierender zukünftig vereinfachter Anwendung des Workflows	Anpassungsbedarfe im Rahmen von Ökobilanzdaten sind notwendig, da z. B. LCA Datensätze eine beschränkte Gültigkeit in puncto Zeit aufweisen. Zudem ist für ein permanent korrektes Mapping der LCA-Datensätze mit BIM Objekten ein hoher Wartungs- und Pflegeaufwand, erforderlich. Produktespezifische LCA Datensätze (EPDs) erfordern darüber hinaus eine besondere Betrachtung, da diese meist nur im einem regionalen bzw. länderspezifischen Kontext gelten (beispielsweise bzgl. Strommix zur Herstellung oder End-of-Life Prozess)	● ● ●
7	Praxistauglichkeit	Umsetzung des Workflows erfordert Expertenwissen seitens der Hersteller/BIM-Softwareanbietern für korrektes Mapping der Ökobilanzdaten mit ihren BIM-Objekten bzw. internen Bauteilbibliotheken	● ● ●
8	Intuitive Kommunikation und Visualisierung der LCA-Ergebnisse	Visualisierungsmöglichkeiten für die Ergebnisdarstellung, z. B. als farblich markierte ökologische Hotspots, können im BIM Modell genutzt werden	● ● ●

1.4 Abschließende Bewertung und Vergleichsübersicht

Die abschließende Bewertungsübersicht der Workflows zeigt, dass die Wahl des „besten“ Workflows immer individuell getroffen werden muss. So kann es beispielsweise durchaus möglich sein, dass sich ein LCA-Plugin für eine frühe grobe erste Abschätzung von Konstruktionsvarianten, für beispielsweise das Tragwerk, besser eignet, als ein IFC-Export in ein BIM-Werkzeug und der dort stattfindenden Verknüpfung zu LCA-Datensätzen. Für eine detaillierte Gebäudeökobilanzierung und der vollumfänglichen TGA-Betrachtung erscheint es jedoch sinnvoll einen Workflow zu nutzen, der dem open-BIM Ansatz folgt. Dies ist essenziell, um verschiedene Fachmodelle verlinken zu können und gleichzeitig Herstellerneutralität zu wahren bzw. der Vielfalt der unterschiedlich eingesetzten Modellierungs- und Planungssoftwaresysteme je nach Fachdisziplin gerecht zu werden. Bisher technische Möglichkeiten und Verknüpfung von LCA-Daten mit Hilfe von UUIDs sichern eine guten/schnellen Handhabung von BIM-Modellen, minimieren das Risiko von Informationsverlusten und ermöglichen einen halbautomatischen Prozess der Gebäudeökobilanz.

Tabelle 7
Bewertung und Vergleich der Workflows

Nr.	Bewertungskriterium	Begründung	WF 1	WF 2	WF 3	WF 4	WF 5
1	closed oder open BIM Ansatz	Eignet sich der Workflow auch für die open BIM Projektabwicklung, durch z. B. den Datenaustausch von herstellernneutralen Datenformaten? - Und wie hoch ist die dabei Fehleranfälligkeit und der Informationsverlust bei notwendigen Ex- und Importen innerhalb des Workflows?	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
2	Bilanzierungsrahmen	Besteht die Möglichkeit auch über die KG 300 hinaus die in der DIN EN 15978 geforderten Elemente, z. B. der TGA, einzubinden und falls ja, wie hoch ist der Aufwand dazu?	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
3	Planungsbegleitende Anwendbarkeit	Inwiefern kann der Workflow in den definierten Anwendungsfällen angewendet werden?	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
4	Automatisierungsgrad der LCA durch BIM-Prozess	Wie hoch ist die Automation der LCA bei den Verknüpfungs-, Berechnungs- und Ergebnisdarstellungsprozessen?	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
5	Dynamische Verknüpfung mit LCA Berechnung	Können Änderungsmöglichkeiten im Modell vorgenommen werden, sodass automatisch die LCA-Berechnung angepasst wird (Echtzeit-Feedback)?	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
6	Verhältnis von notwendige Anpassungsbedarf und daraus resultierender zukünftig vereinfachter Anwendung des Workflows	Wie hoch und komplex sind die Anpassungsbedarfe, um die Anwendung des Workflows zu vereinfachen? Beispielsweise durch: – BIM-Modellierungsstandards (z. B. monolithische vs. Schichtweise Modellierung) – Erweiterung Datenaustauschformate (z. B. Erweiterung in IFC) – Anpassungen ÖKOBAUDAT-Datenbank	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
7	Praxistauglichkeit	Wie schnell kann der Workflow „erlernt“ und eingeführt, z. B. im Rahmen von Schulungen und neuer Softwarebeschaffung?	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
8	Intuitive Kommunikation und Visualisierung der LCA-Ergebnisse	Inwiefern wird die 3D-Darstellung der BIM Modelle genutzt, um intuitiv die LCA Ergebnisse für Bauherrn, Planungsteam, etc. zu visualisieren und kommunizieren?	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●

1.5 Identifizierte Anpassungs- und Erweiterungsbedarfe sowie vorgeschlagene Lösungsansätze

Im Folgenden werden basierend auf den Analyseergebnissen und unter Einbezug der nachfolgenden Forschungsergebnisse Problematiken, fehlende Standards und Lösungsansätze beschrieben und Anpassungsbedarfe vorgeschlagen.

- Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen (ZukunftBau Ressortforschung – SWD 10.08.17.7-18.29 – 2019)
- Suggestions for the Technical Integration of Life Cycle Assessment Data Sets of ÖKOBAUDAT into Building Information Modeling and Industry Foundation Classes (Theißen/Höper/Wimmer/Meins-Becker/Lambertz 2020)
- Ökobau.dat 3.0–Quo Vadis? (Gantner/Lenz et al. 2018)
- Using Open BIM and IFC to Enable a Comprehensive Consideration of Building Services within a Whole-Building LCA (Theißen/Höper/Drzymalla et al. 2020)

1.5.1 ÖKOBAUDAT Anpassungen

Die ÖKOBAUDAT bietet in vielen Punkten Optimierungsmöglichkeiten, um eine BIM basierten Gebäudeökobilanz zu vereinfachen. Nachfolgend sind Anpassungsbedarfe der ÖKOBAUDAT stichpunktartig aufgeführt. Eine ausführliche Beschreibung ist im Rahmen des Endberichts des Forschungsprojekts „Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen (Lambertz et al. 2020), Kapitel I.c. Anpassungsbedarfe ÖKOBAUDAT“ zu finden sowie in der Veröffentlichung „Ökobau.dat 3.0–Quo Vadis?“ (Gantner/Lenz et al. 2018)

- Integration von Nutzungsdauern in Datensätzen
- Vereinheitlichung der quantitativen Referenz und Pflichtfeld Rohdichte
- Verbesserung der Datenquantität (TGA) und Qualität, siehe auch neue Anforderungen DIN EN 15804: verpflichtende Deklaration Module C und D
- Verbesserung der API und Einführung einer Datensatzhistorie
- Überarbeitung der Klassifikation der ÖKOBAUDAT
- Einbindung von LCA-Datensätzen für Komposite (z. B. Stahlbeton)
- Parametrische Datensätze
- Dynamische Datensätze, z. B. Strom

1.5.2 Standard für die Akkreditierung von LCA-Software

Derzeitige LCA-Softwaresysteme unterliegen keiner spezifischen Akkreditierung, da kein Standard diesbezüglich existiert. Um jedoch verlässliche Aussagen darüber zu treffen, ob der Berechnungsalgorithmus von Ökobilanztools korrekt arbeitet bzw. die Ergebnisse in einem realistischen Rahmen liegen, ist die Etablierung eines entsprechenden Standards sehr sinnvoll. Diverse Forschungsarbeiten kommen übereinstimmend zu der Erkenntnis, dass trotz gleicher Inputparameter und gleicher Hintergrunddaten (ÖKOBAUDAT und BNB Nutzungsdauern) teilweise sehr unterschiedliche Ökobilanzergebnisse in den am Markt verfügbaren LCA-Softwaretools auftreten (Scheljagin 2016; Skoko 2018). Da die Zahlenwerte sehr abstrakt und komplex sind, erweist sich eine Überprüfung und Ursachenforschung als sehr schwer. Eine Richtlinie, die Eingabedaten, Algorithmen und die dazu richtigen Ergebnisse vorgibt, könnte sicherstellen, dass die Tools korrekt und verlässlich arbeiten.

1.5.3 Anpassung des VeV und VoV-Verfahren

Bei dem DGNB und BNB System kann zwischen dem vereinfachten Verfahren (VeV) und dem vollständigen Verfahren (VoV) bei der Bilanzierung für die Gebäudeökobilanz gewählt werden. Während das VoV grundsätzlich eine vollumfängliche Einbeziehung aller Bauteile der Kostengruppen (KG) 300 Bauwerk - Baukonstruktionen und 400 Bauwerk - Technische Anlagen gemäß DIN 276 vorgibt, erlaubt das VeV eine Beschränkung auf acht wesentliche Bauteilgruppen der KG 300/400 (Pohl 2014). Konkret schreibt das VeV vor, die Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen sowie die Zentralen der lufttechnischen Anlagen in das Gebäudemodell einzubeziehen. Rohre, Leitungen, Kanäle und weitere Komponenten der TGA sind dabei nicht im Gebäudemodell einzubeziehen. Als Ausgleich für diese Vereinfachung muss das Ergebnis der Umweltwirkungen in den einzelnen Lebenszyklusphasen mit dem Faktor 1,2 multipliziert, also mit einem 20-prozentigen Aufschlag berücksichtigt werden. Wenn im Kriterium „Einsatz und Integration von Gebäudetechnik (TEC1.4)“ im Indikator Passive Systeme umfangreiche passive Maßnahmen angerechnet und anerkannt werden, kann der Faktor 1,2 im vereinfachten Verfahren auf einen Faktor 1,1 für passive Gebäude abgesenkt werden (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB 2021).

Studien zeigen jedoch, dass bei der TGA von einem erheblichen größeren Anteil an Umweltwirkungen auszugehen ist, als der bisherige Faktor zur Beaufschlagung abdeckt (Lambertz et al. 2019; RICS 2017; Kiamili/Hollberg/Habert 2020). Da der Beschaffungs- und Aufbereitungsaufwand, der für die Gebäudeökobilanz unter Berücksichtigung der TGA notwendigen Informationen jedoch sehr hoch ist, ist nachvollziehbar, dass trotz fehlender Kenntnisse über die vollen Ergebnisauswirkungen in der Praxis bis auf sehr wenige Ausnahmen nur das VeV zur Anwendung kommt (Pohl 2014). Der hohe Zeit- und damit Kostenaufwand, der durch das VoV inkl. Abbildung der TGA für die Gebäudeökobilanzierung aufgebracht werden muss, sowie die mangelnde Praktikabilität, machen das VoV nicht lohnenswert für den Anwender bzw. Auftraggeber. Somit besteht kein Anreiz, den großen Mehraufwand für eine vermeintlich detaillierte Gebäudeökobilanz inkl. umfänglicher TGA-Abbildung zu auf sich zu nehmen (ebd.).

Open BIM basierte Workflows für die Gebäudeökobilanz bieten eine sehr gute Möglichkeit, die TGA vollumfänglich zu bilanzieren und hohe manuelle Beschaffungs- und Aufbereitungsaufwände zu vermeiden. Um zukünftig vermehrt Anreize und Motivation zur Durchführung einer detaillierten Gebäudeökobilanz inkl. der TGA mit der BIM-Methode zu schaffen, bedarf es daher einer Prüfung bzw. Anpassung der aktuellen Berechnungsregeln in BNB/QNG und DGNB System.

1.5.4 IFC-Erweiterung

Viele der analysierten Lösungsansätze funktionieren nur in closed BIM Umgebungen. Damit sind diese meist (noch) nicht praxistauglich und funktionieren nur in ihrer eigenen Software- und Forschungsprojekts-umgebung. Ein ähnliches Bild zeichnet sich auch mit den am Markt verfügbaren LCA-Softwareprodukten ab. Während diese einerseits erst seit kurzer Zeit zunehmend Importe von BIM-Modellen, meist als native Dateien, anbieten, werden standardisierte und offene Datenaustauschformate als Importformat bisher noch nicht ausreichend angeboten. Aktuell kann das nicht-proprietäre Datenformat IFC4, Addendum 2 jedoch auch noch nicht den Anforderungen für eine automatisierte, BIM-integrierte Gebäudeökobilanz gerecht werden. Die vorhandenen IFC PSets PSet_EnvironmentalImpactIndicators und PSet_EnvironmentalImpactValues des IFC 4 Datenmodells bedürfen einer grundlegenden Erneuerung/Erweiterung, z. B. durch Anpassung an die Umweltindikatoren der DIN EN 15804. Für eine ausführliche Beschreibung wird auf den Endbericht des Forschungsprojekts "Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen, Kapitel I.b Anbindungsoptionen ÖKOBAUDAT/BIM" verwiesen.

1.5.5 Förderung von Standards und Vertragsbausteinen für BIM basierte Ökobilanzen

Die Modellierungsqualität und der Informationsgehalt der BIM-Modelle ist essenziell, um Gebäudeökobilanzen weitestgehend automatisieren zu können. Derzeit variiert die Qualität der Modelle jedoch noch sehr stark, sodass manuelle Nachbesserungen vor der eigentlichen Berechnung der Gebäudeökobilanz unumgänglich sind. Aus diesem Grund ist die Entwicklung, Förderung und Bereitstellung von Standards, welche die Modellierungsqualität im Sinne einer IFC-konformen Modellierung spezifizieren, von großer Bedeutung. In Deutschland soll möglichst bald über die VDI/bS 2552 Blatt 11.4 ein Standard speziell für die BIM basierte Ökobilanzierung bereitgestellt werden, welcher für die Praxis eine gute Orientierung und Hilfestellung bietet. Konkret bedeutet dies, dass im Rahmen von AIAs rechtlich geprüfte Textbausteine und konkrete ERs standardisiert integriert werden können, die sicherstellen, dass Gebäudeökobilanzen ohne hohe Zusatzaufwände im Rahmen einer BIM Projektabwicklung umgesetzt werden können.

1.5.6 LCA-Benchmarks

LCA-Benchmarks können als Durchschnittswerte gängiger Konstruktionen abgebildet werden ("bottom-up"), um bereits in frühen Planungsphasen ganzheitliche Bewertungen realisieren zu können. Darüber hinaus können LCA-Benchmarks auch politisch-wissenschaftliche Zielstellungen abbilden ("top-down"), um die Planung und Realisierung von Gebäuden zu gewährleisten, die diesen Zielen entsprechen.

Die heute zur Verfügung stehenden Benchmarks basieren jedoch auf einer statistisch wenig aussagekräftigen Datengrundlage, bilden die beiden Benchmarktypen nicht ab und existieren nur auf Gebäudeebene. Dies bedeutet im Umkehrschluss: Es fehlt an einem konkreten übergeordneten Zielbezug zu klimapolitischen Festlegungen als Orientierung, wie z. B. klimaneutrale Gebäude bewertet und realisiert werden können. Weiterhin fehlt es an einer Strategie zur schrittweisen Verschärfung im Hinblick auf den klimaneutralen Gebäudebestand 2050. Im Bereich der praktischen Anwendungen mangelt es an höheren Detaillierungsgraden der LCA-Benchmarks auf Komponenten- oder Materialebene, die für eine frühzeitige Optimierung in der Planung erforderlich sind.

Je nach Anwendungsfall der Ökobilanz ist daher eine andere Granularität der Ökobilanzdaten in Datenbanken erforderlich, wie auch ein anderes Bezugssystem (bspw. flächenbasierte Ansätze). Für die zukünftige planungsbegleitende Anwendung der Gebäudeökobilanz wird empfohlen, grobe Ökobilanz-Benchmarks im Gebäudemastab für die anfängliche Entscheidungsunterstützung anzuwenden, die sich im Prozessverlauf sukzessive in detailliertere Ökobilanzen zerlegen, wenn der Informationsstand z. B. bezüglich Konstruktions-typen von Bauelementen genügend konkretisiert wurde, um Entscheidungen über Alternativen treffen zu

können. In späteren Planungsphasen, in denen die Entscheidungen mit den höchsten Umweltauswirkungen ermittelt werden, sollten die Feinkörnigkeit der verfügbaren Daten sowie die detailliertesten Ökobilanzdaten zu Bauteilen und Materialien berücksichtigt werden, die bereits in der Praxis für die Erstellung einer spezifischen Gebäudenachhaltigkeitszertifizierung verwendet werden. Die nachfolgende Logik und Bereitstellung von LCA-Benchmarks, z. B. über die ÖKOBAUDAT, würde eine frühe und planungsbegleitende Ökobilanz deutlich fördern.

LCA-Benchmarks gebäudespezifisch (nach Bauweise, Energiestandard, Nutzungsart, in spezifischer Einheit kg CO₂-Äqv. /m²/a)

- LCA-Benchmarks auf Funktionssystemebene, z. B. 2. Ebene der Kostengruppenstruktur
- LCA-Benchmarks auf Bauteileebene, z. B. 3. Ebene der Kostengruppenstruktur
- Material-spezifische LCA-Informationen, generisch/produktspezifisch (ÖKOBAUDAT)

Des Weiteren muss eine Kombination von „top-down“ mit „bottom up“ Benchmarks erfolgen, damit ein Fahrplan mit Zwischenzielen unter Berücksichtigung von verschiedenen Szenarien (wissenschaftliche Ziele vs. politisch angestrebte Zustände) entwickelt werden kann. Dieses Punkt ist ebenfalls von großer Bedeutung, um zukünftig im GEG CO₂-Benchmarks einführen zu können.

1.5.7 Rückführung, Darstellung und Archivierung von Ergebnissen in BIM&LCA Modellen

LCA-Benchmarks können als Durchschnittswerte gängiger Konstruktionen abgebildet werden („bottom-up“), um bereits in frühen Planungsphasen ganzheitliche Bewertungen realisieren zu können. Darüber hinaus können LCA-Benchmarks auch politisch-

Im Bereich der Visualisierung gibt es zahlreiche Arbeiten, welche die Notwendigkeit und den Nutzen digitaler Gebäudemodelle für frühe ökologische Optimierungen darlegen (Meex et al. 2018; Forth 2018; Naneva 2019; Harter/Schneider-Marin/Lang 2018). Untersuchungen und Interviews mit Fachplanern, Architekten etc. zeigen, dass die Nachfrage aus der Praxis hoch ist, das Angebot an entsprechenden Tools dazu jedoch gering und nicht ausgereift ist (Meex et al. 2018). Zudem findet eine Rückführung und Speicherung der LCA-Ergebnisse im BIM/LCA-Modell bislang nur in Forschungsprojekten statt (vgl. Projekt „BIM-basierte Integrale Planung“ (Pohl 2014)). Zur besseren Einbindung der LCA in Planungsprozess müssen daher auch die Kommunikations- und Visualisierungspotenziale anhand der 3D-basierten Darstellungen sowie die Rückführung und Archivierung von LCA-Ergebnissen erforscht werden.

1.5.8 Entwicklung von Weiterbildungsprogrammen für BIM&LCA Anwendung in der Praxis

Allgemein ist ein Fachkräftemangel im Bereich der Ökobilanzierungen auf dem Markt bei gleichzeitig steigender Nachfrage zu beobachten. Daher sind auch Konzepte zur breiten Aus- & Weiterbildung sowohl an Universitäten aber auch zu berufsbegleitenden Angeboten zu erforschen. Der Fokus soll dabei auf planungsbegleitender Anwendung von Ökobilanzierung liegen, nicht nur rein auf der reinen Dokumentation. Außerdem muss hierbei auch die Rolle der Ökobilanzexperten im BIM-basierten Planungsprozess hinterfragt und weiterentwickelt werden. Wichtig für eine Breitenwirkung ist zudem auch die Erarbeitung von Modellierungsleitfäden für LCA-spezifische Gebäudemodellierungen, welche Unterstützung gibt sowohl in der prozessbegleitenden Konkretisierung des BIM-Modells (Bezugssystem) wie auch der für die LCA erforderlichen Eigenschaftssätze und Materialkennungen bzw. Referenzen.

Im Rahmen der identifizierten Anpassungsbedarfe konnten bereits viele Maßnahmen auf verschiedenen Handlungsebenen und Aufwänden zur Umsetzung identifiziert werden. Die analysierten Veröffentlichungen und Forschungsergebnisse zeigten dabei auch Überschneidungen auf. Das heißt es wurden vorab von unterschiedlichen und unabhängigen Forschungsarbeiten teilweise schon die gleichen Anpassungsbedarfe identifiziert.

2 Arbeitspaket 2: Interdisziplinärer Workshop

Im Rahmen des Workshops (AP2) wurden durch die Rückkopplung mit den Expertinnen und Experten in den fünf Themenbereichen (Normative und politische Vorgaben, Datenaustausch/ Schnittstellen, Software, LCA-Datenbanken, Kommunikation und Bildung) zusätzliche Anpassungsbedarfe zu den in Kapitel 1.5 beschriebenen, identifiziert und priorisiert. Diese wurden in Forschungspotenziale und Themen für die zukünftige und zielführende Antrags- und Auftragsforschung eingeteilt und im weiteren Projektvorgehen in konkrete Handlungsempfehlungen sowie in einen Meilensteinplan überführt werden.

2.1 Durchführung des interdisziplinären Workshops

Der interdisziplinäre Workshop hat am Freitag, den 21.01.2022 online stattgefunden. Neben dem Forschungskonsortium haben insgesamt 35 Expertinnen und Experten aus Forschung, Praxis und Politik teilgenommen. Die Agenda umfasste eine Vorstellung des Projekts mit aktuellen Untersuchungsergebnissen, zwei Impulsvorträge (BBSR, Zentralstelle BIM, LBD Bayern) und zwei Gruppendiskussionen in jeweils fünf Gruppen zu den Themen „Aktueller Stand – Problemanalyse“ und „Handlungsbedarfe und Entwicklungsziele“. Im Vorfeld wurde den Teilnehmenden eine Handreichung zu inhaltlichen Vorbereitung auf den interdisziplinären Workshop zur Verfügung gestellt. Der Impulsvortrag des BBSR war ein Kurzvortrag zu zukünftigen Förderinstrumenten „QNB - Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen im BEG“ (Hr. Nicolas Kerz (BBSR). Hr. August Pries (Zentralstelle BIM, Bayern) hielt einen Kurzvortrag zu Anforderungen und Bedarfen im Bereich BIM-basierte LCA und Nachhaltigkeitsbewertung.

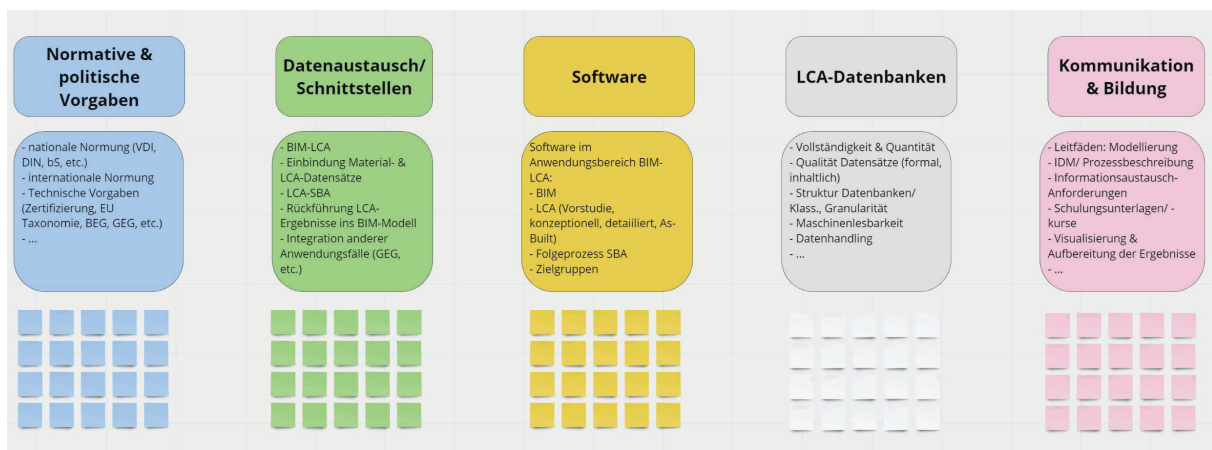
2.1.1 Methodik der Gruppendiskussionen

Inhalt der ersten Gruppendiskussion war die Identifizierung des Status Quo mit den derzeit vorhandenen Qualitäten, Anforderungen und Defiziten das Ziel. Hierzu wurde ein an die SWOT-Methodik angelehntes Vorgehen gewählt und ein entsprechendes online Miro-Board angelegt (siehe Abbildung 8). Die SWOT-Methodik als ein Instrument der strategischen Planung dient der Positionsbestimmung und der Strategieentwicklung über die interne Betrachtung von Stärken und Schwächen und externe Betrachtung von Chancen und Risiken.

Für die Gruppendiskussionen wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer vorab in fünf Gruppen eingeteilt mit der Absicht, dass in jeder Gruppe die verschiedenen Expertisen und somit Perspektiven vorhanden und möglichst gleichmäßig verteilt sind. Die Gruppendiskussionen in den fünf Gruppen fanden in Breakout-Sessions statt und dauerten jeweils 50 Minuten, gefolgt von einer Kurzpräsentation der Ergebnisse im Haupt-Meetingraum.

Wie in der folgenden Abbildung ersichtlich, wurden die vom Projektkonsortium identifizierten Themenfelder mit exemplarischen Handlungsfeldern als Diskussionsgrundlage aufbereitet und mit Blanko-Post-its als Diskussionsbasis zur Verfügung gestellt.

Abbildung 7
Vorbereitete Themenfelder für die Diskussion

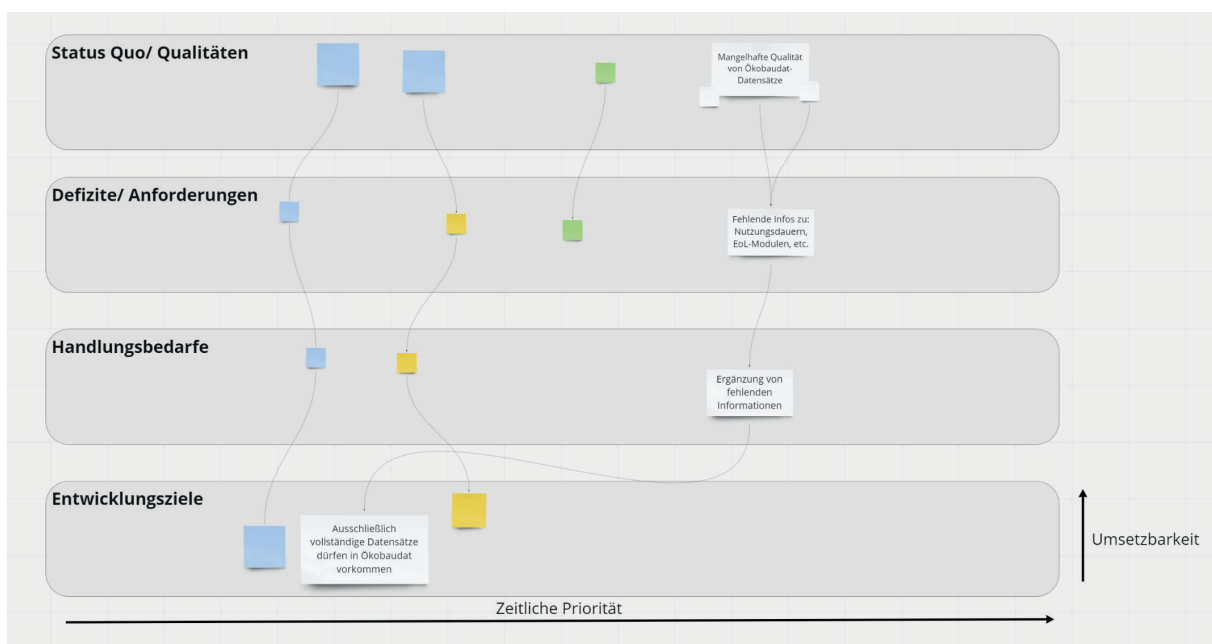


Quelle: Eigene Miro-Board-Umgebung des Workshops

Der fachliche Diskurs der 2. Gruppendiskussion baute auf den Ergebnissen der 1. Gruppendiskussion auf und hatte das Ziel, aus den identifizierten Defiziten und Anforderungen konkrete Handlungsbedarfe Entwicklungsziele abzuleiten.

Das Arbeiten im Miro-Board ermöglicht dabei die Vernetzung der Diskussionsbeiträge im Sinne argumentativer Ketten und logischer Überführungen (siehe folgende Abbildung 8). Das methodische Vorgehen der Gruppendiskussion II baut somit auf das Konzept der Gruppendiskussion 1 auf. Im unteren Feld der Entwicklungsziele können durch die räumliche topologische Anordnung der Beiträge zudem die zeitliche Priorität der Punkte erfasst sowie die Umsetzbarkeit eingeordnet werden.

Abbildung 8
Miro-Board-Konzept



Quelle: Eigene Miro-Board-Umgebung des Workshops

2.2 Dokumentation der Gruppendiskussionen des Workshops

Die Ergebnisse der beiden Diskussionssessions sind im Folgenden je Gruppe zusammengefasst:

2.2.1 Ergebnisse Gruppe 1

Aufgrund der aktuell fehlenden Zielbenchmarks und Anforderungen im Zuge der EU Taxonomie sowie einem fehlendem Überblick internationaler Anforderungen auch in den nächsten Jahren, beinhaltet ein relevanter Handlungsbedarf eine Roadmap für alle Akteure mit vorgegebenen Zieldefinitionen. Dies kann für das Entwicklungsziel einer „vereinfachten“ LCA als Bestandteil der GEG definiert werden.

Dafür wurde als weiterer Handlungsbedarf formuliert, einen zumutbaren Aufwand bzgl. Kosten und Zeit je nach Anwendungsfall zu definieren, bei der jedoch auch weiterhin die Qualität der Ergebnisse vergleichbar bleiben muss. Dadurch soll die erwähnte „vereinfachte“ LCA in die breite Anwendung gebracht werden und auch u.a. von Energieberatern durchgeführt werden.

In diesem Zuge soll auf eine Harmonisierung der Informationsanforderungen geachtet werden, sodass es einen ganzheitlichen Ansatz für verschiedene Anwendungsfälle der Nachhaltigkeit (Recycling, LCA, Bauphysik) gibt. Als Voraussetzung dafür wurden vorab digitale Produktinformationen in Form von EPDs und weiteren Schnittstellen zu Schadstoffen und Recyclingfähigkeit gefordert. Bei einer Anbindung an die BIM-Methodik gilt es diese Daten vorab einheitlich zu klassifizieren und eine Verknüpfung mit dem BIM-Modell zu schaffen, v.a. auch durch generische Objekte für die frühen Planungsphasen.

Zusätzlich dazu gilt es die aktuellen Datenbanken, insbesondere die Ökobaudat, fortzuschreiben und sinnvoll zu ergänzen. Vor allem im Bereich der TGA (KG 400) stehen aktuell noch keine ausreichenden Datensätze zur Verfügung, wobei eine Analyse im Impulsvortrag die Bedeutung einer detaillierten Betrachtung gezeigt hat. Um bereits in den frühen Phasen auch erste Abschätzungen vornehmen zu können, soll hierfür ein Verfahren mithilfe von „Sockelbeiträgen“ entwickelt werden. Das IBU entwickelt bereits verstärkt TGA-Produktdatensätze, wodurch eine detaillierte Berechnung in späten Phasen auch ermöglicht wird.

Weiterhin wurden dynamische LCA-Zukunftsdatensätze (bspw. für Energieträger), nachvollziehbare Versionierung und die Verlinkung/ Verknüpfung zu weiteren Datenbanken (Wärmeleitfähigkeit, realistische Nutzungsdauern, etc.) als weitere Defizite der aktuellen Ökobaudat identifiziert. Eine standardisierte und zertifizierte Datenqualität soll dabei eine Vergleichbarkeit von LCA-Daten für Bauprodukte gewährleisten. Als Bedarf wurde hierfür eine Abstimmung bzw. Runder Tisch zur Weiterentwicklung hin zu einer „Ökobaudat 2.0“ nach Vorbild der Gütegemeinschaft 18599 diskutiert und seitens des BBSR in Aussicht gestellt. Hierbei soll verstärkt die Anwendersicht aus der BIM-Praxis Berücksichtigung finden sowie über die aktuellen Weiterentwicklungen und Updates informiert werden.

Schließlich wurde auch bemängelt, dass aktuell Ökobilanzierungen nur mithilfe von Expertenwissen durchgeführt werden können. Daher sollen Weiterbildungsangebote, u.a. auch für EnergieberaterInnen & PlanerInnen, geschaffen und standardisiert werden. Aber auch einheitliche (grafische) Kommunikationsformate für LCA-Ergebnisse (vergleichbar mit dem Gebäudeenergieausweis) und eine Informationsplattform für Entscheidungsträger wurden angeregt.

2.2.2 Ergebnisse Gruppe 2

Es wurde festgestellt, dass in Bezug auf die vorgestellten Workflows eine Kombination von Workflow 3 und 5 das größte Zukunftspotenzial besitzt.

Auch wenn noch zu klären ist, wie sichergestellt wird, dass Softwarehersteller die richtigen Bezüge/Verknüpfungen zu Ökobilanzdatensätzen herstellen, überwiegen die Vorteile bei der Kombination der beiden Workflows. Das liegt daran, dass bei der Modellierung keine neuen Anforderungen entstehen und vorfertige BIM Objekte/Templates aus den BIM-Softwarebibliotheken sowie BIM Objektdatenbanken genutzt werden können. Innerhalb dieser kann bereits eine Verknüpfung oder ein Verweis auf einen Ökobilanzdatensatz hinterlegt werden, sodass im Anschluss für den Ökobilanzier eine richtige Zuordnung bereits vorliegt. Damit lassen sich große Automatisierungsvorteile generieren, da keine erneuerte Zuordnung durch den Ökobilanzier vorgenommen werden muss.

In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll IDs von Ökobilanzdaten in BIM-Objekten zu integrieren. Dadurch werden im Rahmen des linked data Ansatzes nur Informationen verlinkt und nicht vollständig integriert. Das vermeidet Informationsverluste beim Datenaustausch und sichert ein einfacheres Handling der BIM-Modelle.

In Zukunft können dadurch, technisch gesehen, Live-Ökobilanzen bzw. ein dynamisches Echtzeit Feedback zu den Umweltwirkungen möglich sein. Das heißt mit einer Änderung im BIM Modell sollten sofort die Änderungen in der Ökobilanz ersichtlich sein.

Hersteller sind daher gefordert ihre BIM Objekte mit generischen/produktspezifischen Ökobilanzdaten zu verknüpfen.

Diesbezüglich wurde eine große Notwendigkeit für Herstellertemplates erkannt. Viele Hersteller wollen bereits hier aktiv werden, wissen nur nicht wie Sie ihre Daten zu Produkten aufbereiten und transparent (zusätzlich zu Ökobilanzinformationen) digital bereitstellen sollen. Das bedeutet, es müssen für Hersteller Vorlagen geboten werden. Andernfalls sehen die Experten die Gefahr, dass jeder Hersteller einen unterschiedlichen Weg wählt. In diesem Zusammenhang werden IFC Universal types oder auch die VDI 3805 für den standardisierten elektronischen Datenaustausch von Produktinformationen genannt.

Zudem wird daraus hingewiesen, dass sich neue Workflows bei dem Thema BIM&LCA auch gut in bestehend Workflows (des Architekten) integrieren lassen müssen. Wenn hier die Hemmnisse zu hoch sind, wird eine praxistaugliche Anwendung erschwert.

Aus Sicht der Praxis/Planer bedeutet das Thema aktuell einen hohen Aufwand zur Implementierung, der kaum vergütet wird.

Es wird zudem noch einmal die veralteten Psets_EnvironmentalImpactIndicators und Values verwiesen, die überarbeitet und an die DIN EN 15804 angepasst werden müssen. Hier gibt es erste Bemühungen über eine Arbeitsgruppe bei buildingSMART International.

Im Bereich der TGA wird eine mangelnde Datensatzqualität und -quantität identifiziert. Beispielsweise erschweren Bilddateien zur Umrechnung von verschiedenen Ausführungsgrößen von Lüftungskanälen und Rohren die Maschinenlesbarkeit. Des Weiteren wird ein fehlender Anreiz der TGA Hersteller für produktspezifische Ökobilanzdaten identifiziert. Dieser hängt u.a. damit zusammen, dass die LCA Berechnungsregeln nach BNB/DGNB keine Anreize setzen, um eine detaillierte Berechnung der TGA in der LCA zu berücksichtigen. Es werden weiterhin vereinfacht mit einem Faktor von 1,2 die TGA Umweltwirkungen pauschal zur Baukonstruktion aufgeschlagen. Dieser Faktor ist als deutlich zu niedrig anzusehen. So wird für die Praxis eine sehr einfache

Möglichkeit geboten die TGA schnell und einfach abzubilden, die eine detaillierte Berechnung nicht lohnenswert macht.

Für die Anwendung des LCA in frühen Phasen werden LCA-benchmarks auf Gebäude- und Bauteileebene benötigt. Hier reicht die bisherige ÖKOBAUDAT Materialebene noch nicht aus. Ebenfalls ist es wichtig Zielbezüge zu übergeordneten Klimaschutzzielen herzustellen, damit zukünftig nicht nur anhand von bottom-up LCA-Benchmarks (basierend auf statischen Auswertungen) eine Einordnung über die ökologische Qualität des Gebäudes getroffen wird. Eine Kombination mit top-down LCA-Benchmarks ist von großer Bedeutung, um in Einklang der Klimaschutzziele zu stehen.

Als weitere wichtige Themen werden die Kommunikation und Visualisierungspotenziale durch BIM Modelle für die LCA Ergebnisse diskutiert. Hier lassen sich intuitive Darstellungen direkt im digitalen Gebäudemodell herstellen und anhand von Ampelfarben visualisieren. Dies ist wichtig, denn der beste und einfachste Workflow wird kaum von Nutzen sein, wenn Entscheidungsträger nicht die richtigen Entscheidungshilfen aus der LCA Berechnung/Ergebnisse verstehen können.

Zudem gilt es alle Akteure der Bau- und Immobilienbranche mehr für die Themen Umweltwirkungen, Fokus auf die materialgebundenen CO₂-Emissionen und den aus dem Gebäudebetrieb entstehenden Emissionen zu sensibilisieren und Bewusstsein zu schaffen. Es müssen daher Aus- und Weiterbildungsangebote nicht nur für Studierende geschaffen werden, sondern auch für die derzeit in der Praxis aktiven Akteure.

2.2.3 Ergebnisse Gruppe 3

Bezüglich der Chancen wurde positiv hervorgehoben, dass gute methodische Grundlagen existieren auf denen die anstehenden Herausforderungen einer verstärkten Einbindung von Nachhaltigkeitsaspekten beim „Fördern und Fordern“ im Bauwesen fundiert angegangen werden können. Neben den fachlich weit entwickelten Informationsgrundlagen, wie der Fachdatenbank Ökobau.dat, sind dies beispielsweise für den fachlich der LCA zugrundeliegenden Bereich energetischer Bilanzen mit der Gütegemeinschaft 18599 auch Blaupausen einer selbstorganisierten Qualitätssicherung durch die Hersteller entsprechender IT-gestützten Werkzeuge. Als zentrales Handlungsfeld stellte sich in der Diskussion die derzeit auf förder- und ordnungsrechtlicher Seite laufende Weiterentwicklung des bestehenden Instrumentariums zur besseren Integration des Themenfeldes der Nachhaltigkeit heraus. Neben den daraus resultierenden methodischen (bspw. vereinfachte LCA, Anwendung im Sanierungsfall, usw.) sowie technischen (Vereinheitlichung Datengrundlage und Qualitätssicherung einer IT-gestützten Umsetzung der Berechnungslogik für die akkreditierten Bewertungssysteme) Herausforderungen zeichnen sich bereits weitere Herausforderungen auf einer übergeordneten (nachgelagerten) Zielebene für die bewerteten Bauwerksdaten ab, wie beispielsweise ausgehend von den EU-Vorgaben bezüglich dem im ESG Rahmen adressierten Finanzwesen.

Prinzipiell scheint es hier darum zu gehen die einzelnen Entwicklungen auf einander abzustimmen und ein auseinanderlaufen der parallel auf verschiedenen Detaillierungsgraden ansetzenden Ansätze, Systeme und Werkzeuge auf der Anwendungsebene einer bereits konsolidierten normbasierten Grundlage (vgl. ISO 14er Normenreihe) zu vermeiden.

Als wichtige kurzfristige Zielstellung wurde daher erachtet einen verstärkten Abgleich zu den einzelnen, in den Fachdisziplinen existierenden Methoden und Systeme bzw. IT-gestützten Werkzeuge herzustellen. Neben der Einbindung von Gremien, Systemanbietern bzw. Herstellern in einen Konsolidierungsprozess sollten zum Beispiel auch die anwendenden Fachexperten über das in die Pflicht nehmen ihrer entsprechenden Interessensvertretungen (Verbände, Architektenkammern, usw.) am Austausch und der Kommunikation zu den Entwicklungen teilnehmen können. Mittelfristig erscheint das Folgen des Beispiels einer gelungenen Umsetzung, wie beispielsweise im energetischen Ordnungsrecht mit ihrer „Quasi-Mandatierung“ der Software-Qualitätssicherung im Rahmen einer Gütegemeinschaft zielführend. Wichtig dabei erscheint auch von der im Zu-

sammenspiel zwischen der vorgebenden Seite der Öffentlichen Hand und der die Werkzeuge umsetzenden Gütegemeinschaft erprobten Rückkopplung zu Lernen. So können bereits in der Entwicklung der Nachweisverfahren durch Abstimmung mit den Werkzeugherstellern (und somit auch indirekt mit deren Produktanwendenden) wichtige praxisrelevante Aspekte beleuchtet werden, wie beispielsweise aufwandsreduzierte, vereinfachte Verfahren für kleine Wohngebäude, die dennoch hohen Qualitätsanforderungen genügen. In die Lösung dieser technischen Herausforderungen sollte zudem stets, ganz im Sinne eines nachhaltigen Bauens, mit einem ganzheitlichen Blick versucht werden auch (scheinbar) randständige Aspekte mit einzubeziehen, wie beispielsweise der Frage nachgehend wie eine sozialverträgliche Umsetzung gelingen kann.

2.2.4 Ergebnisse Gruppe 4

Für den Status Quo wurde die herausragende Stellung der Ökobau.dat sowie des BNB als Rahmenwerk der Nachhaltigkeitsbewertung positiv herausgehoben. Gleichzeitig ist die LCA aktuell eine reine Nischenanwendung charakterisiert, da die Komplexität und die fehlende Automatisierung/BIM-Anbindung sowie der nicht klar erkennbare Kosten-Nutzen-Mehrwert eine breite Anwendung verhindern. Grundsätzlich ergaben sich in allen Themenfeldern klar erkennbare und miteinander verzahnte Defizite. Die aus den Defiziten abgeleiteten Handlungsbedarfe lassen sich in drei Entwicklungsstränge zusammenfassen.

- 1) Rahmensetzung des Gesetzgebers zur Kanalisierung des Bedarfs
- 2) Digitalisierung und Automatisierung sowie Vereinfachung zur Reduzierung von Aufwand und Einstiegshürden
- 3) Institutionalisierung der Anwenderinnen und Anwender sowie Expertinnen und Experten für Datenbanken und Qualitätskontrolle

Ein zentraler Handlungsbedarf wurde in der Positionierung des Gesetzgebers identifiziert, die durch Förderung und Ordnungsrecht sowohl die Dynamik des Bewertungsgeschehens als auch im Kern die Breite und Tiefe der LCA-Anwendungen stark beeinflusst. Zusätzlich können methodische Innovationen (dynamische und parametrische Basisdaten, vereinfachte benchmarkbasierte LCA, Systematisierung bei der Bewertung im Bestand) nur über eine Einbindung in Ökobau.dat oder methodischen Anforderungen für QNG/BNB o.ä. breitenwirksam eingeführt werden.

Gleichzeitig wurde insgesamt ein erheblicher Verbesserungsbedarf bei Digitalisierung und Automatisierung der LCA identifiziert. Insbesondere bezüglich Maschinenlesbarkeit der Daten und Standardisierung der Schnittstellen (MVD, IDM,...) wurden als Grundlage einer (teil-)automatisierten LCA identifiziert. Auch ein verbesserter und vereinfachter EPD-Erstellungsprozess für KMU sowie ein systematischer Validierungsprozess von Daten und Tools wurden erwähnt. Für zeitnahe Umsetzung wurde die LCA als Expertenwerkzeug mit nur teilweiser Rückkopplung zum Architekturmodell in Analogie zu anderen Expertensystemen als kurzfristiges Entwicklungsziel vorgeschlagen.

Für die Etablierung einer breiteren Datenbasis wurde vorgeschlagen, sich an STL Bau und BKI zu orientieren und einen communitybasierten Prozess zu etablieren. Dieser könnte neben der Datenverfügbarkeit auch weitere notwendige Aktivitäten von Benchmark-entwicklung, Methodischen Fragestellungen sowie deren Prüfung bis hin zur Entwicklung eines LCA-Rechenkerns in Analogie zur 18599 umfassen.

Insgesamt sollten die Maßnahmen dem übergeordneten Ziel einer möglichst breiten, aber methodisch fundierten Anwendung der LCA mit dem Ziel der Reduzierung der Umweltwirkungen im Gebäudebestand dienen.

2.2.5 Ergebnisse Gruppe 5

Die hier identifizierten Handlungsbedarfe fokussieren zum einen auf das Thema der LCA-Daten bzw. der hierzu zu ergänzenden EPD-Datenbanken, wie ÖKOBAUDAT. Speziell wurden Defizite im Bereich von Daten zur TGA und für Composit-Baustoffe festgestellt und die Erweiterung von Datensätzen zu diesen TGA-Elementen als kurzfristige Entwicklungsziele identifiziert. Dabei wurde die Einbindung projizierter Daten (bspw. zum zukünftigen Strommix oder zukünftigen technischen Neuerungen in der TGA) und die Abbildung der damit einhergehenden Dynamik der Daten bspw. über parametrische Abbildungsansätze als wichtige Punkte – bspw. für das Modul B4- erkannt wie auch der Bedarf an regelmäßigen Updates der Datensätze. Auch sollten Szenarien für das Baustoffrecycling oder den ReUse von Bauteilen integriert und die Berücksichtigung dieser Aspekte bei der Nachhaltigkeitsbewertung durch entsprechende Boni ermöglicht werden (Problem: bei der LCA-Bilanzierung schneiden leider derzeit Strategien zur thermischen Verwertung aufgrund des unvollständigen Betrachtungsspektrums oft besser ab als das Recycling).

Auch das Thema der Bilanzierung in frühen Planungsphasen wurde als wichtiges Handlungsfeld erkannt. Zum einen Bedarf es dazu die Entwicklung entsprechender Benchmark-Konzepte, die sowohl Bottom-Up wie auch TOP-Down-Strategien mit Bezug zu übergeordneten Wirkungsebenen und Zielpfaden (1,5 Grad-Ziel, CO₂ Reduktion) berücksichtigen. Basis einer solchen frühzeitigen Anwendung von Bilanzierungsmethoden ist aber auch das Vorhandensein geeigneter Benchmark-basierter Datensätze. Auch die Harmonisierung der Datensätze über Ländergrenzen hinweg stellt ein konkretes Entwicklungsziel dar.

Auch auf struktureller Ebene wurden Handlungsbedarfe in Bezug auf Daten identifiziert. Konkrete Entwicklungsziele sind die Erarbeitung einer konsistenten und generalisierten Klassifizierung der Datensätze und deren Umsetzung in Rahmen normativer Vorgaben. Auch detailliertere regulatorische Vorgaben zu Granularität von Daten (z. B. Szenarien) sind erforderlich.

Auf technischer Ebene wurde die Erarbeitung von Lösungen zur Langzeitdatenhaltung und Archivierung als Handlungsziel identifiziert.

Diese Entwicklungen hin zu erweiterten Datensätzen hat aber auch Implikationen für die Anwendung in der Praxis. Neben der Einbindung dieser Neuerungen in die Normierung / Standardisierung bedarf es auch einer Weiterentwicklung von (BIM-) Werkzeugen mit geeignetem vorbemustertem Content sowie Funktionalitäten, mit denen sich auch Anwender selbst Bibliotheken mit Bauteilbeschreibungen und Bemusterungen zusammenstellen können (am besten mit Referenzen auf EPD-DBS). Zur besseren Breitenwirkung sind aber auch Schulungsunterlagen zur Anwendung und Nutzung der Datensätze, Kataloge und Werkzeuge erforderlich.

Auch die Rückführung der Bilanzierungsergebnisse in den Planungsprozess wurde als wichtig erkannt. Hier wurde die Notwendigkeit zur Entwicklung von Auswertungs- und Darstellungsschemata für eine gute Vergleichbarkeit von bewerteten Alternativen als Entwicklungsziel diskutiert.

In Bezug auf das Thema Zertifizierung wurde die Notwendigkeit einer Überführung des Neubauzertifikats hin zu einer Bestandsbewertung diskutiert.

Diese Diskussionsergebnisse wurden im Rahmen von AP3 reflektiert, inhaltlich aufbereitet und thematisch strukturiert im Rahmen des Handlungsplanes dokumentiert.

2.2.6 Fazit der Diskussionsergebnisse

In den Diskussionsrunden wurde in allen fünf Gruppen das Thema der Bilanzierung in frühen Planungsphasen als wichtiges Handlungsfeld erkannt. Für den Status Quo wurde die herausragende Stellung der Ökobaudat sowie das BNB als Rahmenwerk der Nachhaltigkeitsbewertung positiv herausgehoben. Gleichzeitig wurde die LCA aktuell eine reine Nischenanwendung charakterisiert, da die Komplexität und die fehlende Automatisierung/BIM-Anbindung sowie der nicht klar erkennbare Kosten-Nutzen-Mehrwert eine breite Anwendung verhindern.

Zum einen Bedarf es dazu die Entwicklung entsprechender Benchmark-Konzepte, die sowohl Bottom-Up wie auch TOP-Down-Strategien mit Bezug zu übergeordneten Wirkungsebenen und Zielpfaden (1,5 Grad-Ziel, CO₂ Reduktion) berücksichtigen. Auch die Harmonisierung der Datensätze über Ländergrenzen hinweg stellt ein konkretes Entwicklungsziel dar. Auch detailliertere regulatorische Vorgaben zu Granularität von Daten (z. B. Szenarien) seien erforderlich. Zusätzlich dazu gilt es die aktuellen Datenbanken, insbesondere die Ökobaudat, fortzuschreiben und sinnvoll zu ergänzen. Vor allem im Bereich der TGA (KG 400) stehen aktuell noch keine ausreichenden Datensätze zur Verfügung, wobei eine Analyse im Impulsvortrag die Bedeutung einer detaillierten Betrachtung gezeigt hat. Damit einhergehend wird ein fehlender Anreiz der TGA Hersteller für produktspezifische Ökobilanzdaten identifiziert. Dieser hängt u.a. damit zusammen, dass die LCA Berechnungsregeln nach BNB/DGNB keine Anreize setzen, um eine detaillierte Berechnung der TGA in der LCA zu berücksichtigen. Es werden weiterhin vereinfacht mit einem Faktor von 1,2 die TGA Umweltwirkungen pauschal zur Baukonstruktion aufgeschlagen. Dieser Faktor ist als deutlich zu niedrig anzusehen. So würde für die Praxis eine sehr einfache Möglichkeit geboten die TGA schnell und einfach abzubilden, die eine detaillierte Berechnung nicht lohnenswert macht.

Als weiterer Bedarf wurde dazu eine Abstimmung bzw. Runder Tisch zur Weiterentwicklung hin zu einer „Ökobaudat 2.0“ nach Vorbild der Gütegemeinschaft 18599 diskutiert und seitens des BBSR in Aussicht gestellt. Hierbei soll verstärkt die Anwendersicht aus der BIM-Praxis Berücksichtigung finden sowie über die aktuellen Weiterentwicklungen und Updates informiert werden. Aber auch einheitliche (grafische) Kommunikationsformate für LCA-Ergebnisse (vergleichbar mit dem Gebäudeenergieausweis) und eine Informationsplattform für Entscheidungsträger wurden angeregt.

Damit bei der Modellierung keine neuen Anforderungen entstehen und vorfertige BIM Objekte/Templates aus den BIM-Softwarebibliotheken sowie BIM Objektdatenbanken genutzt werden können wurde diskutiert, dass bereits eine Verknüpfung oder ein Verweis auf einen Ökobilanzdatensatz hinterlegt werden könnte, sodass im Anschluss für die Ökobilanzierer eine richtige Zuordnung bereits vorliegt. Damit ließen sich große Automatisierungsvorteile generieren. In Zukunft könnten dadurch, technisch gesehen, Live-Ökobilanzen bzw. ein dynamisches Echtzeit Feedback zu den Umweltwirkungen möglich sein. Auch die Rückführung der Bilanzierungsergebnisse in den Planungsprozess wurde hierbei als wichtig erkannt. Zudem wurde die Notwendigkeit zur Entwicklung von Auswertungs- und Darstellungsschemata für eine gute Vergleichbarkeit von bewerteten Alternativen als Entwicklungsziel diskutiert.

Allgemein gilt es alle Akteure der Bau- und Immobilienbranche mehr für die Themen Umweltwirkungen, Fokus auf die materialgebundenen CO₂-Emissionen und den aus dem Gebäudebetrieb entstehenden Emissionen zu sensibilisieren und Bewusstsein zu schaffen. Es müssen daher Aus- und Weiterbildungsangebote nicht nur für Studierende geschaffen werden, sondern auch für die derzeit in der Praxis aktiven Akteure. In den nächsten Schritten werden die Workshop-Ergebnisse ausgearbeitet, um eine Anpassung und Schärfung der Handlungsempfehlungen ermöglichen zu können. Betrachtet werden hier unter anderem Normative und politische Vorgaben, Datenaustausch / Schnittstellen, Software, LCA-Datenbanken, Kommunikation und Bildung.

3 Arbeitspaket 3: Meilensteinplan mit Handlungsempfehlungen

Die gewonnenen Ergebnisse der Forschungsstandanalyse aus Arbeitspaket 1 sowie die Ergebnisse des interdisziplinären Expertenworkshops wurden in eine Übersichtsmatrix sowie in einen ganzheitlichen Meilensteinplan mit Handlungsempfehlungen und notwendigen Forschungsbausteinen zur zielführenden Verknüpfung der Lebenszyklusanalyse (Gebäudeökobilanzierung) und BIM-Planungsprozessen überführt. Die beigefügte Excel Datei beinhaltet diese Ausarbeitung. Zudem wurde zur zweckmäßigsten Übersicht der empfohlenen Maßnahmen die ebenso beigefügte Visualisierung erstellt (Anhang A).

In dieser Dokumentation liegt eine Identifizierung und Priorisierung der wichtigsten Anpassungsbedarfe für zukünftige Einsatzmöglichkeiten der BIM-integrierten Gebäudeökobilanz vor. Zur weiteren Aufschlüsselung der Anpassungsbedarfe sind Maßnahmen formuliert, die für eine praxisgeeignete Anwendung des LCA mit BIM notwendig sind. Dabei wird zunächst der Anpassungsbedarf beschrieben. Es folgt eine grobe Identifizierung der Handlungsebenen bzw. Akteurinnen und Akteure, bei denen vorgeschlagen wird den Anpassungsbedarf zu platzieren bzw. die Maßnahme umzusetzen. Mit einer Einordnung zum Zeitpunkt (bis 2 Jahre, 2 bis 5 Jahre, 5 bis 10 Jahre) wird die Relevanz der Maßnahme herausgestellt (niedrig, mittel, hoch). Hierbei wird insbesondere die Meinung der Expertinnen und Experten des interdisziplinären Workshops zu berücksichtigt. Dadurch können die Maßnahmen innerhalb einer zeitlichen Einordnung strukturiert und priorisiert werden. Zu der zielführenden Umsetzung gehört ebenfalls, dass neben den Handlungsebenen bzw. -akteuren abgeschätzt wird, wie hoch dabei der Aufwand der Anpassung bzw. Maßnahme als zeitliche und finanzielle Ressource ist (gering, mittel, hoch). Die Abgrenzung der Einordnung „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ bezüglich der Relevanz und „gering“, „mittel“ und „hoch“ bezüglich der Aufwandsabschätzung ergeben sich aus der Gesamtkorrelation der Einteilungsbereiche zueinander. Zusätzlich wird eine genauere Aufwandsbeschreibung mit zusätzlichen Hintergrunderläuterungen aufgeführt.

4 Fazit

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts zeigen, dass die Verknüpfung von BIM mit der Ökobilanzierung neue Anforderungen an viele verschiedene Akteure in unterschiedlichen Bereichen der Bau- und Immobilienbranche betrifft. Damit in Zukunft eine robustere Integration von BIM und Ökobilanzierung gelingen kann, bedarf es einer ganzheitlichen und umfassenden Strategie und Roadmap, welche heutige Aktivitäten und den Status Quo in diesem (Forschungs-)Bereich zusammenführt und alle relevanten Stakeholderperspektiven einbezieht. Um eine geordnete und realistische Vorgehensweise bei der Umsetzung zu ermöglichen, wurden die Maßnahmen in Handlungsebenen untergeteilt und weiter hinsichtlich Relevanz, Aufwand und Zeithorizont klassifiziert. Des Weiteren wurden die Synergien und Kausalitäten der Maßnahmen aufgezeigt, da die Akteure/Handlungsebenen häufig nicht untereinander vernetzt sind. Meist erfordert es für die erfolgreiche Umsetzung einer Maßnahme mehr als nur einen Akteur. Anhand der Ergebnisse des Forschungsprojekts können die erarbeiteten Maßnahmen über weitere Auftrags- und Antragsforschung eingeleitet und strukturiert umgesetzt werden. Dies dient als Grundlage, um in Zukunft ganzheitliche Ökobilanzierungen mithilfe der BIM-Methodik zielführend in die Breite der Praxis zu bringen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	
Übersicht der involvierten Lösungen aus Forschung und Praxis	10
Abbildung 2	
Unterteilung der Anwendungsfälle für die Ökobilanz von Gebäuden	13
Abbildung 3	
Vergleichsübersicht zur Einordnung der untersuchten Arbeiten hinsichtlich der definierten Anwendungsfälle	15
Abbildung 4	
Strategien zur LCA-Integration in BIM, nach L. Wastiels und R. Decuypere	16
Abbildung 5	
Strategien zur LCA-Integration in BIM, nach L. Wastiels und R. Decuypere	18
Abbildung 6	
Analyseergebnisse von Obrecht et al. zur Anwendung eines BIM&LCA Verknüpfungsansatz, basierend auf 60 ausgewerteten Forschungsarbeiten	19
Abbildung 7	
Vorbereitete Themenfelder für die Diskussion	33
Abbildung 8	
Miro-Board-Konzept zur Überführung der identifizierten Anforderungen und Defizite in Handlungsbedarfe und Entwicklungsziele	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	
Definition von Bewertungskriterien	20
Tabelle 2	
Übersicht zur Bewertung von Workflow 1	21
Tabelle 3	
Übersicht zur Bewertung von Workflow 2	22
Tabelle 4	
Übersicht zur Bewertung von Workflow 3	23
Tabelle 5	
Übersicht zur Bewertung von Workflow 4	24
Tabelle 6	
Übersicht zur Bewertung von Workflow 5	25
Tabelle 7	
Bewertung und Vergleich der Workflows	26

Literatur

- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., 2021: DGNB System - Marktversion 2018 (8. Auflage). Kriterienkatalog Gebäude Neubau. Zugriff: <https://www.dgnb-system.de/de/system/version2018/index.php> [abgerufen am 20.02.2022].
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., 2022: DGNB Auszeichnung „Klimapositiv“. Zugriff: <https://www.dgnb-system.de/de/gebaeude/im-betrieb/auszeichnung-klimapositiv/> [abgerufen am 03.04.2022].
- Di Bari, R.; Jorgji, O.; Horn, R.; Gantner, J.; Ebertshäuser, S., 2019: Step-by-step implementation of BIM-LCA. A case study analysis associating defined construction phases with their respective environmental impacts. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 323. Jg., S. 12105.
- Diaz, J.; Alvarez-Anton, L.; Reitschmidt, G., 2016: Integrating BIM and LCA. Comparison of Different Approaches for the Integration of Lifecycle Information in a Digital Planning Process.
- Forth, K., 2018: BIM-integrierte Ökobilanzierung. Masterthesis. München, Technische Universität München, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation.
- Gantner, J.; Both, P. von; Rexroth, K.; Ebertshäuser, S.; Horn, R.; Jorgji, O.; Schmid, C.; Fischer, M., 2018: Ökobilanz - Integration in den Entwurfsprozess. Bauphysik, 40. Jg. (5), S. 286–297.
- Gantner, J.; Lenz, K.; Horn, R.; Both, P. von; Ebertshäuser, S., 2018: Ökobau.dat 3.0–Quo Vadis? Buildings, 8. Jg. (9), S. 129. Zugriff: <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/9/129/pdf> [abgerufen am 22.02.2022].
- Global Alliance for Buildings and Construction, 2020: 2020 Global Status Report for Buildings and Construction. Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector [abgerufen am 21.01.2021].
- Harter, H.; Schneider-Marin, P.; Lang, W., 2018: The Energy Grey Zone – Uncertainty in Embedded Energy and Greenhouse Gas Emissions Assessment of Buildings in Early Design Phases. In: Life Cycle Analysis and Assessment in Civil Engineering. Towards an Integrated Vision: Proceedings of the Sixth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2018), 28-31 October 2018, Ghent, Belgium, S. 461–468.
- Höper, J., 2020: Development of a method for the automation of whole building Life Cycle Assessment using the Building Information Modeling method. Masterthesis. Köln, Technische Hochschule Köln.
- Kiamili, C.; Hollberg, A.; Habert, G., 2020: Detailed Assessment of Embodied Carbon of HVAC Systems for a New Office Building Based on BIM. Sustainability, 12. Jg. (8), S. 3372.
- Lambertz, M.; Theißen, S.; Höper, J.; Wimmer, R., 2019: Importance of building services in ecological building assessments, 111. Jg., S. 3061.
- Lambertz, M.; Theißen, S.; Höper, J.; Wimmer, R.; Meins-Becker, A.; Zibell, M., 2019: Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen. Endbericht.

Lambertz, M.; Wimmer, R.; Theißen, S.; Höper, J.; Meins-Becker, A.; Zibell, M., 2020: Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen. Endbericht. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2019/oekobilanz-bim/01-start.html?nn=436654>, Zukunft Bau (10.08.17.7-18.29) [abgerufen am 24.04.2020].

Meex, E.; Hollberg, A.; Knapen, E.; Hildebrand, L.; Verbeeck, G., 2018: Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. *Building and Environment*, 133. Jg., S. 228–236.

Naneva, A., 2019: The Potential of Digitalization for Sustainability: A Building Process Perspective. Masterthesis. Zürich, ETH Zurich.

Pohl, S., 2014: Analyse der Rechenverfahren für die Ökobilanzierung im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB). Gegenüberstellung von detailliertem und vereinfachtem Rechenverfahren. Abschlussbericht. Forschungsinitiative ZukunftBau, Band F 2911. Stuttgart.

Potrc Obrecht, T.; Röck, M.; Hoxha, E.; Passer, A., 2020: BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 12. Jg. (14), S. 5534.

RICS – Royal Institution of Chartered Surveyors, 2017: Whole Life Carbon Assessment for the Built Environment, 1st edition. Zugriff: <https://www.rics.org/globalassets/rics-website/media/upholding-professional-standards/sector-standards/building-surveying/whole-life-carbon-assessment-for-the-built-environment-1st-edition-rics.pdf> [abgerufen am 30.04.2020].

Santos, R.; Costa, A. A.; Silvestre, J. D.; Vandenberg, T.; Pyl, L., 2020: BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe. *Building and Environment*, 169. Jg., S. 106568.

Scheljagin, V., 2016: Die Bewertung emissionsbedingter Umweltwirkungen und des Ressourcenverbrauchs durch die Ökobilanz unter besonderer Berücksichtigung unterstützender EDV – Programme. Masterthesis, Hochschule Ostwestfalen-Lippe.

Schumacher, R.; Theißen, S.; Höper, J.; Drzymalla, J.; Hollberg, A.; Forth, K.; Schneider-Marin, P.; Wimmer, R.; Meins-Becker, A.; Lambertz, M., 2021: Analysis of current practice and future potentials of LCA in a BIM-based design process in Germany. In: The 10th International Conference on Life Cycle Management. 5th – 8th September 2021 as a virtual conference

Skoko, O. B., 2018: Evaluation of different Whole Building Life Cycle Assessment calculations on the basis of the VDI standard building. A comparison of the three LCA software applications eLCA, One-Click-LCA and Ökobilanz-bau. Bachelorthesis. Cologne, University of Applied Sciences.

Theißen, S.; Höper, J.; Drzymalla, J.; Wimmer, R.; Markova, S.; Meins-Becker, A.; Lambertz, M., 2020: Using Open BIM and IFC to Enable a Comprehensive Consideration of Building Services within a Whole-Building LCA. *Sustainability*, 12. Jg. (14), S. 5644.

Theißen, S.; Höper, J.; Wimmer, R.; Meins-Becker, A.; Lambertz, M., 2020: Suggestions for the Technical Integration of Life Cycle Assessment Data Sets of ÖKOBAUDAT into Building Information Modeling and Industry Foundation Classes. In: Albrecht, Stefan; Fischer, Matthias; Leistner, Philip; Schebek, Liselotte (Hrsg.): Progress in Life Cycle Assessment 2019. [S.l.], S. 113–128.

Theißen, S.; Höper, J.; Wimmer, R.; Zibell, M.; Meins-Becker, A.; Rössig, S.; Goitowski, S.; Lambertz, M., 2020: BIM integrated automation of whole building life cycle assessment using German LCA data base ÖKOBAU-DAT and Industry Foundation Classes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 588. Jg., S. 32025.

Tsikos, M.; Nagendahl, K., 2017: Sustainable Design with Respect to LCA Using Parametric Design and BIM Tools. World Sustainable Built Environment Conference 2017. Zugriff: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/133787517/Sustainable_Design_with_Respect_to_LCA_Using_Parametric_Design_and_BIM_Tools.pdf [abgerufen am 22.10.2021].

Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Fachbereich Bautechnik, 2020: VDI 2552 Blatt 1: Building Information Modeling - Grundlagen. Zugriff: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2552-blatt-1-building-information-modeling-grundlagen> [abgerufen am 03.04.2022].

Wastiels, L.; Decuypere, R., 2019: Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 323. Jg., S. 12101.

Anhang

Anhang

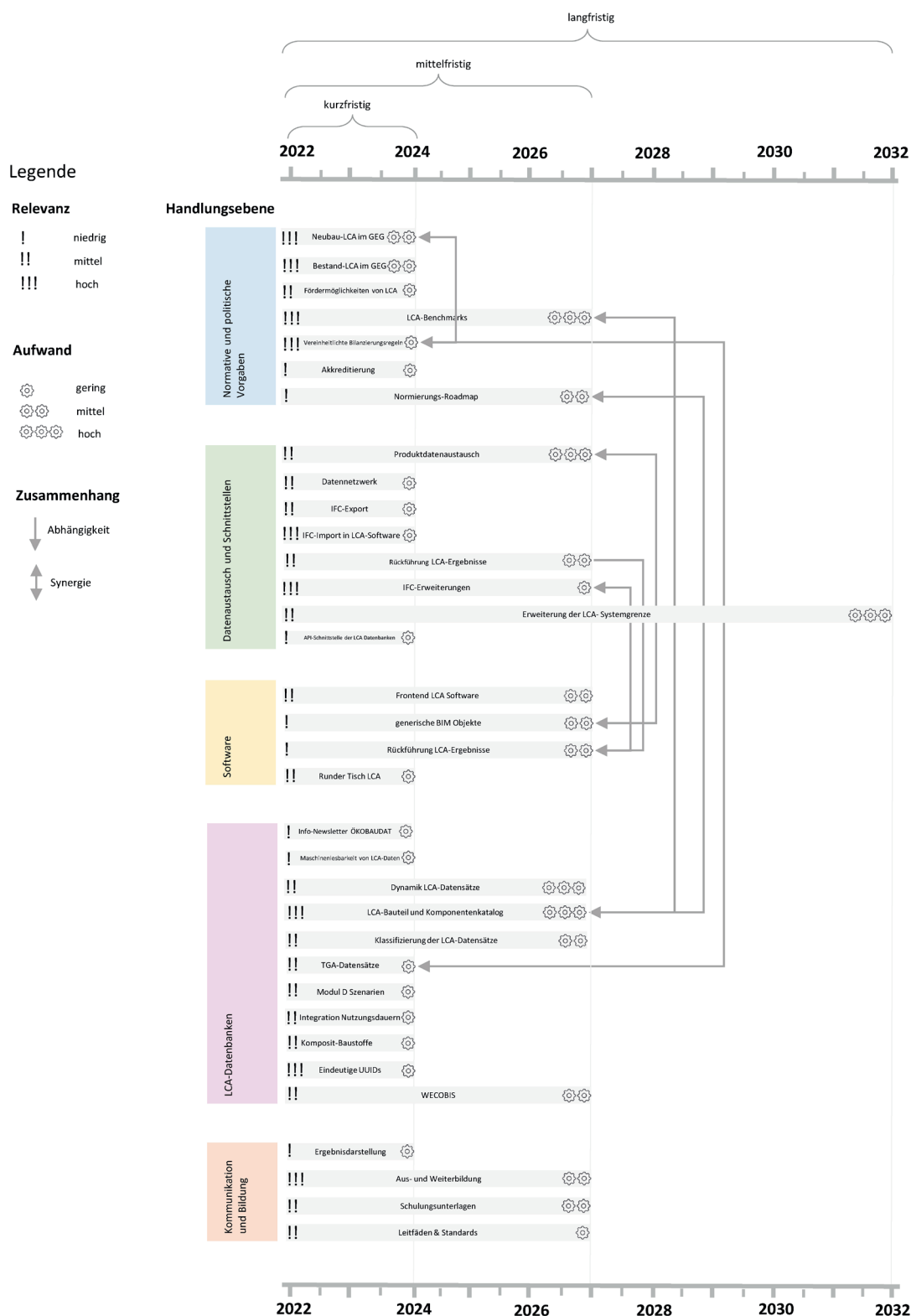
Anhang A: Visualisierung Meilensteinplan

Anhang B: Übersichtsmatrix mit Handlungsempfehlungen steht als Download auf der BBSR-Projektseite zum Digital Twin Footprint unter folgendem Link bereit: bbsr.bund.de > Forschung > Programme > Zukunft Bau > Ressortforschung > BBSR Digital Twin Footprint

Anhang

Visualisierung Meilensteinplan

Zeitschiene mit kurz-, mittel- und langfristigen Zielstellungen im Meilensteinplan



Quelle: Eigene Darstellung