

Johannes Gantner
Petra von Both
Karsten Rexroth
Sebastian Ebertshäuser

Rafael Horn
Olivia Jorgji
Christian Schmid
Matthias Fischer

Ökobilanz – Integration in den Entwurfsprozess

BIM-basierte entwurfsbegleitende Ökobilanz in frühen Phasen einer Integralen Gebäudeplanung

Univ.-Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Karl Gertis zum 80. Geburtstag gewidmet

Die Methode der Ökobilanzierung bildet seit mehreren Jahren die Grundlage in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen wie DGNB und BNB zur Bewertung der Umweltwirkungen von Gebäuden. Bisher werden Gebäudeökobilanzen lediglich als Nachweisinstrument verwendet und nicht planungsbegleitend als Optimierungstool zur Entscheidungsunterstützung. Dies liegt vor allem an dem hohen zeitlichen Aufwand der Erstellung einer Ökobilanz – speziell die Erarbeitung der hierzu notwendigen Datengrundlage. Um diesen zu verringern und so den planungsbegleitenden Einsatz von Gebäudeökobilanzen zu vereinfachen, wurde ein Konzept erarbeitet, das Ökobilanzergebnisse bereits in frühen Planungsphasen auf Basis von LCA Benchmarks und mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad ermöglicht. Hierzu wurden der Informationsstand und die jeweilige Fragestellung je Planungsphase auf Basis des Konzeptes der integralen Planung abgeleitet, eine Datenermittlung mittels Building Information Modeling (BIM) angedacht und umgesetzt. Insgesamt wurden somit vier verschiedene Detailebenen entwickelt, die ähnlich der Kostenschätzung von Gebäuden, eine Abschätzung der Umweltwirkungen in unterschiedlichen Konkretisierungsstufen ermöglichen.

Stichworte: Ökobilanz; Integrales Planen; Building Information Modeling (BIM); Gebäudeökobilanzbenchmarks; Ökobilanzdetaillierungsebenen

1 Einleitung

Bei Fragen der Ressourceneffizienz und ökologischen Qualität steht das Bauwesen noch immer vor großen Herausforderungen, insbesondere im effizienten, effektiven und ökologisch tragbaren Umgang mit Ressourcen und in der Reduktion treibhausgasrelevanter Emissionen [1]. Im Fokus der Betrachtung stand hierbei lange nur der Energiebedarf in der Nutzungsphase. Zwar konnte durch gesetzliche Regularien – beispielsweise die Wärmeschutz- bzw. Energieeinsparverordnungen der Bundesrepublik Deutschland und den damit verbundenen höheren energetischen Gebäudestandards – der Primär- und Endenergiebedarf für ein Gebäude in den vergangenen 40 Jahren deutlich gesenkt werden (Bild 1) [2]. Gleichzeitig hat sich aber in diesem Zeitraum der gesamte Ressourcenverbrauch weltweit mehr als verdreifacht.

Insbesondere die nicht-metallischen Mineralien verzeichnen nahezu eine Verdoppelung ihres Anteils am ge-

Integrating LCA in concept of integral planning – accompanying LCA in early phases using Building Information Modeling (BIM)

The consideration of resource consumption and greenhouse gas relevant emissions is becoming increasingly important. The life cycle assessment method has been the basis for several years in sustainability assessment systems such as DGNB and BNB for assessing the environmental impact of buildings. So far, LCA has only been used as a verification tool and not within the planning process as an optimization tool. This is mainly due to the time required to set up a life cycle assessment. In order to reduce the expenditure of time and to facilitate accompanying building LCAs, a concept was developed which enables the use of building LCAs already in early planning phases on the basis of benchmarks and on varying degrees of detail. In addition, the level of information and the respective questions per planning phase were derived on the basis of the concept of integral planning; data gathering using Building Information Modeling (BIM) was planned and implemented. In total, four different levels of detail were developed, which, similar to the cost estimation of buildings, allow an estimation of the environmental effects in different concretization stages.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA); Integral Planning; Building Information Modeling (BIM); LCA levels of detail; Building LCA Benchmarks

samten Ressourcenverbrauch (Bild 2) – Baustoffe, wie beispielsweise Sande, Kiese oder Gesteine, die in den wachsenden Agglomerationen für den Bau- und Infrastruktursektor benötigt werden [3]. Es muss folglich der gesamte Ressourcenbedarf für Konstruktionen und Baumaterialien sowie deren Beitrag zum Klimawandel und zu weiteren ökologischen Wirkungsfeldern in den Fokus rücken. Allein im Bauwesen ist dieser Ressourcenbedarf immens: In Deutschland werden jährlich etwa 550 Mio. Tonnen mineralische Rohstoffe, 5,5 Mio. Tonnen Baustahl und 28 Mio. Tonnen Zement verbaut. Hinzu kommen noch jährlich 192 Mio. Tonnen Bau- und Abbruchabfälle – über 50% des deutschen Abfallaufkommens [4].

In nationalen und internationalen Bewertungssystemen zum nachhaltigen Bauen hat sich die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/44 [5, 6] als eine Methode etabliert, um in konsistenter Weise sowohl den Ressourcenbedarf als auch den (schädlichen) Beitrag zum Klimawandel und zu weiteren ökologischen Problemfeldern zu quantifizie-

Entwicklung des energiesparenden Bauens

Primärenergiebedarf Heizung (kWh/m²a)

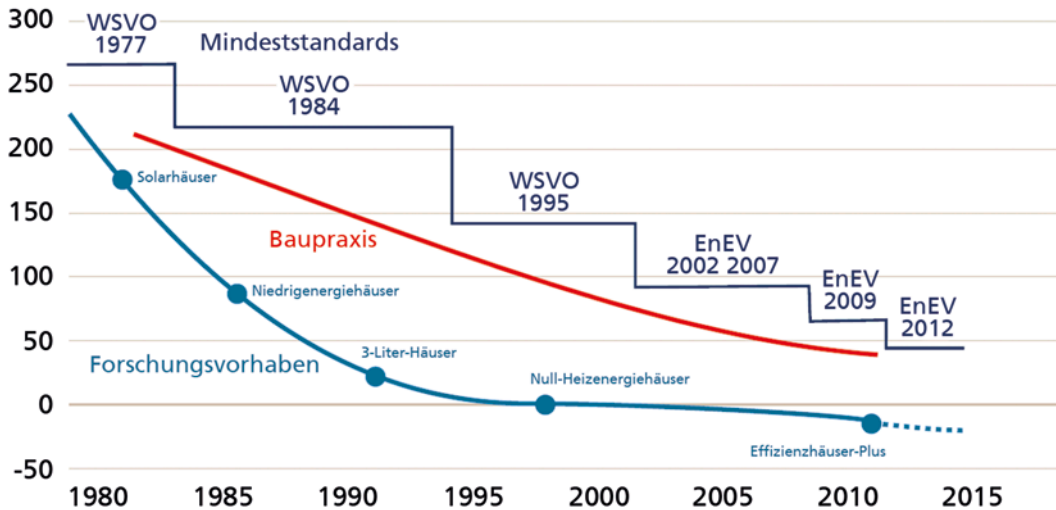


Bild 1. Entwicklungsverlauf des Primärenergiebedarfs von Doppelhäusern in den letzten 30 Jahren (Quelle: Fraunhofer IBP [2]).

Fig. 1. Development of the primary energy demand of semi-detached houses in the last 30 years (Source: Fraunhofer IBP [2]).

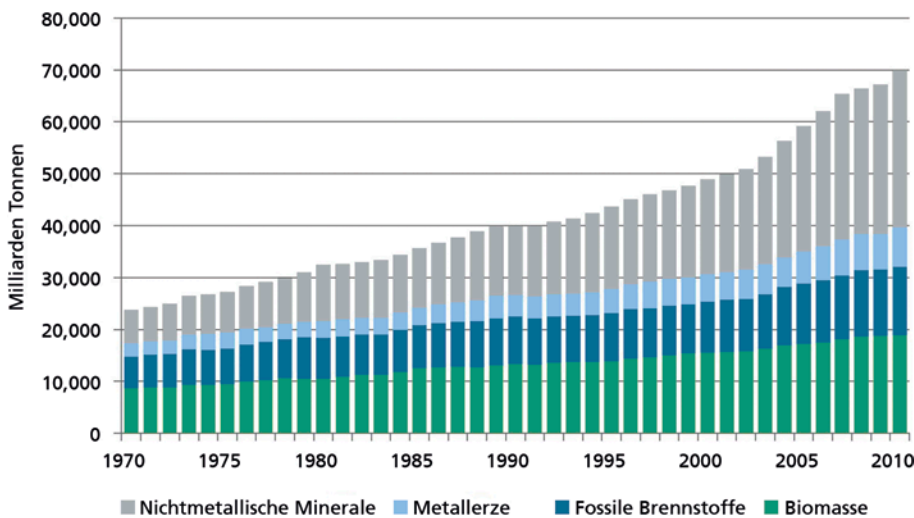


Bild 2. Weltweite Rohstoffgewinnung in vier Rohstoffkategorien [3].

Fig. 2. Global material extraction in four material categories [3].

ren, analysieren und zu bewerten. Allerdings wird bisher für die wenigsten Gebäude eine Ökobilanz erstellt, da die Zusammenstellung und Aufbereitung der notwendigen Daten und die Berechnung zeit- und kostenintensiv sind. Die Gebäudeökobilanz wird somit bisher nur als ein Nachweisinstrument am Ende des Planungs- und Bauprozesses gesehen – nicht als ein projektbegleitendes Werkzeug zur Optimierung von Gebäudekonzepten in frühen Planungsphasen. Erhebliche Potenziale zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der Gebäude, die in frühen Planungsphasen noch mit geringem Aufwand in die Konzepte einfließen können, werden somit verwirkt. Der in Bild 3 dargestellte Ablauf der Planungsphasen von Bauprojekten illustriert schematisch, welche Potentiale durch die Integration der Ökobilanz in frühe Planungsphasen, insbesondere Vorplanungphase sowie Entwurfs- und Genehmigungsphase, ausgeschöpft werden

Die in der Planungspraxis zunehmende Verbreitung von Methoden der digitalen, semantischen Gebäude-Modellierung (BIM – Building Information Modeling) bietet in Verbindung mit planungstheoretischen Ansätzen einer Integralen Planung neue und vielversprechende Möglichkeiten für die Umsetzung einer effizienten, planungsbegleitenden Ökobilanzierung von Gebäuden. Besonders der angesprochene Aufwand für die Datenermittlung und für die bisher manuelle Modellierung könnte sich durch die Nutzung von BIM stark reduzieren. Oft sind aber die notwendigen Informationen und die benötigte Detailtiefe in frühen Planungsphasen selbst für diese „vereinfachten Rechenverfahren“ nicht vorhanden. Um die Entscheidungsunterstützung in einem zum Planungsfortschritt angemessenen Betrachtungsausschnitt und Detaillierungsgrad zu ermöglichen und aus planungsökonomischer Sicht den Eingabeaufwand gering zu halten, ist es notwendig, die In-

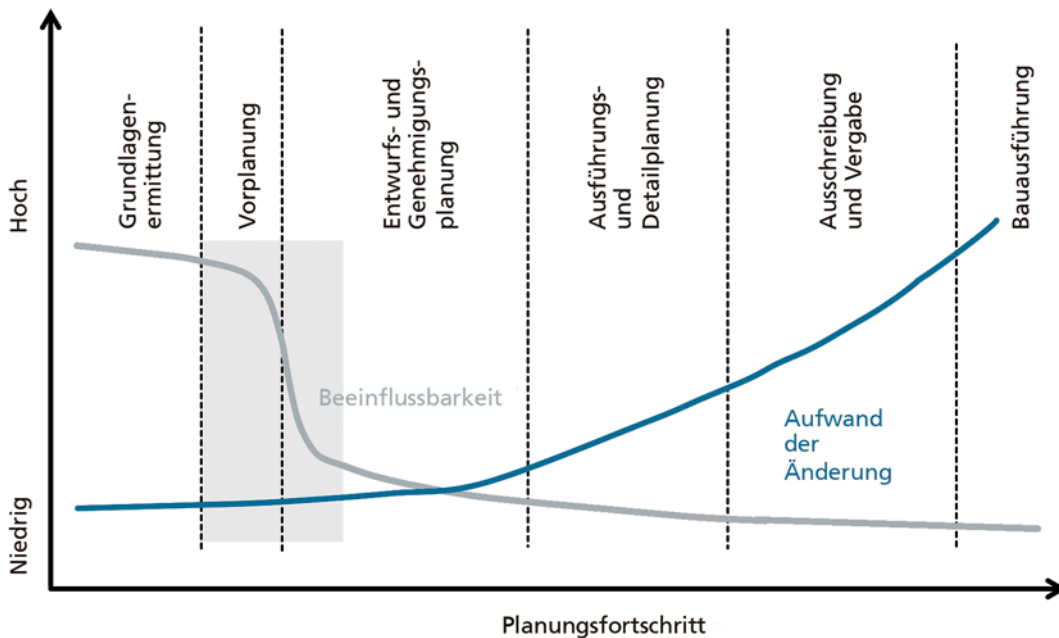


Bild 3. Beeinflussbarkeit bzw. Aufwand der Änderungen in verschiedenen Planungsphasen von Bauprojekten [7].
 Fig. 3. Influenceability and effort of changes in different planning phases of construction projects [7].

formationsbedürfnisse und die Ergebnisbereitstellung der Gebäudeökobilanz an die Erfordernisse der Planungsphasen anzupassen (Informationsstand, vorrangige Fragestellungen). Dabei sollen die existierenden Möglichkeiten und Strukturen im BIM-Prozess einbezogen werden. Für die Gebäudeökobilanz bedeutet dies ein neues Strukturierungskonzept der Detaillierungstiefe. Nachfolgend soll ein solches Konzept vorgestellt werden. Das übergeordnete Ziel ist es, die Gebäudeökobilanz durch eine nützliche und zweckmäßige Verbindung mit den Konzepten der Integralen Planung (IP) und des Building Information Modeling (BIM) aus der bisherigen Nischenanwendung in eine Breitenanwendung zu überführen.

2 Grundlagen und Problemstellung

Zum Verständnis des Konzeptes zur planungsbegleitenden Gebäudeökobilanzierung wird auf wichtige Punkte der Themenfelder Integrales Planen und Gebäudeökobilanz in unterschiedlichen Konkretisierungs- und Detaillierungsstufen eingegangen.

2.1 Integrale Planung in der Bauwirtschaft

Erste Ansätze einer „Integralen Planung“ in der Bauwirtschaft sind bereits in den Arbeiten von Wachsmann und Gropius zu finden, die sich seit den 1940er Jahren mit Fragen der fachübergreifenden Zusammenarbeit und der Synergien einer interdisziplinären Teamarbeit (horizontale Integration) beim Planen und Bauen befassten [8]. In den Bell Laboratories wurde in dieser Zeit das Konzept des „Systems Engineering“ als Methodik zur Entwicklung komplexer technischer Systeme (Telekommunikationsnetze) erprobt und beschrieben [9]. Beide Ansätze teilen bis heute ein ähnliches methodisches Grundverständnis, z. B. das Systemdenken, das Vorgehen vom Groben zum Detail, das Denken in Varianten und die Gliederung des

Planungsprozesses in Phasen [10]. In Folge eines zunehmenden Umwelt- und Ressourcenbewusstseins seit den 1970er Jahren wurde das Konzept der Integralen Planung in Richtung eines ganzheitlicheren Planungsansatzes erweitert: Das Verlangen nach einer nachhaltigen Wirtschafts- und Lebensweise in den Industrienationen führte zur Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes oder einer Anlage (vertikale Integration). So verweisen auch die Zertifizierungssysteme zum Nachhaltigen Bauen auf eine Integrale Planung [11]. In jüngeren planungsmethodischen Arbeiten wird insbesondere mit der systemischen Definition von Bauprojekten – als Eingriffe in ein bestehendes ökologisches, soziales und räumliches System – das Konzept der Integralen Planung um eine „integrative“ Dimension erweitert [12].

Da dem Begriff der „Integralen Planung“ kein einheitliches, verbindliches Verständnis oder Konzept zu Grunde liegt, wird das dieser Arbeit zu Grunde liegende Planungsverständnis kurz umrissen: Der Ansatz begründet sich aus einem systemischen Planungsverständnis. Mit diesem sind Grundannahmen mit den Bedingungen verbunden, unter welchen Bauprojekte im Allgemeinen durchgeführt werden: (1) unvollständige Informationen, (2) subjektive und wertebezogene Herangehensweisen, (3) kognitive Grenzen der einzelnen Beteiligten, (4) Untrennbarkeit von Problemverständnis und Problemlösung sowie (5) dynamische, veränderliche Präferenz- und Bewertungsmaßstäbe [13].

Unter diesen Prämissen ist zur systemtechnischen Betrachtung – mit Schwerpunkt einer technisch-konstruktiven Integration und eine Integration der ökonomischen und ökologischen Belange im Lebenszyklus (integrierte Planung) – bereits bei der Initialisierung eines Planungsprozesses eine weitere Dimensionen zu berücksichtigen. Auf Ebene des Planungsprozesses erfordert die systemische Betrachtung eine Erarbeitung eines gemeinsamen Verständnisses und Präferenzrahmens der Beteiligten und Betroffenen und die adäquate Berücksichtigung soziokul-

tureller Belange (integrative Planung). Bei der Integralen Planung werden dadurch die frühen qualitativen Entscheidungsprozesse mit einbezogen. Dies umfasst die Erarbeitung, Hinterfragung und Dokumentation des grundlegenden Paradigmen- und Zielsystems eines Projektes. Das angenommene übergeordnete Ziel (Ideal) eines nachhaltigen Gebäudes bleibt davon unverändert: ein langfristig kostengünstiges Gebäude mit den am geringsten möglichen negativen Umweltwirkungen und dem am höchsten möglichen soziokulturellen und funktionalen Mehrwert über seine Lebensdauer.

Aus der fortschreitenden Digitalisierung von Planungs- und Bauprozessen entstehen auch für die praktische Umsetzung der Integralen Planung neue Potenziale zur umfassenderen Abbildung von verschiedenen Konkretisierungsstufen des Planungsgegenstandes mit unterschiedlich detaillierten Fachinformationen. Dabei ist – keineswegs trivial – ein gut abgestimmtes Zusammenspiel der Prozess- und der Objektebene erforderlich. Verschiedene sogenannte „LoX“-Konzepte aus der Entwicklung des BIM als Methode zur digitalen Verwaltung von planungs- und gebäuderelevanten Informationen (z. B. Level of Detail, Level of Development, Level of Information, Level of Geometry) zeigen bereits Ansätze zur Definition von Informationsgranularitäten bei der Datenübergabe im Planungsfortschritt. Allerdings sind die im Sinne einer Integralen Planung essenziellen frühen Planungsphasen, in denen die maßgeblichen Entscheidungen für die Nachhaltigkeit eines Gebäudes getroffen werden, bisher nicht adäquat berücksichtigt. Um BIM als einen konsistenten Baustein in der Integralen Planung zu verankern, ist eine durchgängige, offene Datenbasis erforderlich – von den frühesten qualitativen Entscheidungsprozessen bis zur Umsetzung und Nutzung eines Gebäudes im gesamten Lebenszyklus. Als ein offenes Datenformat im Kontext des Open BIM Ansatzes hat sich das Produktmodell der Industry Foundation Classes (IFC) etabliert [14]. Dieser virtuelle dreidimensionale Gebäudemodellstandard (ISO 16739) ermöglicht eine einheitliche Beschreibung aller Gebäudeinformationen im Lebenszyklus eines Bauwerkes [15].

2.2 Missverhältnis der Detaillierung bei der Gebäudeökobilanz

Die Ökobilanz ist eine anerkannte Methode zur Quantifizierung der Umweltwirkungen von Prozessen, Produkten oder Dienstleistungen. Durch die Standardisierung der Methode nach ISO 14040 [5] und 14044 [6] sowie spezifischer für den Bereich des Bauens nach EN 15804 [16] und EN 15978 [17] sind der einheitliche Ansatz und die notwendige Transparenz zur Bewertung der verursachten Umweltwirkungen gewährleistet. Basierend auf dem Lebenszykluskonzept werden mit dieser Methode alle entstehenden Umweltwirkungen über den gesamten Produktlebenszyklus von der Rohstoffbereitstellung über die Herstellung und Nutzung bis zur Verwertung am Lebensende berücksichtigt. Bereits seit dem Aufkommen von Gebäudeökobilanzen standen die Definition der Systemgrenzen (Welche Lebenszyklusphasen bzw. welche Konstruktionen/Materialien müssen bei der Ökobilanz eines Gebäudes betrachtet werden?) und die Vereinfachung von Abbildungsmöglichkeiten im Mittelpunkt der Diskussion [11, 14, 18, 19]. Auf Grund feh-

lender Benchmarks und (teilweise) fehlender wissenschaftlicher Studien wurden meist zwei („vereinfacht“, „vollständig“) [11, 19] oder drei Konkretisierungsstufen („screening“, „simplified“ und „complete“) [20, 21] abgeleitet und die Unvollständigkeit der jeweiligen Konkretisierungsstufe mit Hilfe von Sicherheitsaufschlägen auf das Ergebnis abgebildet. Diese Sicherheitsaufschläge waren anfangs noch reine Abschätzungen. Im Jahr 2017 wurde in einer ersten Studie versucht, die notwendigen Sicherheitsaufschläge quantitativ zu bestimmen [22].

In der Praxis der Gebäudeökobilanzierung wird heute lediglich das vereinfachte Rechenverfahren am Ende des Planungs- und Bauprozesses angewendet, da selbst hier schon der Aufwand für Datensammlung und Erstellung sehr groß ist: Selbst bei einfachen Gebäuden (z. B. Wohngebäuden) nimmt die Erstellung einer Gebäudeökobilanz mehrere Arbeitstage in Anspruch [23]. In den wenigen Fällen, in denen eine erste Abschätzung des Gebäudeökobilanzergebnisses in frühen Planungsphasen erfolgt, werden entweder nur die Treibhausgasemissionen des Energiebedarfs in der Nutzungsphase betrachtet oder zusätzlich die Referenzwerte der DGNB bzw. BNB als Abschätzung verwendet. Meist wird dies als konservative Abschätzung betrachtet. Dies muss aber nicht unbedingt der Fall sein. Eine Anpassung auf die projektspezifischen Gegebenheiten kann so nicht getroffen werden, geschweige denn gezielt und belastbar eine erste Verringerung der Variantenanzahl vorgenommen werden.

3 Lösungsansatz für eine verbesserte Anbindung von Ökobilanz-Informationen an den Planungsprozess

In einem durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Verbundprojekt „BIM-basierte Integrale Planung“ [24] wurde ein Lösungsansatz erarbeitet, um Planungs- und Lebenszyklusphasen entlang von empfohlenen und praktizierten Konkretisierungsstufen der Integralen Planung zu strukturieren, die dabei möglichen Informationstiefen eines BIM-Modells zu ermitteln und mit den Informationsbedürfnissen für eine jeweils zur Planungsphase passenden Detaillierung der Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) abzustimmen. So ist von Beginn an eine einfache, schnelle Ökobilanzierung von Gebäuden auf Basis von typbasierten Benchmarks durchführbar. Benchmarks sind dabei arithmetische Mittelwerte der LCA Ergebnisse realisierter Projekte von Gebäudetypen und Bauteilen. Vor allem in frühen Planungsphasen ermöglicht dies den Bauherren künftig, erste ökologische Zielstellungen für ihr Bauvorhaben zu konkretisieren und transparent zu dokumentieren. In späteren Planungsphasen können die Zwischenergebnisse der Planung hinsichtlich dieses festgelegten Zielkorridors überprüft werden. Nachfolgend werden das Phasenkonzept und der Typisierungsansatz vorgestellt. Kapitel 4 legt anschließend das darauf ausgerichtete Konzept einer Berechnungsmethode zur Anbindung der Gebäudeökobilanz in verschiedenen Detaillierungsebenen an die Konkretisierungsstufen dar.

3.1 Differenzierung von Planungs- und Lebenszyklusphasen

Als Grundlage einer Differenzierung von Informationsbedürfnissen im Planungsprozess und im Lebenszyklus wurde

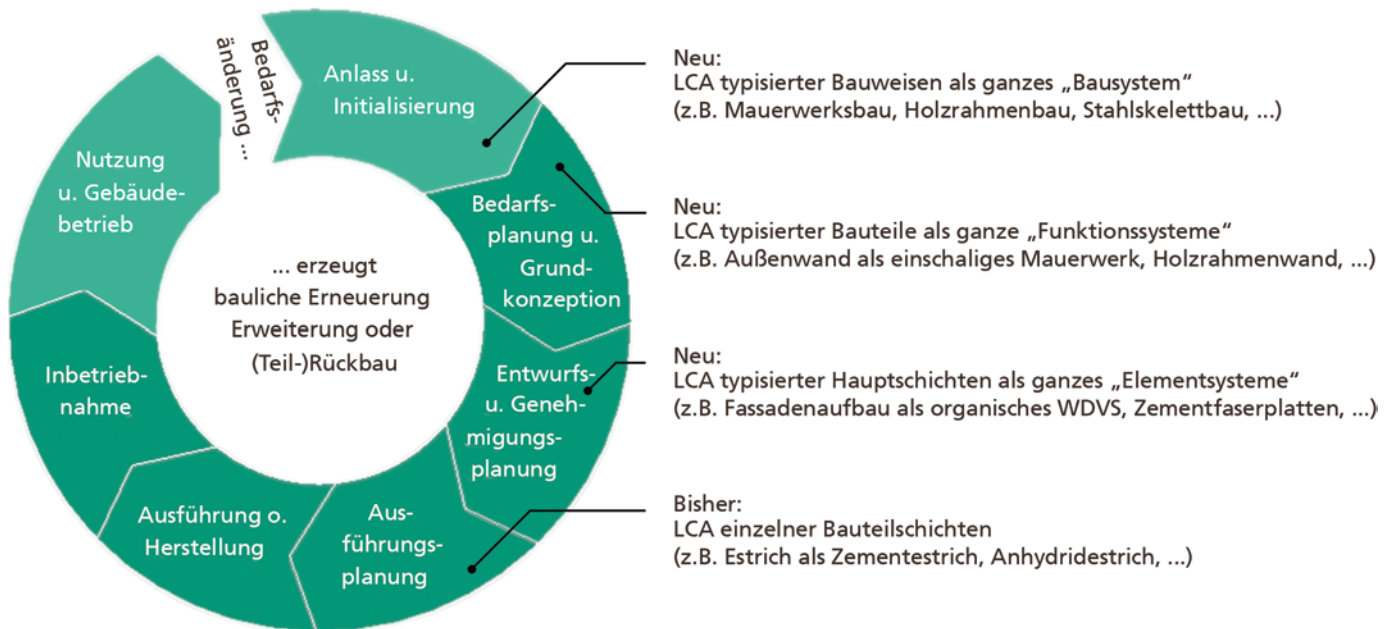


Bild 4. Modell der Konkretisierungs-Phasen im Planungsprozess und Lebenszyklus (Quelle: BLM).
Fig. 4. Model of the concretisation phases in the planning process and life cycle (Source: BLM).

ein Phasenmodell definiert (vgl. Bild 4), welches im Gegensatz zu beispielsweise einer Leistungsabgrenzung der HOAI strukturell über die qualitativen Veränderungen des Planungsgegenstandes, den vorrangigen Betrachtungsausschnitt (prior concerns), die neuralgischen Punkte sowie veränderliche Rollenkonstellationen im Entscheidungsprozess bestimmt wird. Die Phasenstruktur spiegelt damit qualitativ differenzierbare Konkretisierungsstufen der semantischen Gebäudeinformationen. Ein wichtiges Merkmal ist die Einbindung der Projektphasen (dunkel schattiert) in einen fortlaufenden, übergreifenden Entwicklungsprozess: Die Phasen der Anlassbildung, der Nutzung und der Bedarfsänderung erfolgen im Bereich der Alltags- oder Lebenswelt, nicht der Planungswelt. Zur grafischen Darstellung wurde eine zyklische Anordnung gewählt, um den fortlaufenden Charakter dieser Planungs-, Umsetzungs- und Nutzungsaktivitäten zu verdeutlichen.

Die Initiative für ein Projekt erfolgt dabei durch einzelne Personen, die beispielsweise politische, unternehmerische oder persönliche Ziele verfolgen, sei es, einen bestimmten Zustand zu erreichen, erhalten oder abzuwenden. Die konkreten Handlungen, die dafür geplant und unternommen werden (Lösungsbestimmung), entwickeln sich über eine Kaskade von impliziten oder expliziten Definitionen und Entscheidungen (Problembestimmung). Hierbei werden Wissen und Alltagserfahrungen schrittweise zu einem abstrakten Problemverständnis der Planenden oder Planungsbeteiligten transformiert. Dies führt wiederum zu Lösungsansätzen, die schrittweise zu konkreten Maßnahmen oder Eingriffen in der Alltagswelt verarbeitet werden (vgl. [25, 26]). Bei der Phasen-Differenzierung (Bild 4) wurde im Bereich der Alltagswelt (hell schattiert) zunächst eine Art „Übergangsphase“ definiert, die durch Aktivitäten der Beobachtung, Orientierung und latenten Bedarfserkennung gekennzeichnet ist. In dieser Phase „Anlass und Initialisierung“ erfolgt eine Art erfahrungsbasierter Wegbereitung des Projekts.

Ein wichtiger Entscheidungspunkt in dieser Phase liegt in der Frage „Bearbeiten oder aufschieben?“. Als Entscheidungsgrundlagen fungieren Erfahrungen, eingeholte Meinungen oder Themen, die im gesellschaftlichen oder politischen Umfeld diskutiert werden. Für die in der Praxis dabei stark unterrepräsentierten Nachhaltigkeitsthemen stellt sich hier zunächst die Herausforderung, welche Faktoren ihnen zum Status eines Prior Concern verhelfen können, da hier insbesondere grundlegende Entscheidungen zu treffen sind, nach denen „Suchrichtungen“ für die weitere Planung geöffnet oder verworfen werden. Die durch die Initiatoren meist intuitiv gesetzten Filtermechanismen beispielsweise in welchen (Fach-)Bereichen nach Informationen gesucht wird, wem? man den Betroffenen zuordnet und wer angesprochen bzw. einbezogen werden soll – stellen bereits bestimmende Schritte der Problematisierung dar. Für Fragen des nachhaltigen Bauens ist entscheidend, dass hier ein entsprechendes Bekenntnis zur Nachhaltigkeit und zur angestrebten Gebäudequalität – insbesondere in ökologischer Hinsicht – expliziert und reflektiert wird: Der künftige Bauherr muss sensibilisiert werden. In dieser Phase können qualitative Präferenzen mit Begriffen wie „Neubau“, „Plusenergiehaus“ oder „Massivbauweise“ ausgedrückt und mit LCA-Informationen zu ganzen „Bausystemen“ verknüpft werden, um maßgebliche Grunddispositionen eines Projektes und den Gestaltungs- und Optimierungsspielraum für die weitere Gebäudeplanung frühzeitig zu artikulieren.

Neuralgische Punkte bilden sich an Entscheidungspunkten; insbesondere am Ende einer Phase gilt es festzulegen, welche bis dahin erkannten oder erarbeiteten Möglichkeiten weiterverfolgt werden. Am Ende der Phase „Anlass und Initialisierung“ wird bereits ein Entschluss hinsichtlich der intendierten Hauptnutzung und dem Qualitätsrahmen getroffen, beispielsweise „gehobener Wohnungsbau in Massivbauweise“. Mögliche Alternativen können hier in einer Konkretisierungsstufe „ohne geometri-

sche Information“ bereits durch Benchmarks auf Ebene verschiedener „Bausysteme“ (Gebäude als Ganzes) gegenübergestellt werden. Vergleichbar zur Anwendung aggregierten Kostenkennwerte (z. B. BKI), mit denen sich über eine Differenzierung von Nutzung und Größe, Konstruktionsart, Qualitäts- und Ausstattungsniveau eine Art Größenordnung oder „Hausnummer“ als erster Orientierungswert bestimmen lässt. Dieser bezieht sich auf die Planungskenngrößen BGF oder BRI.

Die folgende Phase **„Bedarfsplanung und Grundkonzeption“** umfasst Aktivitäten, die der Vorbereitung und Absicherung eines Projektes mit Blick auf eine anstehende Investitionsentscheidung dienen. Mit den Begriffen der Immobilienwirtschaft werden hier Standort, Kapital und Idee zusammengeführt und zu einem Projekt entwickelt. Vorrangige Fragen in dieser Phase adressieren den Bedarf (Marktbeurteilung) und die Risiken einer Investition, die Überprüfung der öffentlich-rechtlichen Baubarkeit (Nutzungsart, Nutzungsintensität, Kubatur) sowie möglicher Alternativen in der gestalterischen, technischen und wirtschaftlichen Grundkonzeption – auch mit Blick auf die Nutzungsphase. Ziel dieser Phase ist, eine Entscheidung für oder gegen die Durchführung eines Projektes zu fällen, insbesondere auch über die damit verbundenen kostenerzeugenden Schritte, wie Grundstückserwerb, Bauinvestition und die Beauftragung von Planungsleistungen. Für die Grundkonzeption liegen zu diesem Zeitpunkt bereits Informationen vor, die für eine erste Modellierung verwendet werden können: beispielsweise Grundstück/Standort (zulässiges Maß der baulichen Nutzung), Versorgungsinfrastruktur, zulässige Hauptnutzung, angestrebtes Markt-, Nutzer-, Ausstattungssegment, mögliche Alternativen zur Kubatur (Baukörpergliederung, Geschossigkeit, Baukörperorientierung), grundsätzliche Konstruktionsarten und Technikkonzepte. So können am Ende der Phase „Bedarfsplanung und Grundkonzeption“ bereits wesentliche Entscheidungen des Grundkonzeptes getroffen werden, welche Festlegungen zur „städtebaulichen Figur“, Geometrie, Geschosszahl sowie Nutzung und implizite Entscheidungen über die bau- und anlagentechnische Qualität umfassen. Vorliegende Alternativen können mittels Vergleichswerten zu „Funktionssystemen“ beurteilt werden, beispielweise für typisierte Dachkonstruktionen oder Außenwandkonstruktionen, die als Ganzes beschrieben, nach Mindest- und Zielqualitäten differenziert sind (z. B. Wand nach EnEV vs. KfW 40 Standard) und mit den geometrischen Informationen in der Konkretisierungsstufe zu einem Baukörpervolumen- und Geschossflächenmodell verknüpft werden.

Daran schließen Planungsphasen an, die im allgemeinen Verständnis mit den traditionellen Architekten- und Ingenieurleistungen verbunden sind. Zunächst folgt die Phase **„Entwurfs- und Genehmigungsplanung“**. Die gewählte Grundkonzeption wird räumlich-architektonisch entworfen und ausformuliert und eine baurechtliche und bautechnische Konkretisierung erfolgt so weitgehend, dass eine Genehmigung beantragt und erteilt werden kann. Ziel dieser Phase ist ein realisierbarer und genehmigungsfähiger Gebäudeentwurf. Darin liegt auch ein neuralgischer Punkt für die weitere Planung, da nach erteilter Baugenehmigung alle maßgeblichen Änderungen der Planung mit der Baurechtsbehörde abzustimmen sind. Häufig wird auf

dieser Konkretisierungsstufe bereits ein Angebot für die Herstellung kalkuliert, was insbesondere bei funktionaler Vergabe und im Bereich „schlüsselfertiges Bauen“ verbreitet ist. Zu diesem Zeitpunkt ist das Gebäude bereits in seinen wesentlichen gestalterischen, materiellen, konstruktiven und technischen Eigenschaften bestimmt. Alternativen zu grundsätzlichen Bauteilqualitäten können durch LCA-Vergleichswerte von „Elementsystemen“ gegenübergestellt werden. Diese bilden beispielsweise ein Schichtbauteil in seinen Hauptbestandteilen jeweils als Ganzes ab, wie tragende Wandschicht, Fassadenaufbau oder Fensterelement.

In der Phase **„Ausführungsplanung“** werden die erforderlichen Bau- und Anlagenteile auf Grundlage der Baugenehmigung technisch-konstruktiv spezifiziert. Es gilt, alle Informationen zusammenzustellen, die für eine qualitäts-, zeit- und kostengerechte Herstellung und Montage erforderlich sind. Dabei ist die „Übersetzung“ von Nachhaltigkeitsanforderungen in konkrete Planangaben und Leistungsbeschreibungen erforderlich. Aus Sicht einer „BIM-basierten Integralen Planung“ ist zu diesem Zeitpunkt das Gebäudemodell in seinen „Bauteilschichten“ bzw. Anlagen-Komponenten vollständig beschrieben. In den anschließenden Phasen erfolgt eine Fortschreibung dieser Konkretisierungsstufe durch Aktualisierung oder Überschreibung der Zustandsdaten „as planned“ durch neue Ereignisse, beispielsweise „as build“, „as used“, „as maintained“, „as refurbished“.

Zur Vollständigkeit der Phasenabgrenzung werden die weiteren Planungsphasen kurz aufgeführt: Die bisherigen sind auf die Vorbereitung der Phase **„Ausführung oder Herstellung“** ausgerichtet. Bei technisch anspruchsvollen Gebäuden ist am Ende der Herstellungsphase eine gesonderte Phase **„Inbetriebnahme“** abzugrenzen, welche zur Abstimmung und Regelung der technischen Systeme im Betriebszustand erforderlich ist und eine gesonderte Begleitung und Dokumentation erfordert. Die Phase **„Nutzung und Gebäudebetrieb“** ist die längste Phase im Lebenszyklus und Ziel der vorausgegangenen. Neben der Erst-Herstellung wird in der Regel im Zeitverlauf ein Änderungs- und Anpassungsbedarf eintreten. Bei einer linearen Vorstellung sollte als letzte Sequenz eine Phase **„Bedarfsänderung“** herausgestellt werden, um aufzuzeigen, dass die Nutzungsphase selbst ebenfalls begrenzt ist. Diese Phase ist isomorph zu den Phasen 1 bis 7 zu verstehen – lediglich mit einem anderen Fokus (z. B. Erweiterung, Revitalisierung, Teil- oder Komplettrückbau). Sollte die Bedarfsänderung mit einem Rückbau enden, entfällt die Phase der Nutzung.

3.2 Systematik zur Handhabung der Informationsgranularität

Damit die Informationsbedürfnisse trotz der typischen Unschärfe von Beginn an und während des Planungsprozesses in Bezug zu den am Ende durch die Bewertungssysteme definierten Anforderungen gesetzt werden können, ist eine schrittweise Konkretisierung der umrissenen Systematik elementar. Die Konkretisierungsstufen werden definiert wie in Bild 5 dargestellt: von „Bausystemen“ (Gebäude als Ganzes) über „Funktionssysteme“ (Hauptbestandteile der Nutzungs- und Geltungsfunktionen), „Elementsysteme“ (Hauptbestandteile der bau- und anlagentechnischen Funktionen) und schließlich „Bauteil-

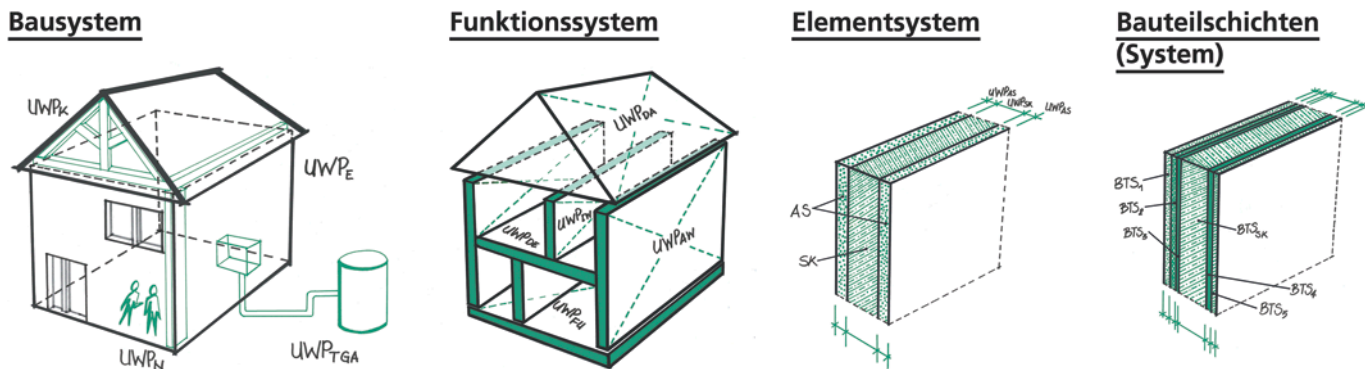


Bild 5. Schematische Darstellung der Konkretisierungsstufen der Gebäudeplanung (Quelle: Fraunhofer IBP).
 Fig. 5. Schematic representation of the concrete stages of building planning (Source: Fraunhofer IBP).

schichten/Komponenten“ (konkrete Ausprägung/Spezifikation).

Der Ansatz zur planungsbegleitenden Ökobilanzierung baut dabei auf der Feststellung auf, dass die Ökobilanz eines Gebäudes in ihrer Größenordnung bereits über wenige Merkmale bestimmt wird: Nutzung, Energiestandard, (technischer) Ausstattungsstandard und die verwendeten Konstruktionsmaterialien. Ziel dieser LCA-Informationssystematik ist es, ein Instrument zu schaffen, welches Bauherren, Investoren, Architekten und alle beteiligten Akteure bei der Lösungsfindung für ein ökologisch nachhaltiges Gebäude von Beginn an unterstützt. Bereits vor der eigentlichen, objektbezogenen Planung werden wichtige Entscheidungen über die Funktionsfähigkeit des Gebäudes getroffen. So können von einer fundierten Bedarfsplanung ausgehend bereits Entscheidungen gerahmt werden, die den Energieverbrauch, den Verwendungszweck und die Ausstattungsqualität betreffen. In dieser ersten Phase liegen nur geringe oder gar keine Daten zur Unterstützung der Nachhaltigkeitsbewertung eines zukünftigen Gebäudes vor. Planungsentscheidungen über die Umweltauswirkungen und die nachhaltige Entwicklung müssen darum auf Grundlage von groben Anhalts- oder Erfahrungswerten getroffen werden, die sich aus den Hauptmerkmalen des zukünftigen Gebäudes ableiten lassen.

4 Ökobilanzrechenregeln entlang des Planungsprozesses

Entsprechend des in Abschnitt 3 vorgestellten Phasenmodells und der Konkretisierungsstufen der Gebäudeplanung wurden vier Detaillierungsebenen und zugehörige Input- und Outputinformationen definiert, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind:

Nachfolgend werden die Konkretisierungsstufen 1 bis 3 vorgestellt. Die Ebene „Bauteilschichten/Komponenten“ bleibt dabei ausgeklammert, da diese entweder bereits in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen beschrieben ist oder erst spätere Phasen anspricht, in denen bereits sehr detaillierte Informationen zur Verfügung stehen. Unabhängig der Detaillierungsebene werden die Gebäudeökobilanzen für das jeweilige Gebäude (Ist-Gebäude) und für ein Referenzgebäude auf Basis der nachfolgenden Rechenregeln berechnet. Für die Beurteilung der Umweltwirkungen des zu errichteten Gebäudes und des Referenzgebäudes werden die ökologischen Auswirkungen zu einer gemeinsamen Kenngröße in Form eines Umweltwirkungspotenzials (UWP) als jährlicher Durchschnittswert über den angesetzten Betrachtungszeitraum zusammengefasst:

$$UWP_G = UWP_N + UWP_K + UWP_{TGA} \tag{1}$$

Tabelle 1. Zuordnung Detaillierungsebenen, benötigte Inputinformationen und Outputinformationen zu den jeweiligen Phasen.

Table 1. Assignment of levels of detail, necessary input data and output data for each planning phase.

Nr.	Phase	Konkretisierungsstufen	Abschätzung basierend auf ...	Inputinformationen	Outputinformationen
1	Anlass und Initialisierung	Bausysteme	Benchmarks abgerechneter Projekte	Energiestandard Nutzungsart Bauweise Ausstattungsstandard	UWP^1 [kg Referenzsubstanz/ (m^2 NGF · Jahr)]
2	Bedarfsplanung und Grundkonzeption	Funktionssysteme	Benchmarks auf Grundlage typischer Elementsysteme	IFC Datei mit Zuordnung zu Funktionssystemkatalog	UWP^1 [kg Referenzsubstanz/ (m^2 NGF · Jahr)]
3	Entwurfs- und Genehmigungsplanung	Elementsysteme	Wichtigste Bauelemente und Positionen [27]	IFC Datei mit Zuordnung zu Elementsystemkatalog	UWP^1 [kg Referenzsubstanz/ (m^2 NGF · Jahr)]
4	Ausführungsplanung	Bauteilschichten	Wichtigste Bauelemente und Baukostengruppen [11, 19]	IFC Datei mit detaillierten Schichten und Materialklassifikation bzw. BSDD Zuordnung	UWP^1 [kg Referenzsubstanz/ (m^2 NGF · Jahr)]

1) UWP – Umweltwirkungspotenzial mit jeweiliger Referenzsubstanz bezogen auf die Nettogrundfläche und Betrachtungsdauer

- mit:
- UWP_G Gesamtes Umweltwirkungspotenzial über den gesamten Lebenszyklus für Konstruktion, Nutzung und Lebensende (EoL) des Gebäudes in [kg Ref. Subst.-Äqu./ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$] für die erste Ebene.
 - UWP_N Umweltwirkungspotenzial des Strom-, Wärme-, Nutzerstrombedarfs während der Nutzung [kg Ref. Subst.-Äqu./ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$]
 - UWP_K Herstellung, Instandhaltung Rückbau und Entsorgung der Konstruktion als jährlicher Durchschnittswert entstehendes Umweltwirkungspotenzial in [kg Ref. Subst.-Äqu./ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$]
 - UWP_{TGA} Herstellung, Instandhaltung Rückbau und Entsorgung der Anlagentechnik als jährlicher Durchschnittswert entstehendes Umweltwirkungspotenzial in [kg Ref. Subst.-Äqu./ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$]

Die Referenzwerte leiten sich allgemein ab aus einem fixen Anteil für den konstruktionsbezogenen Wert der emissionsbedingten Umweltwirkungen für Herstellung, Instandhaltung und Rückbau/Entsorgung [11, 19] sowie aus einem variablen Anteil für den nutzungsbezogenen Wert der emissionsbedingten Umweltwirkungen in Höhe des Energiebedarfs der Nutzungsphase je nach Energiestandard bzw. EnEV Berechnung. Der durchschnittliche Jahreswert für die Nutzung UWP_N bestimmt sich wie folgt:

$$UWP_N = UWP_{NS} + UWP_{NW} + UWP_{NI} \quad (2)$$

- mit:
- UWP_{NS} Umweltwirkungspotenzial des Strombedarfs während der Nutzung in [kg Ref. Subst.-Äqu./ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$]
 - UWP_{NW} Umweltwirkungspotenzial des Wärmebedarfs während der Nutzung in [kg Ref. Subst.-Äqu./ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$]
 - UWP_{NNS} Umweltwirkungspotenzial des Nutzerstrombedarfs während der Nutzung in [kg Ref. Subst.-Äqu./ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$]

Der variable Anteil errechnet sich dabei aus dem abgeschätzten bzw. ermittelten Strom- und Wärmebedarf, multipliziert mit definierten Umweltprofilen für Strom und Wärme [11, 19]. Lediglich die zugrundeliegenden Inputdaten und die Berechnung der Umweltprofile sind je Konkretisierungsebene unterschiedlich. Der Jahreswert für Strombedarf und Wärmebedarf während der Nutzung bestimmt sich auf Grundlage der durch die DGNB zur Verfügung gestellten Umweltwirkungs-Faktoren und den jeweiligen Endenergiemengen wie folgt:

$$UWP_{NS} = UWP_S \cdot E_S \quad (3)$$

- mit:
- UWP_S DGNB Faktor für Strom [Ref.-Substanz/kWh]
 - E_S Endenergiebedarf für Strom [kWh/ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$]

$$UWP_{NW} = UWP_W \cdot E_W \quad (4)$$

- mit:
- UWP_W DGNB Faktor für Wärme [Ref.-Substanz/kWh]
 - E_W Endenergiebedarf für Wärme [kWh/ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$]

$$UWP_{NNS} = UWP_{PS} \cdot E_{NS} \quad (5)$$

- mit:
- UWP_{PS} DGNB Faktor für Strom [Ref.-Substanz/kWh]
 - E_W Nutzerstrombedarf [kWh/ $(m^2_{NGFa} \cdot \text{Jahr})$]

4.1 Bausystemebene

Die erste betrachtete Ebene ist das Bausystem (Bild 6). Es bestimmt das zu betrachtende Gebäude über auf das gesamte Gebäude bezogene Merkmale. Der methodische Ansatz zur vereinfachten Abschätzung der Gebäudeökobilanzergebnisse beruht auf LCA-Benchmarks (BM) ausgewerteter Projekte. Basierend auf einer Analyse der zur Verfügung stehenden Informationen in der Phase 1 und der Haupteinflussfaktoren einer Gebäudeökobilanzierung wurden vier Hauptmerkmale abgeleitet:

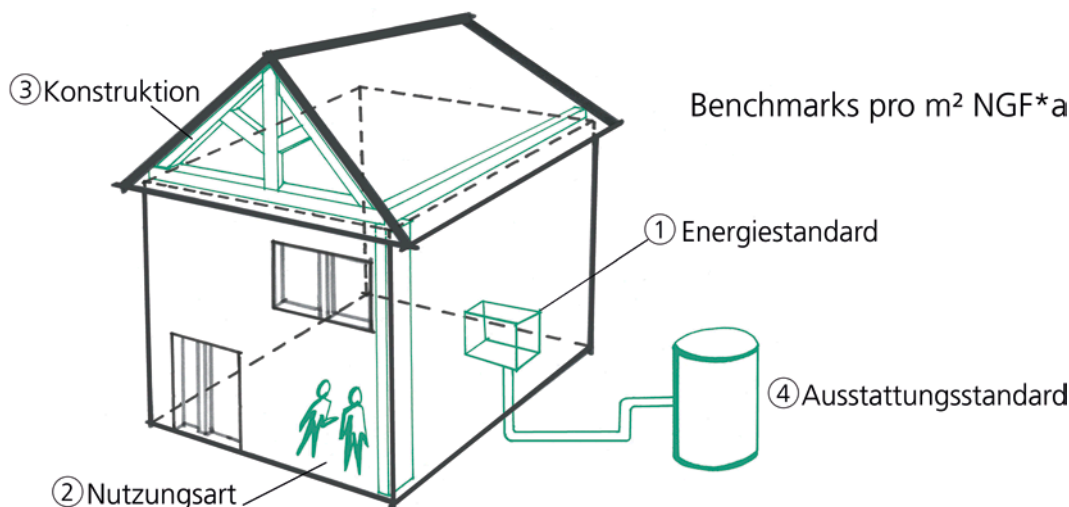


Bild 6. Schematische Darstellung der Konkretisierungsstufe Bausystem (Quelle: Fraunhofer IBP).
 Fig. 6. Schematic representation of the concretisation stage building system (Source: Fraunhofer IBP).

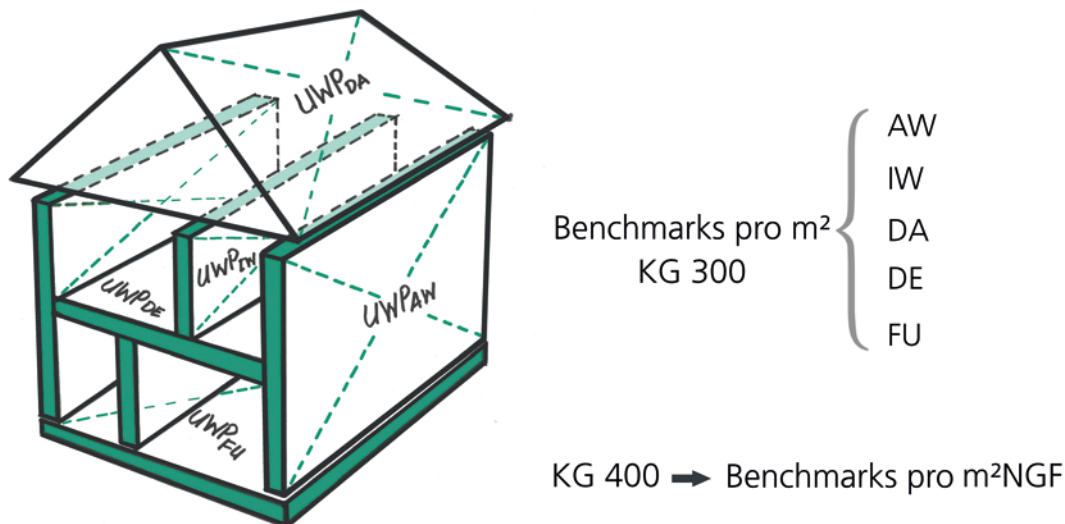


Bild 7. Schematische Darstellung der Detaillierungsebene Funktionssystem (Quelle: Fraunhofer IBP).
 Fig. 7. Schematic representation of the concretisation stage functional system (Source: Fraunhofer IBP).

- Nutzungsart – wirkt sich auf den Energieverbrauch und die Art der technischen Anlagen aus.
- Energiestandard – beeinflusst die Höhe des Energiebedarfs des Gebäudes und die wärmedämmende Hülle (z. B. Dämmstoffstärken).
- Konstruktion – beeinflusst die allgemeine Richtung der ausgewählten und verwendeten Konstruktion.
- Ausstattungsstandard – beeinflusst die Qualität der installierten Systeme für die Betriebsabläufe des Gebäudes.

Je Hauptmerkmal kann eine beschränkte Anzahl von qualitativen Ausprägungen getroffen werden. Diesen Ausprägungen sind wiederum entweder direkt Umweltprofilen zugeordnet (z. B. Konstruktion) oder werden mit Hilfe von Standardwerten (z. B. Energiestandard => Endenergiebedarf Strom und Wärme) und entsprechenden Umweltprofilen dynamisch auf der Grundlage von LCA-Benchmarks erstellt. Somit können erste Ökobilanzzielstellungen für das konkrete Bauprojekt abgeleitet werden. Zu jedem der Hauptmerkmale kann eine Reihe von begrenzten Alternativen ausgewählt werden. Entsprechend der jeweiligen Kategorien verschiebt sich die Art der ermittelten Informationen. Für die erste Kategorie „Energiestandard“ stehen fünf Alternativen von Energiestandards für Häuser zur Auswahl: EnEV, KfW70, KfW55, KfW40 und Plusenergiehaus. Es kann nur jeweils ein Energiestandard gewählt werden. Entsprechend des gewählten Energiestandards ist der Endenergiebedarf für Strom und Wärme hinterlegt.

Für die Kategorie „Nutzungsart“ ist die Hauptnutzung des Gebäudes anzugeben. Als Alternativen sind hierbei Festlegungen wie „Einfamilienhaus, Reihenhaus, Mehrfamilienhaus, Schule, Kita, Hotel, etc.“ auswählbar [28]. Für die Kategorie „Konstruktion“ ist zwischen Massivbau oder Leichtbau zu wählen. Je nach Bauweise kommen verschiedene Benchmarks auf Basis bisheriger am Fraunhofer IBP erstellter Ökobilanzstudien für Massiv- und Leichtbau zur Anwendung [29]. Die Kategorie „Ausstattungsstandard“ bezieht sich auf die Qualität der technischen Ausrüstung des Gebäudes. Es werden zwei Alternativen zur Verfügung

gestellt: hohe technische Qualität (Hoch TGA) und niedrige technische Qualität (Niedrig TGA). Die Werte für die Umweltauswirkungen dieser Kategorie werden soweit möglich in Kooperation mit der DGNB aus den Ergebnissen von DGNB-zertifizierten Gebäuden abgeleitet und um Richtwerte aus weiteren Forschungsprojekten ergänzt. Durch dieses Vorgehen können die Bausystem-Benchmarks durch alle durchgeführten Projekte auf Grundlage der vollständigen Ökobilanz-Ergebnisse validiert und angepasst werden.

4.2 Funktionssystemebene

Im nächsten Konkretisierungsschritt, dem Funktionssystem, wird das Gebäude auf Grundlage der zusätzlich verfügbaren Daten differenzierter betrachtet (Bild 7). In dieser Ebene gilt es, die Umweltwirkungen des Gebäudes auf Basis der wichtigsten Baukonstruktionselemente (KG300 und 400 nach DIN 276 [30] 2. Ebene) und spezifischer Energieträger zu ermitteln. Die Funktionssystemebene bietet die Möglichkeit – wenn weitere und detailliertere Informationen vorliegen – genauere umweltbezogene Zielstellungen für das Gebäude zu definieren. Auf Basis der Kubatur des Gebäudes und einer Spezifizierung des anlagentechnischen Systems (z. B. Luft-Luft-Wärmepumpe) können die Umweltwirkungen des Gebäudes detaillierter abgeschätzt und Variantenstudien auf Funktionssystemebene durchgeführt werden (z. B. Ziegelaußenwand mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) im Vergleich zu einer Holzständeraußenwand mit Zellulosedämmung). Dafür wurden Funktionselement-Benchmarks für die wichtigsten konstruktiven und anlagentechnischen Systeme auf Grundlage der Positionen Neubau des Baukosteninformationszentrums BKI erstellt. Der Funktionssystemkatalog wurde auf Basis detailliert modellierter Standardkonstruktionen (Bauschichtebene) und deren Abstraktion (Elementsystemebene) aus mehreren Elementsystem-Benchmarks der einzelnen (Funktions-) Bauteile des Gebäudes erstellt. Durch dieses Vorgehen können die Funktionssystem-Benchmarks durch alle durchgeführten Projekte an

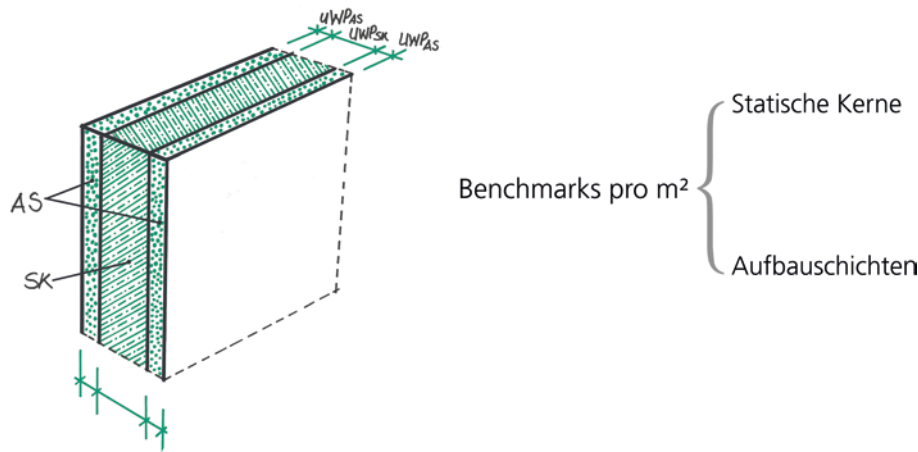


Bild 8. Schematische Darstellung der Detaillierungsebene Elementsystem (Quelle: Fraunhofer IBP).
Fig. 8. Schematic representation of the concretisation stage element system (Source: Fraunhofer IBP).

die detaillierte Planung und die tatsächlich gebaute Konstruktion validiert und angepasst werden.

4.3 Elementsystemebene

Funktionssystem und Elementsystem sind miteinander verknüpft. Das Elementsystem (Bild 8) kann als Teil des Funktionssystems betrachtet werden und teilt die jeweilige Konstruktion in zwei Teilkomponenten auf, wobei eine Komponente die Tragschicht abbildet und die andere die Aufbauschicht. Die Aufbauschicht umfasst eine Vielzahl von Materialien, welche die Tragschicht nach Außen oder Innen verkleiden. Die Tragkonstruktion besteht aus statisch tragenden Komponenten. Die jeweiligen Komponenten der Elementsystemebene werden auf Basis von Standarddetailsammlungen abgeleitet und je Kostengruppe (DIN 276 [30]. Gliederungsebene) und je Tragkonstruktion/Ausbauteil modelliert. Die jeweiligen Materialschichten je Elementsystem können in Realität unterschiedliche Ausprägungen annehmen (z. B. unterschiedliche Dämmstoffstärken eines WDVS). Im Zuge der Erstellung von Elementsystem-Benchmarks werden Durchschnittswerte für die Materialausprägungen angesetzt, die auf Werten aus Standardkonstruktionssammlungen [3] beruhen und Randbedingungen wie z. B. Energiestandards berücksichtigen. Die so entwickelten Elementsystem-Benchmarks werden in einem Elementsystemkatalog zusammengefasst. Die Erstellung der Gebäudeökobilanz auf Elementebene funktioniert ähnlich wie auf Funktionssystemebene über Angabe von Flächen bzw. Stück, allerdings auf einer detaillierteren Ebene. Insgesamt entsteht so ein flexibles und anpassbares System, um eine Vielzahl von Konstruktionen auf Basis dieser Komponenten modular abzubilden. Die Umweltwirkungen werden pro Bezugsgröße (z. B. m^2 Fläche) je Elementsystemkomponente ausgewiesen.

5 Relevanz für Building Information Modeling (BIM)

Das vorgestellte Konzept zur in frühen Planungsphasen stufenweise begleitenden Anbindung von LCA-Informationen an die Konkretisierungsstufen der Gebäudemodellinformationen geht über bisherige Ansätze hinaus (s. Tabelle 2). Die BIM-LCA-Anbindung beschränkt sich gegen-

wärtig auf eine direkte Zuordnung von BIM-Informationen zu LCA-Datensätzen (Mapping), aufbauend auf dem Eigenschaftskonzept für LCA-Informationen im IFC-Schema (Version IFC2x4). Die Nutzung der BIM-Informationen bleibt dabei auf einen fortgeschrittenen Konkretisierungsgrad begrenzt, da sowohl Bauteile erzeugt, Schichten definiert und Materialien/Produktdaten bestimmt sein müssen, um dann eine standardisierte Gebäudeökobilanz zu berechnen.

Dieses Abbildungskonzept wäre zwar prinzipiell auch in frühen Phasen umsetzbar, jedoch ist der erforderliche Konkretisierungsgrad der Informationen ökonomisch und methodisch unverhältnismäßig: Eine „Verlagerung der Detailplanung vor das Projekt“ würde die in frühen Phasen maßgeblichen Verantwortungen und Entscheidungshorizonte ignorieren und der problemgerechten Entwicklung einer Planungslösung „vom Groben zum Detail“ widersprechen. Für die situationsgerechte Entscheidungsunterstützung ist in frühen Planungsphasen eine differenzierte Abbildung sowohl struktureller wie auch inhaltlicher Unschärfe erforderlich – am Planungsgegenstand und bei der Anbindung von LCA-Informationen. Hierfür stellt IFC eigenständige topologische Abbildungskonzepte zur Verfügung: räumliche Elemente (z. B. *IfcBuilding*, *IfcStorey*, *IfcZone*, *IfcSpace*) sowie funktionale Elemente (z. B. *IfcSystem*, *IfcDistributionSystem*). Graduell können diese LCA-Informationen im Planungsverlauf mit den IFC-Abbildungskonzepten zur erweiterten Beschreibung von Bauelementen (z. B. *IfcProperty*, *IfcMaterial*, *IfcElementQuantity*) durchgängig an einen sich zunehmend konkretisierenden Planungsgegenstand angebunden werden. So können phasenbezogen die für eine Gebäudeökobilanz identifizierten Informationen im IFC-Schema abgebildet und auf Basis des Benchmark-Konzepts richtungssicher interpretierbare Gebäudeökobilanzen erstellt werden. Für die Implementierung der phasenbezogenen LCA-Informationen kann teilweise auf integrierte Informationen zurückgegriffen werden (z. B. *IfcMaterial*, *TotalHeatingLoad*, *TotalCoolingLoad*, *IfcElementQuantity*). Für die Integration von Informationen aus frühen Planungsphasen müssen darüber hinaus weitere Property-Sets definiert und konsistente, mit der EN 1804 konforme Umweltwirkungen in BIM integriert werden (*Pset_EnvironmentalImpactIndicators*,

Tabelle 2. Vergleich der Abbildungskonzepte
Table 2. Comparison of mapping concepts

BIM2LCA-Ansatz zur Abbildung von LCA Informationen	Aktueller Ansatz zur Abbildung in der IFC-Version IFC2x4 Add2
Unabhängig von Detailtiefe des modellierten Planungsgegenstandes.	Auszeichnung der LCA Eigenschaften erfordert entsprechend modellierte Bauteile.
Aggregierte LCA-Informationen können als Katalogdaten an den Planungsgegenstand verknüpft werden.	Die LCA Eigenschaften können nur explizit auf Bauteilebene vergeben werden. Das Angeben aggregierter LCA-Informationen, beispielsweise für das gesamte Gebäude, ist nicht möglich.

Pset_EnvironmentalImpactValues), die auf Gebäude-, Konstruktions- und Materialebene angewendet werden können.

In ein weiterentwickeltes IFC-Schema müssen zusätzliche Informationen integriert werden, die aus der Berechnung einer Gebäudeökobilanz erzeugt werden können. Beispielsweise liegen in der *Ökobau.dat* den Baumaterialien eigene Daten zur Dichte zu Grunde, die zur Berechnung der LCA-Daten verwendet werden. Diese Informationen können sich von den Daten zur Dichte im BIM-Model unterscheiden und müssen daher als Zusatzinformationen im IFC-Schema abgebildet werden. Zudem werden bei der LCA-Berechnung Annahmen zur Instandsetzung, Lebensdauer und zum „End-of-Life“ getroffen, die beispielsweise auch für Beteiligte in der Nutzungsphase wichtig sind und im IFC-Schema abzubilden sind.

6 Diskussion und nächste Schritte

Insgesamt könnte das hier vorgestellte Konzept der Erstellung von LCA Benchmarks auf verschiedenen Konkretisierungsstufen dazu beitragen, die Ökobilanz von der bisherigen Nischenanwendung, primär im Nachgang an die Fertigstellung des Bauwerks, zu einer planungsbegleitenden Entscheidungsunterstützung weiterzuentwickeln. Dazu müssen allerdings die LCA-Benchmarks je Stufe auf einer deutlich breiteren Basis erhoben werden. Bereits eingereichte Projekte in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen wie DGNB und BNB können bei der initialen exemplifizierenden Umsetzung im Forschungskontext (vgl. BIM2LCA4IP [24]) als erster Kennwert dienen. Langfristig ermöglicht die dabei angewendete Aufbereitungsmethodik, durch digitale Schnittstellenentwicklung hin zu diesen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen, eine automatische Generierung dieser LCA-Benchmarks je Ebene zu gewährleisten. Darüber hinaus soll eine Updatefähigkeit zwischen den *Ökobau.dat* Versionen [31] ermöglicht werden, um auch Veränderungen sichtbar zu machen, die in den unterschiedlichen Versionen begründet sind. Die Standardisierung der Schnittstelle dient dabei selbstlernenden Systemen als Grundlage, die aufgrund weiterer einheitlich eingereicherter Projektinformationen eine stetig wachsende Datenbasis zur Verfügung haben. So könnten immer genauere LCA-Benchmarks für verschiedene Phasen zur Verfügung gestellt werden. Als nächste Arbeitsschritte im Projekt werden vorbereitend zur praxisrelevanten Schnittstellenentwicklung Excel-Berechnungswerkzeuge für die Konkretisierungsstufen „Bausystem“, „Funktionssystem“ und „Elementsystem“ erstellt. So können die exemplifizierten LCA-Informationen sowie ihre Zusammensetzung be-

reits einem ausgewählten Anwenderkreis zu Testzwecken überlassen und erste Evaluierungen in den Entwicklungsprozess eingebunden werden. Aufbauend auf dem Feedback werden im Anschluss die Ebenen nochmals überarbeitet und funktional innerhalb einer webbasierten Ökobilanzsoftware integriert. Ähnlich wie bei existierenden Kostenberechnungskatalogen sollen somit langfristig LCA Benchmark Kataloge für verschiedene Gebäudetypen, Energiestandards und Planungsphasen entstehen, die planungsbegleitend genutzt werden können, um Gebäude hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen zu optimieren. Bezüglich des etablierten Austauschformats IFC werden diese einzeln entwickelten Systemebenen harmonisiert. Mit der Entwicklung einer durch ein entsprechendes Informationslieferungshandbuch gerahmten Model View Definition (MVD) werden sie im Kontext des Forschungsprojektes formalisiert und stehen damit sowohl den Tools auf Seiten der Planung (BIM-Autorenwerkzeuge) sowie den Fachwerkzeugen auf Seiten der Ökobilanz (z. B. Generis, eLCA) und den Bewertungssystemen (z. B. eBNB, DGNB) zur Implementierung entsprechender Schnittstellen zur Verfügung. Dabei können diese als Katalogeinträge auf verschiedenen Ebenen zur Informationsverdichtung bereitgestellten LCA-Informationen durchgängig mittels Referenzen an die relevanten IFC Klassen verknüpft werden, beispielsweise Bausystem an die Gebäudeklasse bzw. Funktionssystem an die Klasse der Wandbauteile. Darüber hinaus wird auf der detailliertesten Ebene der Bauteilschichten und -komponenten die Anbindung an bestehende LoX Ansätze ermöglicht. Hierauf baut beispielsweise auch eine von Seiten der Datenerfassung deutlich optimierte Ökobilanz im Rahmen einer Gebäudezertifizierung (DGNB, BNB) auf, die zudem im Projektkontext verfolgt wird. Als nächster Schritt werden die oben dargestellten Konkretisierungsstufen und LCA Benchmarks innerhalb eines Tools für erste Testanwendungen zur Verfügung gestellt. Dadurch sollen weitere Erkenntnisse im Umgang mit LCA Benchmarks in frühen Planungsphasen gewonnen und das Konzept und die Toolanwendung verbessert werden. Insgesamt soll so Planern ein anwendbares Tool bereitgestellt werden, dass vor allem in frühen Planungsphasen, eine Optimierung hinsichtlich der Umweltwirkungen von Gebäuden ermöglicht.

Danksagung

Diese Veröffentlichung wurde innerhalb des Forschungsprojektes BIM2LCA4IP (BIM-basierte Integrale Planung) im 6. Energieforschungsprogramm („Energieoptimierte Gebäude und Quartiere“) vom deutschen

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) finanziert (Förderkennzeichen: 03ET1466A-D).

Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, 2016.
- [2] Erhorn, H., Bergmann, A.: Wege zum Effizienzhaus Plus – Grundlagen und Beispiele für energieerzeugende Gebäude. Bundesministerium für Umwelt; Naturschutz; Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2016.
- [3] UNEP: Global Material Flows and Resource Productivity: An Assessment Report for the UNEP International Resource Panel. Paris.: United Nations Environment Programme, 2016.
- [4] Keßler, H.: Urban mining – Ressourcenschonungspotenziale einer hochwertigen Nutzung des anthropogenen Lagers im Gebäudebestand. In: Witzhausen-Institut (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, 2011, S. 1.
- [5] DIN EN ISO 14040:2006 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen 13.020.10. Berlin: Beuth, 2006.
- [6] DIN EN ISO 14044:2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen 13.020.10. Berlin: Beuth, 2006.
- [7] Gantner, J.: Wahrscheinlichkeitsbasierte Ökobilanzierung zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in zukünftigen Entscheidungen und Ereignissen. Dissertation. Universität Stuttgart; Institut für Bauphysik, 2017.
- [8] Wachsmann, K.: Wendepunkt im Bauen. Wiesbaden: Krausskopf Verlag, 1959.
- [9] Hall, A. D.: A Methodology for Systems Engineering. New York: Van Nostrand Reinold Company, 1962.
- [10] Haberfellner, R., Weck, O. d., Fricke, E., Vössner, S.: Systems Engineering: Grundlagen und Anwendung. Zürich: Orell Füssli, 12. Aufl., 2012.
- [11] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), 13.8.2018, <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/>.
- [12] Rexroth, K., v. Both, P.: Integrale Planung für die energieeffiziente Stadt. In: Wagner, H.-J., Both, P. v. (Hrsg.): Gute Beispiele der Umsetzungsphase. Berlin Münster: LIT, 2016, S. 137–148.
- [13] Schönwandt, W.: Planung in der Krise?: Theoretische Orientierungen für Architektur, Stadt- und Raumplanung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2002. Aufl., 2002.
- [14] Huovila, P., Hyvärinen, J., Palos, S., Rekola, M., Chevalier, J., Fiès, B., Lebègue, E.: Linking SBA metrics to IFCS and BIM.: Final Report. Building Information Modelling and Environmental Indicators. SB Alliance, 2012.
- [15] DIN EN ISO 16739: Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauindustrie und im Anlagenmanagement 35.240.67, 14.8.2018, <http://perinorm-fr.redi-bw.de/volltexte/CD21DE12/2584995/2584995.pdf>. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [16] DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; 91.010.99, 18.11.2014, <http://perinorm-fr.redi-bw.de/volltexte/CD21DE06/1865355/1865355.pdf>? Berlin: Beuth.
- [17] DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011 91.040.99, 9.12.2014. Berlin: Beuth Verlag.
- [18] Eberl, S.: OPEN HOUSE: Assessment Guideline. TU München, 2013.
- [19] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen GmbH: Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude 2018, 2018.
- [20] Gantner, J., et al.: EeBGuide Guidance Document Part A: Products. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2015.
- [21] Gantner, J., et al.: EeBGuide Guidance Document Part B: Buildings. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2015.
- [22] Landgraf, B., Krimmling, J., Müller, H.: Entwicklung einer Methodik zur Festlegung von Benchmarks für LCA und LCC im Rahmen der BNB-Systementwicklung – BNB-Referenzmodell: Endbericht. Steinbeis-Hochschule-Berlin GmbH, 2015.
- [23] Fraunhofer IBP: Eigene Befragung und Feedback der Nutzer des sbs-Online-Tools, 2018.
- [24] Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Fachgebiet Building Lifecycle Management: BIM-basierte Integrale Planung – Projektübersicht, 9.8.2018, <http://blm.ieb.kit.edu/1313.php>.
- [25] Schönwandt, W.: Probleme als Ausgangspunkt für die Auswahl und den Einsatz von Methoden. In: : Grundriss der Raumordnung und Raumentwicklung. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 1. Aufl., 2011, S. 291–310.
- [26] Rexroth, K., Both, P. v.: Planungsprozessmodelle: Synthese und Übertragbarkeit für den Anwendungskontext energieeffiziente Stadt. In: Koch, M. K., McKenna, V. (Hrsg.): Methoden und Modelle. Münster Berlin: LIT, 2014, S. 51–60.
- [27] BKI Baukosteninformationszentrum: Baukosten Gebäude + Bauelemente + Positionen Neubau 2016. Statistische Kostenkennwerte Teil 1 + Teil 2 + Teil 3, 2016.
- [28] Fraunhofer IBP: District ECA. Stuttgart, 2017.
- [29] Mahler, B., Idler, S., Nusser, T., Gantner, J.: Energieaufwand für verschiedene Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus. Umweltbundesamt, 2018.
- [30] DIN 276-1: Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau 91.010.20, 17.11.2014. Berlin: Beuth Verlag.
- [31] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: Ökobilau.dat, 13.8.2018, <http://www.oekobaudat.de/2018>.

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Johannes Gantner, Johannes.Gantner@ibp.fraunhofer.de
 M.Sc. Rafael Horn, rafael.horn@ibp.fraunhofer.de
 M.Sc. Olivia Jorgji, olivia.jorgji@ibp-extern.fraunhofer.de
 Dipl.-Ing. Matthias Fischer, matthias.fischer@ibp.fraunhofer.de

Alle:

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
 Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung
 Wankelstraße 5
 70563 Stuttgart
www.ibp.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Petra von Both, petra.vonboth@kit.edu
 Dipl.-Ing. Architekt Karsten Rexroth, karsten.rexroth@kit.edu
 Dipl.-Ing. Sebastian Ebertshäuser, sebastian.ebertshaeuser@kit.edu

Alle:

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Building Lifecycle Management (BLM)
 Englerstraße 7
 76131 Karlsruhe

Dr. sc. Christian Schmid, schmid@intep.com
 Integrale Planung GmbH
 Pfingstweidstrasse 16
 CH-8005 Zürich

