

# BIM-basierte Integrale Planung

## Gemeinsamer Schlussbericht

-- Manuskript nur zur projektinternen Verwendung --

**BMW-gefördertes Verbundprojekt der Partner KIT, IBP, DGNB & intep**

**Förderkennzeichen: 03ET1466 A, B, C & D**

**Betreut durch den Projektträger Jülich (PtJ)**

**Laufzeit vom 01. Juni 2017 bis zum 30. April 2020**

*Vorhabensbezeichnung (Akronym):*

**BIM-BASIERTE INTEGRALE PLANUNG (BIM2LCA4IP)**

*Teilvorhaben*

*Förderkennzeichen*

PLANUNGSMETHODISCHE UND TECHNOLOGISCHE OPTIMIERUNG

03ET1466A

Zuwendungsempfänger (zugleich als Verbundkoordinator):



**Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

Fachgebiet Building Lifecycle Management (BLM)

INTEGRATION VON BEWERTUNGSSYSTEMEN ZUR NACHHALTIGEN GEBÄUDEPLANUNG

03ET1466B

Zuwendungsempfänger:



**Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V.**

DGNB e.V.

INTEGRATION VON ÖKOBILANZIERUNGSWERKZEUGEN

03ET1466C

Zuwendungsempfänger:



**Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)**

Nachhaltiges Bauen - Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)

OPTIMIERUNG IN BEZUG AUF PLANUNGSMETHODIK UND INFORMATIONSTECHNOLOGIE

03ET1466D

Zuwendungsempfänger:

**intep Intep - Integrale Planung GmbH**

Bereiche Sozioökonomie und Nachhaltiges Bauen

## Autoren



**Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**  
Fachgebiet Building Lifecycle Management (BLM)

---

Sebastian Ebertshäuser  
Saoussen Jouini  
Petra von Both  
(Katharina Graf\*, Karsten Rexroth\*)

---



**Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen –  
DGNB e.V.**  
DGNB e.V.

---

René Traunspurger  
Christine Ruiz Durán  
Anna Braune

---



**Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)**  
Nachhaltiges Bauen - Abteilung Ganzheitliche  
Bilanzierung (GaBi)

---

Rafael Horn  
Roberta Di Bari  
Olivia Jorgji  
(Johannes Gantner\*)

---



**Intep - Integrale Planung GmbH**  
Bereiche Sozioökonomie und Nachhaltiges Bauen

---

Christian Schmid  
Heidi Mittelbach  
René Sigg  
(Andrea Wittel\*)

---

\* ehemalige Projektmitarbeiter

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt allein bei den Autoren.

## **Danksagung**

Das Forschungsprojekt „BIM basierte Integrale Planung“ wurde durch den Projektträger Jülich (PtJ) unter dem Förderkennzeichen 03ET1466 finanziert. Die Finanzierung erfolgte aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, wofür wir uns herzlich bedanken.

Wir bedanken uns bei Allen, die zum erfolgreichen Abschluss dieses Projektes beigetragen haben.

## **Inhaltsteile**

TEIL I – KURZDARSTELLUNG	1
TEIL II – EINGEHENDE DARSTELLUNG	8
TEIL III – WISSENSCHAFTLICHE AUSARBEITUNG	19
LITERATURVERZEICHNIS	126
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	132
TABELLENVERZEICHNIS	134
GLOSSAR	135
ANHANG	

## TEIL I – KURZDARSTELLUNG

### 1. Aufgabenstellung

Das Projekt hat sich zum Ziel gesetzt, eine bessere Breitenwirkung und planungsbegleitende Anwendung der vorhandenen IT-gestützten Ökobilanzierungs- und Nachhaltigkeitsbewertungswerkzeuge zu unterstützen. Mit der Entwicklung einer durchgängig im Prozess anwendbaren (Daten-) Schnittstelle von der BIM-basierten Planung zu den LCA und SBA Werkzeugen soll hierfür eine technische Grundlage geschaffen werden. Auf einer rahmengebenden Ebene der Planungsmethodik werden sachdienliche organisatorische Aspekte eines planungsbegleitenden Optimierens der Planungslösung gemäß den Zielen des Nachhaltigen Bauens mit einem Fokus auf die ökobilanzielle Betrachtung vor dem Hintergrund einer Integralen Planung beleuchtet und herausgearbeitet. Diese Gesichtspunkte bilden den prozessbezogenen Rahmen, in dem das szenariobasierte analysieren und synthetisieren konkreter Informationsbedarfe eines planungsbegleitenden Einsatzes von IT-gestützten LCA-Methoden auf einer technischen Ebene verortet sind. Diese Spezifikationsgrundlage ermöglicht dann Schnittstellen mittels geeigneter Datenstrukturen zu konzipieren und schließlich darauf aufbauende datentechnische Lösungen umzusetzen, zu demonstrieren und im gemäß dem szenariobasierten Rahmen zu evaluieren.

Zur prozessbezogenen Einordnung möglicher sinnvoller Anwendungen der Schnittstelle zur Anbindung von LCA- bzw. SBA-Werkzeugen an die digitale Repräsentation des Planungsgegenstands im Planungsprozess bedarf es eines Phasenmodells, das die Prinzipien der Integralen Planung berücksichtigt. Generell sollen die Phasen durch die planungsmethodisch bedeutsamen Aspekte einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Planung charakterisiert werden. Mit einem Fokus auf die Anwendung von LCA-Werkzeugen zur planungsbegleitenden Optimierung des Planungsgegenstands stellt das Phasenmodell einen geeigneten Rahmen, in dem unterschiedliche Anwendungsfälle konkretisiert und verortet werden können. Diese entlang des Planungsprozesses platzierten Anwendungsfällen stellen verschiedene bauwerksbezogene LCA-Methoden dar, wie LCA-Benchmark basierter Zielbestimmung, Variantenvergleich zu LCA-typologischen Konstruktionstypen bzw. vollwertige Ökobilanz der spezifischen Bauwerksdaten. Basierend auf dem für die jeweiligen Anwendungsfälle analysierten Informationsbedarf können Struktur, Granularität und Informationsdichte aller Fälle in einem objektorientierten Datenmodellschema zusammengeführt werden. Das Schema wird sodann mit existierenden Bauwerkinformationsmodell-Standards abgeglichen, um den Ansatz einer darauf aufbauenden technischen (Daten-) Schnittstelle übertragbar machen zu können. Mittels in das Projekt eingebrachter Werkzeuge, die für eine Bedienung der Datenschnittstelle weiterentwickelt werden, bzw. weiterer im Projekt zu entwickelnder Hilfsmittel und Systeme wird eine den Datenfluss zwischen einer BIM-basierten Planung und der Ökobilanz sowie weiter zur Nachhaltigkeitsbewertung demonstrierende Werkzeugkette prototypisch umgesetzt. Anhand der Werkzeugkette kann der Mehrwert des verfolgten Ansatzes einer durchgängigen Schnittstelle aufgezeigt werden. Das Potential zur Verbesserung einer in der heutigen Praxis noch stark (durch datentechnische Probleme bzw. fehlende fachliche Awareness) gehemmte Anwendung von Ökobilanz-Werkzeugen lässt sich (theoriegetrieben) praxisemulierend an einem Fallbeispiel evaluieren.

### 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

An dem Verbundprojekt nahmen Partner mit nachgewiesener Expertise für die darin fokussierten Themen- und Forschungsfelder teil. Von der fachlichen Seite brachte der Partner Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. eines der beiden großen

Nachhaltigkeitsbewertungssysteme der 2. Generation mit in den Ansatz des Forschungsprojektes. Mit dem Werkzeug Generis (ehemals SBS) des Verbundpartners IBP kam zudem eines der in der Praxis am weitesten verbreiteten Ökobilanzwerkzeuge zur Erstellung einer LCA im Rahmen einer Gebäudezertifizierung mit in den Projektkontext. Aufgrund seiner Ausgründung aus dem IBP steht dem Werkzeug auch die Expertise eines der weltweit führenden Hersteller normbasierter Environmental Product Declarations (EPD) nahe. Die Planungsmethodik als wichtiger konzeptioneller Baustein des im Projekt verfolgten Lösungsansatzes wurde neben dem erfahrenen Praxispartner Intep – Integrale Planung GmbH von dem auf eine lange Tradition im system- und ganzheitlichen, planungsmethodischen und ökobilanziellen Bereich zurückblickenden Partner KIT vertreten. Zudem konnte KIT auf Seiten der Datenmodellierung bereits auf Erfahrungen in der Schnittstellenentwicklung im Bereich der Energieeffizienz (auf Gebäude- wie auch auf Stadtebene) zurückgreifen und hatte für die neuen Methoden eines modellbasierten Arbeitens sowohl bezüglich offener Standards als auch ihrer technischen Datenhandhabung und Qualitätssicherung auf ihre langjährige Expertise zurückgreifen können. Auch die langjährige aktive Tätigkeit im Umfeld der Standardisierungs- und Normungstätigkeiten im Umfeld von BIM (z.B: VDI 2552, buildingSMART Fachgruppe „BIM und Nachhaltigkeit“) ermöglichte Synergien.

### **3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Die Konzeption und Entwicklung der technischen Ebene mit der generalisierten XML-Schnittstellen BIM-LCA-Bewertung und entsprechenden Konvertierungswerkzeugen, Import- und Exportschnittstellen wird in enger Kooperation von den Partnern BLM, IBP sowie der DGNB bearbeitet. Dabei fokussiert das BLM auf den Prozessschritt BIM sowie die Konvertierung in das LCA-Input-Format, das IBP auf den Import der LCA-Input-Daten in das LCA-Werkzeug (SBS) sowie den Export von LCA-Ergebnisdaten zur weiteren Nutzung in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen. Die DGNB wirkt bei der inhaltlichen Spezifikation der generalisierten Schnittstelle LCA-Bewertung mit und entwickelt selbst ein entsprechendes Importwerkzeug zur Nutzung der LCA-Result-Daten in der Zertifizierungssoftware der DGNB.

Die Prozessebene (wissensbasiertes Phasenmodell) mit dem zugehörigen Planungshilfsmittel wird kooperativ von BLM und Intep bearbeitet, wobei das BLM den übergeordneten Prozessrahmen (Phasenmodell) entwickelt. Intep wird bei der Konzeption eher praxisbezogene Erfahrungen und Wissensinhalte einbringen, wohingegen das BLM seine wissenschaftliche konzeptionelle Expertise einbringt. Die Erarbeitung der konkreten Wissensinhalte und praxisnahe Beispieldaten ist schwerpunktmäßig eher auf Seiten von Intep verortet. Die Konzeption und technische Umsetzung des Planungshilfsmittels (webbasierte phasenbezogene Informationssammlung) ist Schwerpunkt des BLM, wobei Intep bei der Entwicklung des nutzerbezogenen (funktionalen) Lastenheftes in die Produktspezifikation miteinbezogen wird.

#### **3.1 Logische Arbeitsfolge – Prozessabläufe und Abhängigkeiten**

Die logische Arbeitsfolge ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die zeitliche und ressourcentechnische Abfolge der Arbeitspakete wurde entsprechend der einzelnen aufeinander aufbauenden Arbeitspakete gegliedert. Dabei konnte die enge thematische Verzahnung der prozessbezogenen planungsmethodischen Untersuchung und der datenbezogenen technischen Schnittstellenentwicklung durch eine parallele, entkoppelte Bearbeitung unter stetiger Rückkopplung realisiert werden.

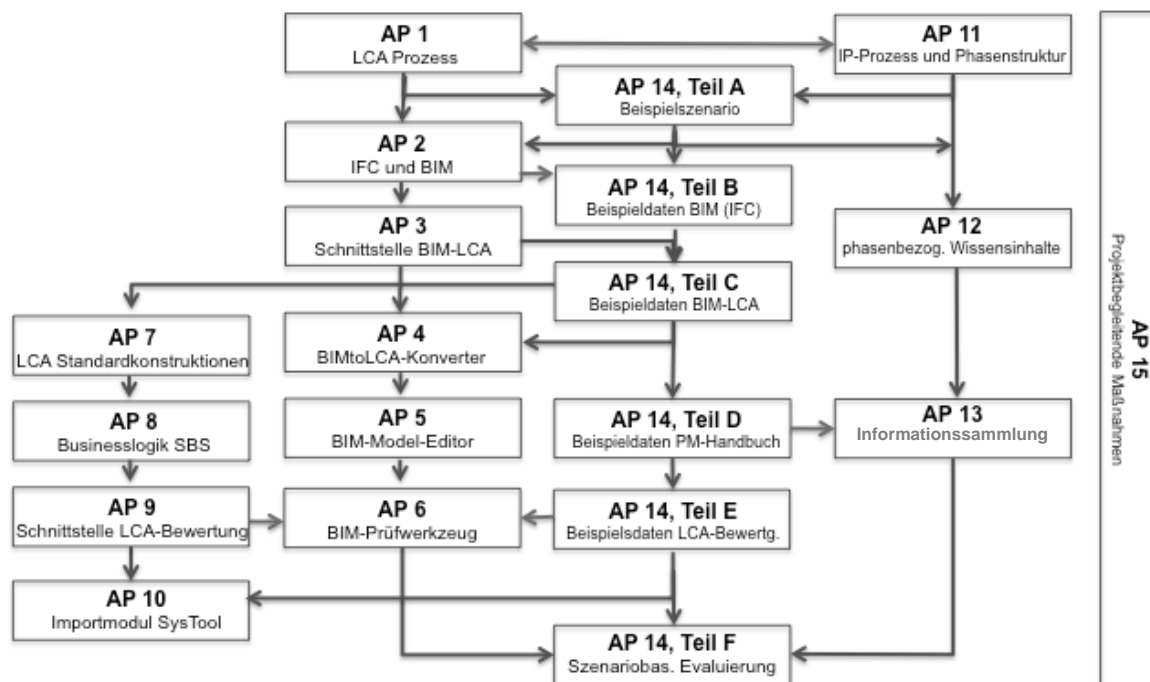


Abbildung 1 Ablaufschema des Projektes mit Bezug zu den Arbeitspaketen

## 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

### 4.1 Integrale Planung

Integrale Planung (IP) (lat. integrare = wiederherstellen, ergänzen) wird in verschiedenen Disziplinen mit unterschiedlichen Bedeutungsschwerpunkten verwendet. Integral bedeutet: „zu einem Ganzen dazugehörend und es erst zu dem machend, was es ist“ (Duden) – also zusammenhängend und hervorbringend. Der Begriff adressiert sowohl die Vernetzung und Wechselwirkung von Elementen, als auch die Herausbildung von Eigenschaften eines Ganzen, die auf elementarer Ebene nicht anzutreffen sind.

Mit zunehmendem ökologischem Bewusstsein in den 1970er Jahren entwickelte sich für die Gebäudeplanung das Konzept der Integralen Planung mit dem Ziel, den Energieverbrauch von Gebäuden drastisch zu reduzieren. Dies sollte, gegenüber einer traditionell seriell ausgerichteten Planung, durch ein frühzeitiges teamorientiertes Einbeziehen der Planungsbeteiligten und eine zunehmende Computerintegration erreicht werden und den Planungsprozess parallelisieren [Bun86]. Zunehmende Anforderungen an die Gebäude führten bis heute zu Integrationsansätzen in horizontaler Richtung (Beteiligte) und vertikaler Richtung (Lebenszyklus) (vgl. Kohler 2004).

Wissenschaftlich theoretische Abhandlungen oder empirische Untersuchungen zur Methodik der Integralen Planung sind rar – allenfalls Positionsbestimmungen einzelner Planer oder aus der Praxis entstandene Leitfadensliteratur findet sich gelegentlich. Savanovic und Zeiler schlagen eine (objekt-) funktionsorientierte Methodik auf Grundlage der C-K-Theorie vor. Dem Vorgehensmodell wurden von Beginn an Teambearbeitung und die Verwendung von morphologischen Matrizen zugeordnet. Die Autoren kommen nach mehreren Entwicklungsschritten und Evaluationen zu dem Schluss, dass sich durch die vorgeschlagene Methodik die Wissensbereiche der Akteure zwar gut zusammenführen lassen (integrierte Konzepte), das eigentliche Ziel – durch die Methodik eine Transformation des Wissens hin zu integralen und innovativen Konzepten zu vollziehen – wurde jedoch nach Angabe der Autoren (noch) nicht erreicht (Zeiler 2010).

Durch die Antragssteller wurden, wie in den eigenen Vorarbeiten im Antrag beschrieben, in den vergangenen Jahren Methoden und Planungshilfsmittel für spezifische Anwendungsfelder der IP, wie die ziel- und anforderungsorientierte energetische Sanierung von Gebäuden (Projekt *LuZie*), die Unterstützung der horizontalen Integration durch Bereitstellung von Kommunikationsplattformen (Projekt *Intesol*) entwickelt. Auch liegen am BLM Grundlagenarbeiten zur Konzeption und Umsetzung systemischer Projektplanungsmodelle vor (von Both 2006).

Eine auf zielgruppenorientierte Bedürfnisse der Planungspraxis abgestimmte Entwicklung von assistierenden, prozessbegleitenden Hilfsmitteln, sowie die Aufarbeitung evaluierter Best-Practices, wie sie in diesem Vorhaben adressiert wird, fehlte bisher. Auch zur Verknüpfung der Methoden der Integralen Planung mit den innovativen Ansätzen des Building Information Modelling lagen zu Projektbeginn keine fundierten Arbeiten vor.

### 4.2 Nachhaltiges Bauen

Um nachhaltiges Bauen praktisch anwendbar, messbar und damit vergleichbar zu machen, haben die DGNB und das BMI (mit Unterstützung des BBSR) zwischen 2007 und 2009 gemeinsame Grundlagen für eine einheitliche deutsche Methodik der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden entwickelt. Das BNB-System findet Anwendung für Baumaßnahmen des BMI und wird für andere öffentliche Baumaßnahmen empfohlen. Das DGNB Zertifizierungssystem wird für Gebäude, Quartiere und Innenräume angewendet, ist in Deutschland marktführend und gilt weltweit als das umfassendste. Inzwischen wurden bereits über 6.850 Auszeichnungen durch die DGNB (Vorzertifikate und Zertifikate) in mehr als 26 Ländern verliehen (Stand 30.06.2020). Als Planungs- und Optimierungstool hilft es allen am Bau Beteiligten bei der Umsetzung einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsqualität. Die deutsche Bewertungsmethodik basiert auf einer ausgewogenen Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer, soziokultureller, funktionaler und technischer Aspekte unter Einbezug des Standorts. Inhaltlich fußt die deutsche Systematik auf drei wesentlichen Paradigmen, die sie von anderen am Markt verfügbaren Zertifizierungssystemen abheben: Lebenszyklusbetrachtung, Ganzheitlichkeit und Performanceorientierung. So wird innerhalb der Zertifizierung konsequent der gesamte Lebenszyklus eines Projekts betrachtet und anstatt einzelner Maßnahmen wird die Gesamtpformance eines Projekts bewertet. Dabei hat die Ökobilanzierung von Beginn an einen sehr hohen Stellenwert in der Gesamtbewertung und es konnten im Laufe der Jahre wertvolle Erfahrungen gewonnen werden. Gleichzeitig ist die Datenerfassung zur Durchführung einer LCA bisher mit einem hohen manuellen Aufwand und den damit verbundenen möglichen Übertragungsfehlern und Ungenauigkeiten verbunden.

### 4.3 Ökobilanz

Bestandteile der Nachhaltigkeitsbetrachtungen im Baubereich, wie beispielsweise die Methodik der Ökobilanz, sind bereits durch internationale und europäische Standards wie ISO 14040 (DIN14040 2009), ISO 14044 (DIN 2006), EN 15978 (DIN 2014), EN 15804 (DIN 2012) definiert oder werden näher in anerkannten Gebäudebewertungs- / Gebäudezertifizierungsprogrammen wie BNB, DGNB, HQE, BREEAM, LEED oder OPEN HOUSE beschrieben. Weiterhin gibt es eine Vielzahl von Handbüchern und Richtlinien zur Erstellung von Ökobilanzen welche keine Verbindlichkeit aufweisen, aber als Anhaltspunkte dienen können, z.b. ILCD Handbook und EeBBGuide (Gantner u.a. 2015a, Gantner u.a. 2015b).

Die Erstellung einer Ökobilanz wurde durch Softwaretools und Excel- Tool erlaubt und in Rahmen vom Bausektor durch geeignet „Sustainability Building Assessment“ Tool. Hierbei werden für bestimmte Planungsstände Ökobilanzen von Gebäuden erstellt auf die Basis von generischen (Ökobau.dat) sowie produktspezifischen (EPDs) Umweltinformationen. Zur Begleitung des Planungsprozesses wurden in den letzten Jahren auch geeignete LCA Schnittstellen, die einen Datenaustausch mit digitalen Gebäudemodellen (bspw. BIM Modellen) ermöglichen. Die dafür nötigen Angaben werden für einigen von denen unstrukturiert und/oder manuell übertragen. Das für eine Zertifizierung nach



BREAAM verwendete LCA Programm IMPACT weist zwar eine Schnittstelle zu BIM auf, jedoch werden die Umwelteinwirkungen einerseits äußerst vereinfacht dargestellt, was nicht der Komplexität gerecht wird, und andererseits die Potentiale, die in einer BIM-LCA-Verbindung liegen, nicht ausgeschöpft. Darüberhinaus gibt es einige wenige Software-tools (z.B. OneClick LCA), die gewisse BIM Informationen aus sehr standardisierten ifc Dateien lesen können (closed BIM) und an diese Ökobauteil Datensätze anfügen können, allerdings sehr vereinfacht und wie bereits erwähnt in späten Planungsphasen, was den Mehrwert einer planungsbegleitenden Ökobilanz in frühen Planungsphasen nicht ausreicht.

#### **4.4 BIM**

Praxisbeispiele und Studien zeigten bereits vor Beginn des Projektes sehr deutlich, dass sich durch die konsequente Anwendung modellbasierter Planungsmethoden (BIM) erhebliche Potentiale zur Qualitäts- und Effizienzsteigerung in Bauwesen erschließen lassen. (von Both 2012, Koggelmann 2013).

Trotz der durch die öffentliche Hand erkannten Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit (Koggelmann 2013), blieb die praktische Anwendung von BIM im deutschen Bauwesen in den vergangenen Jahren weit hinter den rasanten Entwicklungen in nordeuropäischen Ländern und dem angelsächsischen Raum zurück (von Both 2012, Stuhlmacher 2014), die BIM und IFC zum Teil bereits als obligatorische Voraussetzung für (öffentliche) Bauvorhaben festgeschrieben haben (Stuhlmacher 2014).

### **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Sowohl während der Bearbeitung des Projekts als auch nach seiner Beendigung wurde ein enger Kontakt zur interessierten Fachöffentlichkeit gepflegt und hierbei Arbeitsergebnisse mit Expertenmeinungen rückgekoppelt bzw. Ergebnisse vorgestellt und fachlich diskutiert.

#### **5.1 Assoziierte Projektpartner**

Ein wichtiger Teil des methodischen Vorgehens im Projekt zur Einbindung der Praxis bildete neben der einbezogenen Expertise des Praxispartners eine Gruppe von Unternehmen aus der Praxis, die als assoziierte Partner in die Analyse sowie die Evaluierung eingebunden wurden.

Im Laufe der Projektbearbeitung zeigte sich, dass mit dem Einbeziehen weiterer assoziierte Partner, wie bezüglich der österreichischen Materialklassifikation die Fa. inndata Datentechnik GmbH, der Praxisbezug der entwickelnden Lösungen weiter gestärkt werden konnte.

Assoziierte Partner des Verbundprojekts, denen wir an dieser Stelle für ihre Mitwirkung danken möchten, waren:

- SAINT GOBAIN building Glass Europe
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)
- ATP sustain
- inndata Datentechnik GmbH

#### **5.2 BBSR bzw. TH Köln/Uni Wuppertal**

Im Rahmen der Förderinitiative ZukunftBAU erteilte das BBSR zur Laufzeit des Projekts der FH Köln ein Forschungsauftrag zur Erstellung einer IFC-basierten Datenschnittstelle für die LCA Eingangsinformationen in das eLCA Tool. Dabei wurde der eBNB Anwendungsfall zur Zertifizierung von Bundesbauten zugrunde gelegt, dessen Prozessbeschreibung bereits durch die Universität Wuppertal analysiert und aufbereitet. Durch die große thematische Schnittmenge der beiden Projekte

bot sich ein Austausch an. Dieser wurde im Rahmen der Gremienarbeit (vgl. Abschnitt VDI) sowie der Standardisierungsarbeit (vgl. Abschnitt buildingSMART) vereinbart und durchgeführt. Im Diskussionsprozess zum Abgleich der beiden in den Forschungsprojekten erarbeiteten Ansätze für die Datenschnittstelle, konnte weiteres Potential für die Erstellung einer generalisierbaren Lösung festgestellt werden, das in weiteren gemeinsamen Forschungsprojekten gehoben werden soll.

### **5.3 Gremienarbeit: VDI 2552 Building Information Modeling Blatt 10.4 Ökobilanz**

Bei der Erstellung einer BIM Richtlinie durch den VDI wirkten die Projektbeteiligten bereits vor dem Projekt an den Themen des qualifizierten Datenaustausches mit. Während der Laufzeit des Projektes wurde mit dem Erarbeiten des Blattes Nummer 10 der Richtlinie die Arbeit an der Erstellung von formellen Arbeitsgrundlagen begonnen. Die Projektbeteiligten konnten im thematisch passenden Unterblatt 10.4 Ökobilanz wichtige Inputs aus den im Projekt erarbeiteten Ergebnissen beisteuern. Hierbei wurden auch der Rahmen zum Abgleich der auf Forschungsseite entwickelten Ansätze diskutiert und die Synchronisation zwischen der Richtlinienarbeit und der Standardisierung für den Bereich der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden besprochen.

### **5.4 buildingSMART Deutschland e.V. – Fachgruppe BIM und Nachhaltigkeit**

Mit der Initiierung des *Roundtables Nachhaltigkeit* konnten KIT,IBP und DGNB bereits 2018 im Rahmen der Wiederaufnahme der Gremienarbeit im buildingSMART Deutschland in neuzugründenden Fachgruppen einen wichtigen Ansatzpunkt für das Themenfeld der Nachhaltigkeit bzw. Ökobilanzierung von Gebäuden schaffen. Daraus entstand 2019 die offizielle bS DE Fachgruppe BIM und Nachhaltigkeit in die Ergebnisse des Projektes direkt in die internationale Standardisierung des Bauwerksinformationsmodells IFC fließen. Bereits während der Projektarbeit konnten (technische) Details mit dem in der Fachgruppe versammelten Expertise aus der Praxis abgeglichen werden. Zudem wurden die Rahmenbedingungen mit denen in der Richtlinienarbeit zur Vermeidung von Doppelarbeit abgeglichen.

### **5.5 IEA Annex 72 (<http://annex72.iea-ebc.org/>)**

Das Projekt treibt die Forschung voran, die bereits im Rahmen der EBC-Annex 56 und 57 durchgeführt wurde. Es erweitert den Anwendungsbereich von Annex 57, indem es die betrieblichen Auswirkungen der genutzten Gebäude einbezieht und neben dem Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen auch die Umweltauswirkungen berücksichtigt.

Das Projekt erforscht Harmonisierungsmöglichkeiten, die sich bei der Anwendung von LCA-Ansätzen auf Gebäude ergeben. Es fungiert als Plattform, um Erfahrungen und Wissen innerhalb der Partnerländer auszutauschen und die Anwendung von Ökobilanzen auf Gebäude in Ländern mit noch wenig Erfahrung zu fördern.

Besonders relevant für das Projekt „BIM2LCA4IP“ sind die folgenden Ziele: 1) Die Festlegung von Methoden für die Entwicklung spezifischer Umwelt-Benchmarks für verschiedene Gebäudetypen und 2) die Ableitung regional differenzierte Richtlinien und Werkzeuge für den Entwurf und die Planung von Gebäuden wie BIM für Architekten und Planen.

### **Arbeitsgespräch - Methodische Fragen der Lebenszyklusanalyse**

Teilnahme am Workshop „EnOB: KEA-Bauwerk. Grundlagen und Hilfsmittel für die Minimierung von Energieaufwand und Treibhausgas-Emissionen im Lebenszyklus von Gebäuden inkl. Beitrag zum IEA EBC Annex 72“ am 6.12.2018 in Frankfurt/Main

Im Rahmen des Workshops wurden aktuelle Forschungsprojekte und ausgewählte Experten eingeladen, ihren Blick auf lebenszyklusbezogene und methodische Fragestellungen sowie Hemmnisse bei der ökologischen Bilanzierung darzustellen. Hintergründe des Workshops waren:

- die politischen Bestrebungen auf Reduktion des Energiebedarfs im Gebäudebetrieb auf nahezu „NULL“,
- die derzeitige (politische) Diskussion um Integration und Aufnahme der Bewertung von Treibhausgas-Emissionen im Rahmen der EnEV,
- der wachsende (relative) Anteil der Baukonstruktion am Ökobilanz-Bewertungsergebnis,
- die Bestrebungen um Harmonisierung der ökologischen Modellierung des Gebäudelebenszyklus sowie die Integration von Planungshilfsmitteln (bspw. über BIM) auf internationaler Ebene (IEA Annex 72).

Zu den Ergebnissen konnte aus dem Projektkontext zu folgenden Punkten beigetragen werden:

zu TOP Aussprache

- Die Bereitstellung von Daten und methodischen Grundlagen für einen planungsbegleitenden Einsatz der Ökobilanzierung sollte beschleunigt werden.
- Fragen der planungsbegleitenden Nutzung der lebenszyklusbezogenen Ökobilanzierung sollten stärker bei der Ausbildung von Planern berücksichtigt werden

zu TOP Gebäudemodell

- Herausgearbeitet wurden Probleme und Datenlücken bei der angemessenen Beschreibung und Berücksichtigung der Haustechnik.

zu TOP Datenverfügbarkeit und -qualität

- Verwiesen wird auf eine aktuelle Publikation *Ökobau.dat 3.0–Quo Vadis?* (Gantner et. al., <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/9/129/htm>)
- Herausgearbeitet werden Hinweise zu Verbesserungsmöglichkeiten der Transparenz sowie zu Beschreibung und Darstellung der Datenqualität.

zu TOP Planungshilfsmittel/BIM

- Angeregt wird die Formulierung konkreter Anforderungen an BIM in Bezug auf die Unterstützung einer planungsbegleitenden Lebenszyklusanalyse (Zeitpunkt, Detaillierungsgrad, Ergebnisdarstellung und -aufbereitung)

zu TOP Festlegungen/Empfehlungen

- Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer vereinbaren einen Austausch von Hinweise zu relevanten Projekten und Forschungsergebnissen – siehe hierzu auch nächsten Punkt.

zu TOP Informationsaustausch

Nachstehend werden durch Teilnehmerinnen und Teilnehmer LINKS zu relevanten Projekten und Veröffentlichungen angegeben:

- von K. Lenz: Ökobau.dat
  - <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/9/129/htm>
- von S. Ebertshäuser / P. von Both:
  - <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bapi.201800016>

## **TEIL II – EINGEHENDE DARSTELLUNG**

### **1. Verwendung und Zielerreichung**

Wie in den Zwischenberichten bereits mitgeteilt, wurden die Mittel gemäß den im Antrag beschriebenen Arbeitspaketen genutzt. Dabei konnte mit einer grundlegenden Analyse der Methoden der Ökobilanz sowie bezüglich entsprechender Prozesse von deren Anwendung im Rahmen des Nachhaltigen Bauen fundierte Grundlagen zu einem planungsbegleitenden Einsatz aufbereitet werden. Parallel zu dieser fachlichen Untersuchung konnte bezüglich einer generellen Optimierung von Planungsprozessen bezüglich der Integralen Planung ein Phasenmodell in einer Synthese aus verschiedenen internationalen Ansätzen zusammengeführt und von den Praxispartnern gemäß ihrer Erfahrungen validiert werden. Darin konnten szenariobasiert für verschiedene Planungsstadien Aspekte bezüglich eines auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Bauens näher beleuchteten und Hinweise und Empfehlungen über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks herausgearbeitet werden. In einer Informationssammlung konnte dieses Wissen für die Öffentlichkeit aufbereitet werden, die ab dem kommenden Jahr (2021) dann als Webseite unter [info.bim2lca.org](http://info.bim2lca.org) abrufbar sein wird. Für ausgewählte Anwendungsfälle eines Datenaustausches zwischen der BIM-basierten Planung und dem Einsatz von unterschiedlichen LCA Methoden im Planungsverlauf, wurden im Rahmen von Szenarien Informationsbedarfe sowie benötigte Strukturen von sowohl den LCA spezifischen Eingabedaten als auch den architektonischen Abbildungskonzepten der Planungsgegenstände herausgearbeitet. Auf dieser Basis konnten entlang für den Anwendungskontext erweiterte normbasierten Vorgehensweisen einerseits Austauschprozesse und dazugehörige Informationsbedarfe formalisiert werden (vgl. Informationslieferungshandbuch) sowie andererseits basierend auf XML entwickelte Abbildungskonzepte zur planungsbegleitenden Darstellung von LCA-spezifische Informationen in praxisnahe Datenschemata überführt werden. Durch darüber hinaus gehenden Abgleich und formale Abbildung dieser Schema mittels in der Bauplanung verbreiteter offener Bauwerksinformationsmodelle konnten Grundlagen zur Standardisierung erarbeitet werden, die mittelfristig in die internationalen Modellstandard IFC einfließen sollen. Zur Demonstration der damit realisierten Schnittstelle wurden für einen Datenfluss von der BIM-basierten Planung zum LCA-Werkzeug GENERIS® und weiter zum Nachhaltigkeitsbewertungssystem der DGNB ein Workflow mit einer prototypischen Werkzeugkette umgesetzt. Für die Seite der Planung mussten bereits verfügbare Möglichkeiten von BIM Autorenwerkzeugen um prototypische Instrumente zur formalen Qualitätsprüfung und fachlicher Analyse für die Informationsstrukturen der Schnittstelle ergänzt werden. Auf Seiten der LCA und SBA Werkzeuge konnten für die Schnittstelle prototypische Im- bzw. Exportkomponenten implementiert werden. Anhand des Fallbeispiels vom Lernzentrum auf dem KIT Campus konnte der Datenfluss durch die Schnittstelle dann demonstriert und damit der Schnittstellenansatz in verschiedenen Veröffentlichungen der interessierten Fachöffentlichkeit präsentiert werden.

### **2. Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Die Personalmittel bildeten im Verbundhaben die gewichtigste Position der zahlenmäßigen Nachweise aller Verbundpartner. Dies entspricht auch den arbeitsintensiven Schwerpunkten im Projekt mit einer Analyse der IST-Situation zur Schnittstelle zwischen der BIM-basierten Planung und der Ökobilanz (LCA) bzw. Nachhaltigkeitsbewertung (SBA) sowie einer Konzeption und daten- bzw. entwicklungstechnischen Umsetzung einer zukunftssicheren Lösung zu den erkannten Hemmnissen einer durchgehenden Anwendung IT-gestützter LCA/SBA Werkzeuge im Planungsprozess. Durch

entsprechende Expertise der Verbundpartner konnten dabei die besonders arbeitsintensiven avisierten IT Entwicklungen bis auf eine Beauftragung von Fremdleistungen durch die DGNB zur Unterstützung der Implementierung der XML-Schnittstelle von den Projektmitarbeitern selbst erarbeitet werden.

Eine wichtige Position trotz ihrer im Vergleich zu den Personalmittel geringen Umfangs bildeten die Reisemittel im Projekt. Damit konnte neben dem regelmäßigen Austausch der Projektbeteiligten auch eine rege (internationale) Dissemination der Projektergebnisse schon während der Projektlaufzeit z.B.- im Rahmen von Konferenzen bewerkstelligt werden.

### **3. Verwertbarkeit der Ergebnisse**

#### **3.1 Geplante Ergebnisverwertung**

Bei dem hier berichteten Vorhaben handelt es sich vorwiegend um Grundlagenarbeiten, welche szenariobasiert die Machbarkeit einer datentechnischen Kopplung von virtuellen Gebäudemodellen (BIM) auf der einen sowie LCA Berechnungswerkzeugen und Nachhaltigkeitsbewertungssystemen auf der anderen Seite sowie deren Mehrwert für die Praxis belegen sollen.

Der Schwerpunkt des Projektes liegt somit eher auf der Entwicklung und Dokumentation von Schnittstellenspezifikationen, welche nicht nur durch die Projektpartner genutzt werden sollen, sondern langfristig eine entsprechende Breitenwirkung erfahren sollen.

Durch die an internationalen Modell-Entwicklungsstandards angelehnte Methodik der Schnittstellenkonzeption (BPMN, IDM, MVD etc.) und die Anlehnung an den Standard XML (Extensible Markup Language) vorzunehmende Schnittstellennotation wird sichergestellt, dass auch Zwischenergebnisse so formalisiert dokumentiert werden, dass sie sowohl in der wissenschaftlichen Gemeinschaft wie auch bei anderen Praxisakteuren in neuen Projekt- und Anwendungskontexten nutzbar sind.

Die zu entwickelnden Werkzeuge stellen zudem – trotz unseres hohen Anspruchs an die Umsetzungsqualität – Prototypen dar, welche szenariobasiert ausimplementiert und evaluiert worden sind und nicht ohne weiterführende, dem Projekt nachgelagerte Praxistests und Optimierungen bzw. Anpassungen produktiv und kommerziell nutzbar sind.

Die Evaluierung im Rahmen eines praxisbezogenen Anwendungsprojektes stellt so eine wichtige Voraussetzung in Richtung einer nachgelagerten breitenwirksamen Verwertung dar. Hierzu ist bereits eine Antragsskizze unter dem Titel „BIM2LCA4Real“ beim PTJ eingereicht worden.

Der Verwertungsansatz des hier berichteten und abgeschlossenen Projektes fokussiert so eher auf die Entwicklungen grundlegender Standards, Methoden und prototypischer Planungshilfsmittel, die kurz- und mittelfristig (ab ca. 1-3 Jahre nach Projektende) als Basis einer kommerziellen Werkzeugentwicklung und Verwertung dienen können.

##### **3.1.1 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten der Verwertung**

Der mittelfristiger Benefit des Projektes im Zeithorizont der kommenden 3 bis 5 Jahren für die Praxis ist, neben der Ermöglichung eines optimierten integralen Planungs- und Bewertungsprozesses, vor allem die Schaffung einer methodischen und technologischen Basis zur Verbesserung digitaler Planungs- und Optimierungsprozesse im Sinne der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz.

Der konkrete technische Nutzwert des Projektes liegt in einer Verbesserung der Effizienz von Ökobilanzierungen durch eine wesentlich vereinfachte und automatisierte BIM-basierte Eingabe der relevanten Input-Daten. Damit kann eine wesentlich verbesserte Breitenwirkung nationaler Nachhaltigkeits-Bewertungssysteme (eBNB, DGNB) und LCA-Werkzeuge erreicht werden. Die

## TEIL II – EINGEHENDE DARSTELLUNG

Bereitstellung einer generalisierten bzw. normalisierten Schnittstelle erlaubt den Anwendern in der Praxis (bspw. DGNB-Auditoren) zudem eine wesentlich höhere Flexibilität hinsichtlich der zu nutzenden LCA-Software (keine Mehrfachanschaffungen mehr notwendig) sowie durch eine konfigurierbare Schnittstellenunterstützung bis hin zum Bewertungssystem eine bessere und effizientere Bedienbarkeit unterschiedlicher Nachhaltigkeitsbewertungssysteme (bspw. DGNB-System sowie eBNB). Es kann somit eine inhaltliche und datentechnische Kopplung bisher isoliert behandelter Bilanzierungs- und Bewertungsansätze (vgl. DGNB sowie BBSR) erreicht werden. Die Ergebnisse können so zudem besser durch weitere Projektbeteiligte (z.B. Energieberater) genutzt werden.

Die Schnittstellen werden dabei Bezug nehmend auf internationale formale Konventionen dokumentiert, so dass sie außer einem inhaltlichen Abgleich mit parallel entstandenen (fokussierten) Schnittstellenansätzen ohne größeren Aufwand direkt entsprechenden Standardisierungsprozessen (siehe buildingSMART) zugeführt werden können. Die Konfigurierbarkeit der Schnittstelle erlaubt zudem auch die zukünftige Nachführung bei Anpassung und Erweiterung der Bewertungssysteme.

Ein weiterer Nutzen besteht in der planungsbegleitenden Einsetzbarkeit der Werkzeuge und Methoden bereits in frühen Planungsphasen, wobei eine Bewertung bereits mit einer zunächst typologischen Beschreibung des Planungsgegenstandes (generalisierte Standard-Konstruktionstypen) erfolgen kann. Durch die verbesserte Datengrundlage kann zudem auch die Qualität der Bilanzierung und Bewertung selbst bzw. deren Aussagekraft erhöht werden, gerade in frühen Phasen. Die Anbindung an die BIM-Seite ermöglicht darüber hinaus eine wesentliche Effizienzverbesserung bei der planungsbegleitenden Nachführung und Evaluierung von Planungsänderungen.

Ein Wissenstransfer der beteiligten Hochschulen und Forschungseinrichtungen an entsprechende Stakeholder-Gruppen im Bereich Bauwesen und Nachhaltigkeit (Einbeziehen von Multiplikatoren) findet bereits statt und ist auch zukünftig geplant.

### **Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten BLM**

#### Kurzfristige Verwertung (1-2 Jahre nach Projektende):

Das Planungshilfsmittel „BIM-basierte Integrale Planung – Informationssammlung“ des BLM wird im Anschluss an das Projekt von Beginn des Jahres 2021 an unter [INFO.BIM2LCA.ORG](http://INFO.BIM2LCA.ORG) als freizugängliche Webseite freigeschaltet und für 2 Jahre gehostet und administriert. Die entwickelten Modellierungskonzepte und XML-Schemata werden in den entsprechenden Gremien (z.B. VDI) eingebracht. Zudem werden darauf aufbauende Forschungsvorhaben mit einem praxisnahen anwendungsorientierten Fokus gemäß der Bekanntmachung zum 7. Energieforschungsprogramm beantragt.

Eine wesentliche wissenschaftliche Verwertung des BLM ist die Verbesserung der wissenschaftlichen Wettbewerbssituation durch Erwerb von prozessübergreifenden Kompetenzen im internationalen Forschungsumfeld. Die Kombination fachlicher Aspekte und planungsmethodischen Prozesswissens mit bauinformatischem Know-How stellt aus Sicht der Antragsteller ein wesentliches Alleinstellungsmerkmal dar, welches durch das hier berichtete Projekt noch weiter vertieft werden konnte. Durch die weiterführende Entwicklung und kontextbezogene Evaluierung der BIM-basierten Datenbasis und hierauf aufbauender Schnittstellen, steht den Antragstellern zudem eine langfristig nutzbare Modellbasis zur Verfügung, welche in Folgeprojekten genutzt werden kann. Die (Weiter-) Entwicklung generischer und möglichst modularer Software-Bausteine im Rahmen der zur Demonstration umgesetzten Werkzeugprototypen ermöglicht zudem die Weiternutzung der Projektergebnisse in folgenden Forschungsprojekten wie auch deren Übertragung auf neue Anwendungsfelder auf urbaner Ebene. Die im Rahmen bearbeiteten Inhalte dienen zudem den wissenschaftlichen Mitarbeitern eine inhaltliche Grundlage bei der Erarbeitung ihrer Dissertationen (vgl. Dissertation Ebertshäuser). Die Heranbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs erfolgte darüber hinaus durch die Betreuung studentischer Hilfwissenschaftler (Hiwis) in der konkreten Projektarbeit. Die am BLM stattfindenden Lehrveranstaltungen boten zudem den Rahmen, die

Projektergebnisse an den studentischen Nachwuchs zu vermitteln. Auch wurden zahlreiche Veröffentlichungen in Fachzeitschriften sowie Konferenzbeiträge erstellt (vgl. Kapitel II.5).

Mittelfristige Verwertung (3-5 Jahre nach Projektende):

Die Antragstellerin ist Mitglied in vielzähligen Gremien und Arbeitskreisen (BIM-Beirat, GAEB AG 13, buildingSMART, SIG3D CityGML Modellierungsgruppe, etc.), in denen die Projektergebnisse innerhalb der Arbeitskreise weiterentwickelt und evaluiert werden können. Das BLM wird zudem als aktives Mitglied der Fach- und Arbeitsgruppen des buildingSMART die entwickelte BIM2LCA-IDM in die internationale IFC-Standardisierungsarbeit einbringen. Die Ergebnisse zur phasenbezogenen BIM-Modellierung von nachhaltigkeitsrelevanten Modellinhalten konnten zudem in den VDI-Arbeitskreis „VDI 2552 Blatt 10 Building Information Modeling - Modellinhalte und Datenaustausch“ eingebracht werden, in den die Antragstellerin als aktives Mitglied involviert war. Darüber hinaus konnten die Ergebnisse bereits im aktuellen zur Projektlaufzeit begonnenem VDI-Arbeitskreis „VDI 2552 Blatt 11.4 Building Information Modeling – Informationsaustauschanforderungen Ökobilanzierung“ unter Leitung des BBSR vorgestellt und diskutiert werden. Durch einen engen Austausch mit dem BBSR (z.B. Herr Goitowski) konnte zudem dabei die Arbeitsgrundlagen geschaffen werden, die im Projekt gewonnen Ergebnisse und Erkenntnisse zukünftig auch bei der öffentlichen Hand nutzen zu können.

**Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten IBP**

Kurzfristige Verwertung (2 Jahre):

Das Fraunhofer IBP, Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung ist durch mehrere Lehraufträge und durch eigene Vorlesungen an der Universität Stuttgart in der Lehre engagiert. Im Projekt erarbeitete Erkenntnisse werden im Rahmen von Vorlesungen (z.B. Master Online Bauphysik (MOB), Universität Stuttgart) an Studierende und durch Fachvorträge an interessierte Kreise vermittelt um Architekten und Auditoren im Themenfeld BIM und Ökobilanz zu sensibilisieren und weiterzubilden. Durch die universitäre Anbindung ist es angedacht, Studenten die Möglichkeit zu geben, im Projekt mitzuarbeiten und erste Erfahrungen zu sammeln. Zusätzlich sind Veröffentlichungen in Fachzeitschriften oder bei entsprechenden Konferenzen (bspw. Sustainable Buildings Konferenz – als eine der wichtigsten Konferenzen) im Bereich Ökobilanz und Nachhaltigkeitsbewertung geplant.

Mittelfristige Verwertung (5 Jahre):

Das Forschungsvorhaben dient der Abteilung zur Stärkung und Festigung seiner Wettbewerbssituation, Außenwirkung und Sichtbarkeit im Bereich der Kopplung von Ökobilanzierung, BIM und Nachhaltigkeitsbewertung. Durch entsprechenden Kompetenzgewinn erwartet die Abteilung mittel- und langfristig weitere nationale / internationale Forschungsprojekte und Folgeaufträge. Besonders im Forschungsfeld „Nachhaltige Stadt“ bieten die im Projekt entwickelten Lösungen auf Gebäudeebene großes Potenzial zur Übertragbarkeit auf die ökologische Analyse gebauter, städtischer Infrastrukturen. Insgesamt werden somit Vorarbeiten für die Hebung zukünftiger Marktpotentiale durch BIM und Nachhaltigkeitsbewertung geschaffen und die wissenschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Beteiligten gestärkt.

**Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten DGNB**

Kurzfristige Verwertung (2 Jahre):

Die DGNB wird das XML-Importmodul zum Import der Ökobilanzdaten in die bei der Zertifizierung verwendete DGNB System Software als offiziellen Download auf der DGNB Website kostenlos zur Verfügung stellen. Zusätzlich dazu wird die DGNB das Importmodul und den BIMtoLCA-Konverter in ihren Gremien, auf Expertenworkshops und auf Fortbildungsangeboten für DGNB Auditoren vorstellen und erläutern.

## TEIL II – EINGEHENDE DARSTELLUNG

Neben der im vorigen Absatz beschriebenen Verwertung des XML-Importmoduls sieht die DGNB eine Stärkung ihrer Position als Innovationsträger durch die Beteiligung am Forschungsprojekt. Im Rahmen ihrer Aktivitäten im Bereich Forschung und beim Vorantreiben zukunftsrelevanter Themen sieht die DGNB das Projekt als eines ihrer „Leuchttürme“. Die DGNB geht davon aus, dass das Forschungsprojekt die Basis für weitere technische und inhaltliche Forschungs- und / oder Entwicklungsarbeiten bildet. Diese können beispielsweise inhaltliche Auswertungen basierend auf BIM, Verankerung der DGNB Anforderungen im Entwurf mit entsprechenden Adaptionen oder Erleichterungen, Erweiterung auf andere Nachhaltigkeitskriterien, oder ähnliches sein.

### Mittelfristige Verwertung (5 Jahre):

Das dem XML Importmodul zugrundeliegende LCAResultXML-Schema soll sich mittelfristig als Standard für Ökobilanzsoftwarehersteller etablieren, um Ökobilanzdaten in einem Standardformat an die DGNB zu liefern. Vorteile sind die Vermeidung von Übertragungsfehlern und eine bessere Auswertbarkeit der Ergebnisse für die Weiterentwicklung des DGNB Bewertungssystems. Es gibt bereits diverse Ökobilanzhersteller, die mit der DGNB kooperieren wollen. Dies konnte jedoch aufgrund fehlender digitaler Schnittstellen bislang nicht unter vertretbarem Aufwand realisiert werden. Die DGNB hat die Planung mit BIM und die Übergabe des BIM-Modells an Betreiberfirma und Eigentümer (Neubau) inzwischen im DGNB System verankert und bewertet somit die Nutzung von BIM in Projekten positiv, was mittelfristig die Verwendung von BIM Projekten fördern kann. Auch die verstärkte Integration von Ökobilanzen in den frühen Planungsprozess ist im DGNB System stärker verankert worden und kann somit zu einer verstärkten Nutzung der LCA-Methodik als Planungs- und Optimierungstool beitragen.

Der Aufwand zur Erstellung und Nachweisführung von Ökobilanzen, als wesentlicher Bestandteil einer DGNB Zertifizierung, wird sich durch die durchgängigen Schnittstellen deutlich reduzieren, damit die Zertifizierungskosten verringern und damit nachhaltige Gebäude fördern.

### **Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten Intep**

#### Kurzfristige Verwertung (1 - 2 Jahre nach Projektende):

Intep ist auf verschiedenen nicht kommerziellen Ebenen aktiv. Zum einen als Expertin in Innovationsprojekten, in welchen die Ergebnisse dieses Projektes direkte Anwendung finden. Zum anderen als Mitglied in Forschungsprojekten und bei Verbänden, wo die Ergebnisse einem breiteren Fachpublikum zugänglich gemacht werden können. Und im Weiteren an Universitäten und Hochschulen, wo wir den direkten Kontakt und Zugang zur Lehre haben und somit eine „Schaltstelle“ zwischen Forschung und Praxis darstellen. Insgesamt führen die Ergebnisse und Erkenntnisse zur Stärkung der Position von Intep als Innovationsträger im Bereich Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Damit können wesentliche Grundlagen für weiterführende Forschungsarbeiten geschaffen werden. Insgesamt fördern die Ergebnisse bzw. der Know-how Gewinn künftige Akquiseerfolge weiterer Forschungsprojekte. Zudem dienen die Projektergebnisse als technische und inhaltliche Grundlage für weiterführende Entwicklungsarbeiten.

#### Mittelfristige Verwertung (3-5 Jahre nach Projektende):

Mittelfristig eröffnen dieses Forschungsprojekt bzw. deren Ergebnisse auch den Zugang zu weiteren Forschungsprojekten und Innovationsprojekten in der Praxis auch auf großmaßstäblicher Ebene. Gemeint sind damit Projekte zur Nachhaltigkeitsoptimierung auf Ebene Stadtteil, Quartier und Areal. Der Optimierung der Nachhaltigkeit(sperformance) und der Ressourceneffizienz in diesem Kontext kommt auch im Hinblick auf die Ressourcen- und Klimaschutzziele bis 2050 eine große Bedeutung zu, da in Bezug auf Dichte, Nutzungsmischung und induzierte Mobilität noch weitere relevante Aspekte in die Betrachtung einzubeziehen sind. Dafür ist dieses Projekt eine wichtige Grundlage.



### 3.1.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die Beteiligung der Praxispartner *Deutsche Gesellschaft Nachhaltiges Bauen* (DGNB) und *intep* stellen die Anwendung bzw. Anwendbarkeit in der Praxis sicher.

#### Wirtschaftliche Erfolgsaussichten und Verwertung Intep

Eine wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse ist auf Seiten der Prozess-Schale, speziell durch den Praxispartner *intep* vorgesehen: Nach wie vor besteht in der Immobilienbranche ein großes Interesse an gut strukturierten und phasenbezogenen Projektmanagement-Hilfsmitteln, die einen wirkungsvollen Beitrag zur Integralen Planung und zum Nachhaltigkeitsmanagement im Hochbau leisten. Die in diesem Forschungsprojekt entwickelte Informationssammlung ist modular aufgebaut, damit das damit vermittelte Wissen einfach in praxisbezogenen Beratungs- und Anwendungskontexten verwendet werden kann. Mit den phasenorientierten Kriterien und den beschriebenen Methoden und planungsunterstützenden Hinweise dürfte diese Informationssammlung eine breite Anwendung im Markt erfahren.

Insbesondere sind konkrete Anleitungen zur Umsetzung von Ökobilanz-Ergebnissen bzw. zur Optimierung des Bauwerks gewünscht. Diese Optimierung hat zeitnah und phasenbezogen stattzufinden – d.h. das Planungsteam wünscht rasche und klare Entscheidungsgrundlagen. Dazu sind die jeweils aktuellsten Daten zu verwenden. Da in Zukunft auch die Digitalisierung im Nachhaltigkeitsbereich stark zunehmen wird, werden mit diesem Projekt die grundlegenden Bedürfnisse im Nachhaltigkeitsmanagement von Hochbauten erforscht und in konkrete Handlungsanweisungen und umgesetzt. Wir gehen deshalb davon aus, dass der Erfolg der Wissensvermittlung durch eine breite Umsetzung im Markt im Zeitraum von 1 – 2 Jahren nach Projektende gegeben ist.

#### Wirtschaftliche Erfolgsaussichten und Verwertung DGNB

Durch die Anbindung von BIM-Informationen an die LCA soll der Aufwand für die erste Abschätzung (DGNB-Vorzertifikat) und das finale Zertifikat verringert und die Genauigkeit erhöht werden. Langfristig sollen in weiteren Schritten BIM-Informationen für andere DGNB-Kriterien (abgesehen von LCA-Kriterien) integriert werden. Darüber hinaus soll ein Import der Ökobilanzwerte in das DGNB Zertifizierungstool realisiert werden. Insgesamt sollen dadurch der Aufwand und die Kosten einer Zertifizierung stark verringert werden.

Mittelfristig sollen durch die standardisierte Importschnittstelle weitere Ökobilanztools an die Zertifizierungssoftware der DGNB angebunden werden.

#### Wirtschaftliche Erfolgsaussichten und Verwertung IBP

Das Fraunhofer IBP, Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung, plant die Erkenntnisse (u.a. Bereitstellung von LCA-Benchmarks und Konstruktionen, Implementierung der softwareneutralen BIM-LCA-Schnittstelle) zur BIM-basierten Erstellung von Ökobilanzen in frühen Planungsphasen nach Projektende in die bestehende LCA-Software „SBS Building Sustainability“ zu integrieren, zu kommerzialisieren und somit langfristig Anwendern wie Architekten und Auditoren lizenzpflichtig zur Nachhaltigkeitsbewertung nach DGNB zur Verfügung zu stellen. Hierdurch wird eine schnellere, effizientere und detailliertere Datenerfassung für die Ökobilanz durch BIM als auch die Automatisierung der Berechnung in verschiedenen Projektphasen möglich. Die Potenziale der Gebäudeökobilanz, weg von einer Nischenanwendung hin zum Breitenmarkt, werden damit gehoben. Durch die automatisierte Berechnung zu verschiedenen Projektphasen können, für die wichtigen Meilensteine „Vorzertifikat“ und „Zertifikat“ genauere Ergebnisse erzielt werden und die Sicherheit einer Zertifikaterreichung erhöht werden. Pro DGNB Zertifikateinreichung sind Lizenzeinnahmen angedacht. Des Weiteren ist zukünftig eine Erweiterung des SBS auf die Berechnung von

## TEIL II – EINGEHENDE DARSTELLUNG

Lebenszykluskosten außerhalb des Forschungsprojektes angedacht, wobei die gewonnenen Erfahrungen bei der Erstellung der softwareneutralen BIM-LCA-Schnittstelle von großem Wert sind.

### **Wirtschaftliche Erfolgsaussichten und Verwertung BLM**

Durch das BLM bzw. KIT ist keine direkte kommerzielle Nutzung der Projektergebnisse geplant. Von der kostenlos zur Verfügung gestellten Webseite kann ein fachliches Feedback von der interessierten erwartet werden, mit dem die Inhalte weiter geschärft werden können. Die unterlegte Softwareentwicklung der Webseite kann zudem in Folgeprojekten zum darauf aufbauenden Entwickeln von Informationsplattformen für weitere Handlungsfelder genutzt werden. Auch die Schemabeschreibungen der Schnittstelle sollen in Folgeprojekten mit anderen Ansätzen harmonisiert und mittelfristig im Rahmen ehrenamtlicher Tätigkeiten in die Standardisierungsgremien (z.B. buildingSMART, VDI) eingebracht werden.

### **3.2 Zusammenfassung**

Das im Projekt entwickelte Datenformat, das u.a. zur Repräsentation der im Rahmen einer Bauwerkszertifizierung benötigten Informationen dient, wird als erstes digitales objektorientiertes Format den bisher über ein Tabellendokument abgewickelten Arbeitsgang des Zertifizierungsprozesses der DGNB ablösen. Aus dieser praktischen Evaluierung eines Projektergebnisses können dann durch die Mitwirkung der Verbundpartner in der Standardisierungsarbeit wichtige Erkenntnisse zur Optimierung hin zu einem generalisierbaren (internationalen) Standard gewonnen werden.

Auf Seiten des Nachhaltigen Bauens kann die im Projekt zusammengestellte webbasierte Informationssammlung weitere Impulse in die Praxis für dieses bzgl. der Klimastrategie wichtigen Themas geben. Dabei zielen die aufbereiteten Informationen zum Nachhaltigen Bauen und zur Einbindung von Ökobilanzbetrachtungen in den Planungsprozess zum einen auf den wichtigsten Akteur im Baugeschehen – den Bauherrn – um diesen zu sensibilisieren. Damit beim komplexen Verfolgen eines auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Planens, Errichtens und Betreibens der Gebäude im Sinne einer integralen Planung wichtige Aspekte Beachtung finden, richtet sich die Informationssammlung zum anderen an die fachliche Beratung der Bauherren, Planenden und Betreibenden. Dabei sollen auch für die neuen Methoden einer modellbasierten Arbeitsweise in diesem Themenfeld Hinweise an die Ausführenden gegeben werden. Auch bietet sich die Anwendung dieses Werkzeugs im Rahmen von Lehrveranstaltungen am BLM an.

## **4. Fortschritte anderer Stellen**

### **4.1 Nachhaltiges Bauen**

Das DGNB System wurde mit der Version 2018 als Ergebnis einer intensiven Auseinandersetzung der DGNB mit den Erfahrungen der letzten Jahre sowie den Marktentwicklungen und -anforderungen rund um das Thema Nachhaltigkeit und der entsprechenden Zertifizierungen überarbeitet. Mit Bezug auf das hier berichtete Projekt sind für Gebäude (Neubau) insbesondere die Integration des Indikators „Planung mit BIM“ im Kriterium PRO1.5 „Dokumentation für eine nachhaltige Bewirtschaftung“ sowie der stärkere Fokus auf die Integration von Ökobilanzen in den (frühen) Planungsprozess und die planungsbegleitende Ökobilanz-Optimierung im Kriterium ENV1.1 „Ökobilanz des Gebäudes“ hervorzuheben.

Darüber hinaus werden im DGNB System laufend neue Nutzungsprofile und Systemanwendungen entwickelt, so dass sich die verschiedenen Phasen eines Gebäudes von der Planung bis zum

Rückbau mit ihren unterschiedlichen Anforderungen und Voraussetzungen im Sinne einer ganzheitlichen nachhaltigen Bauweise begleiten und zertifizieren lassen.

#### **4.2 (Planungsbegleitende) Ökobilanz**

Die Methodik der Ökobilanz (siehe Abschnitt 4.2), wie durch internationale und europäische Standards wie DIN EN ISO 14040 (DIN 2009), DIN EN ISO 14044 (DIN 2006), DIN EN 15978 (DIN 2014), DIN EN 15804 (DIN 2012) definiert wurde, bei dem mehreren Anwendungen, erlaubt Feedbacks zur Produktentwicklung und ermittelt Optimierungspotenzial von finalen Umweltwirkungen.

Dennoch wird im Bausektor eine umfassende Auswertung erst nach dem endgültigen Gebäudeentwurf durch eine detaillierte Ex-post-Datenerhebung durchgeführt. Das geschieht auch obwohl das größte Potenzial bereits während der Gebäudekonzeption liegt, nämlich in den ersten Phasen. Wenn die Umweltauswirkungen nicht nur bewertet, sondern auch optimiert werden sollen, muss die Ökobilanz bereits in diesen frühen Phasen angewendet werden. Anders als bei technischen und wirtschaftlichen Dimensionen wird der Umweltwert eines Bauwerks jedoch noch kaum in den frühen Entscheidungsfindungsprozess einbezogen (Tritthart u.a. 2010).

In den letzten Jahren wurden aber mehr prädiktive und perspektive Methoden vorgeschlagen. In Vergleich mit retrospektiven, leisten prädiktive und perspektive Vorgehensweisen mehr Feedbacks zur Produktentwicklung (Di Bari u.a. 2019).

Beim Projektstart wurden für eine Erstellung von Ökobilanzen zumeist auf einfache Softwaretools und Excel- Anwendungen zurückgegriffen. Hierbei werden für bestimmte Planungsstände Gebäudeökobilanzen erstellt, die dafür unstrukturierte und manuelle Angaben benötigen. Dadurch steigt die Fehleranfälligkeit und eine Optimierung vor allem in frühen Planungsphasen bezogen auf die Umwelteinwirkungen findet nicht statt. In Allgemein konnte man finden kaum Software, die eine Erfassung mit Hilfe einer BIM Schnittstelle ermöglicht.

Dieses Thema hat in den letzten Jahren an Aufmerksamkeit gewonnen und verschiedene Ansätze und Möglichkeiten zur Verknüpfung zwischen SBA-Instrumenten und digitalen Gebäudemodellen wurden untersucht.

Gemäß einer im Rahmen des Projekts angestellten Untersuchung (Jorgji u.a. 2020) sind die meisten SBA-Instrumente für den deutschen Bausektor hierfür geeignet, da sie, mit wenigen Ausnahmen, die (einheitliche) Datenbank Ökobau.dat für die Umweltleistung nutzen wobei EPDs berücksichtigt werden können. Auch das Datenexportformat unterscheidet sich; jedes bietet unterschiedliche Möglichkeiten, Ergebnisse zu exportieren. Dennoch bieten sie alle den Export in Tabellenkalkulationsdateien an, die durch die Konvertierung von Excel in andere Datenformate eine flexible Weiterverwendung der Daten ermöglichen. In den meisten Tools gibt es keine Definition der erlaubten Gebäudetypen für die Modellierung, mit Ausnahme von eLCA, das sich nur auf Büro- und Verwaltungsgebäude bezieht. Auch wenn die Gebäudemodellierung für die Ökobilanzanalyse ohnehin möglich ist, kann aufgrund des fehlenden Bezugs auf alle Benutzerprofile für Gebäudezertifizierungen nicht immer eine abschließende Bewertung durchgeführt werden, was zu Fehlberechnungen der Endpunkte führt. Alle Werkzeuge ermöglichen die Aufbereitung der Ergebnisse in Datenvorlagen in Übereinstimmung mit den Zertifizierungssystemen. Mit Ausnahme von eLCA basieren alle geprüften Tools die Umweltleistung auf DGNB-Kriterien und in Abhängigkeit vom Gebäudetyp. Einige von ihnen (LEGEP, CAALA, SBS) bieten die BNB-Zertifizierung auch für Nicht-Wohngebäude an.

- CAALA: CAALA, 2016-2018 als Offline-Software entwickelt. Die verwendete Datenbank ist Ökobau.dat, das Tool erlaubt aber auch den Import von eigenen EPDs. Es bietet neben Daten für die Einreichung nach deutschen Systemen (DGNB, BNB und BNK) ein CAALA-Plug-in, das den Import von Sketchup- und Rhino-Modellen für eine parametrische Ökobilanz durchführt. Die Ergebnisse können im PDF-, gbXML- und Excel-Format sowie im eLCA-

Datenformat exportiert werden, um sie direkt bei der BNB-Zertifizierung (CAALA-Website) einzureichen.

- ONECLICK, als Offline-Software entwickelt, One Click LCA verfügt auch über länderspezifische Durchschnittsdaten (z.B. Ökobaudat und INIES) sowie EPDs. Toll Pugl-in erlauben Import von Sketchup-, Revit- und -Modellen für eine parametrische Ökobilanz durchführt. Die Ergebnisse können im gbXML-, Excel- oder personalisierte Format. One Click LCA kann für BREEAM, LEED, DGNB und + 40 andere Zertifizierungssysteme, Standards und Anforderungen verwendet werden und entspricht diesen ohne eine direkte Einreichung. Während Konstruktionsentwurf bietet das Software Vergleiche mit existierenden Konstruktionsalternativen an, um das Entscheidungstreffen zu unterstützen.

Forschungsseitig sind darüber hinaus verschiedene Ansätze zur planungsbegleitenden Bestimmung der Umweltwirkung durch Verknüpfung von Planungsdaten mit sogenannten Merkmalsservern erkennbar (vgl. Arbeiten an der TU Wien zum Österreich Merkmalsserver bzw. an der ETH für die Schweiz)

### 4.3 (Daten-) Schnittstelle und BIM

**BBSR eLCA im Rahmen der eBNB** – eLCA wurde 2012 aus dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) für die Ökobilanzierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden entwickelt. Das Tool ist webbasiert und nutzt die Auszeichnungssprache XML. Als Vorteil wird über den XML-Export eine direkte Verbindung zur BNB-Zertifizierungsvorlage angeboten. Schichten, Konstruktionen oder komplette Gebäudebewertungen basieren auf Ökobau.dat-Datensätzen und werden durch dynamische Grafiken visualisiert. Im Rahmen eines ZukunftBAU Auftrag an die TH Köln wurde zur Laufzeit des Projektes eine BIM Schnittstelle für eLCA entwickelt und als MVD formal abgebildet. Der dabei auf den Prozess der Öffentlichen Hand fokussierte Ansatz fließt zusammen mit den Ergebnissen des vorliegenden Vorhabens als Grundlage in die Gremienarbeit ein (vgl. auch Zusammenarbeit mit anderen Stellen).

#### **Richtlinie VDI 2552 / buildingSMART**

Bezüglich der in dem vorliegenden Vorhaben noch aufwendig auf Basis von Literaturrecherche aufbereiteten und ergänzten Methodik zur Erstellung eines Informationslieferungshandbuches sind sowohl im Rahmen der Richtlinienarbeit mit der VDI 2552 Blatt 10.1 als auch von Seiten der Standardisierung mit der Erstellung eines Anwenderhandbuchs sowie der Harmonisierung von Anwendungsfällen Bestrebungen erkennbar den bisher unscharf durch die ISO normierten Erstellungsprozess zu konkretisieren (e.g. Bereitstellen von Vorlagen) und zu vereinheitlichen.

## 5. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Im Rahmen der projektbegleitenden Dissemination wurden die Inhalte des Projekts in verschiedenen Publikationen bzw. Vorträgen veröffentlicht. Im Folgenden werden zum einen die (zitierbaren) Veröffentlichungen zu den Projektergebnissen und zum anderen die Präsentationen zum Projekt zu verschiedenen Anlässen, wie Konferenzen, Gremien usw. aufgeführt.

### **Journal und Konferenzbände**

1. BUILDINGS (online journal)

Gantner, J., Lenz, K., Horn, R., von Both, P., & Ebertshäuser, S. (2018). Ökobau.dat 3.0-Quo Vadis? Buildings, 8(9), 129. <https://doi.org/10.3390/buildings8090129>

Fulltext: <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/9/129/pdf>

## 2. BAUPHYSIK (ernst und sohn)

Gantner, J., von Both, P., Rexroth, K., Ebertshäuser, S., Horn, R., Jorgji, O., ... Fischer, M. (2018). Ökobilanz - Integration in den Entwurfsprozess: BIM-basierte entwurfsbegleitende Ökobilanz in frühen Phasen einer Integralen Gebäudeplanung. *Bauphysik*, 40(5), 286-297. <https://doi.org/10.1002/bapi.201800016>

## 3. BAUSIM 2018 – IBPSA Deutschland und Österreich Konferenz Karlsruhe

Rexroth, K., Both, P. V., Gantner, J., & Schmid, C. (2018). Ein Ansatz für die typologiebasierte Vervollständigung von Gebäudeinformationen zur Unterstützung der frühen Planungsphasen am Beispiel LCA. <https://doi.org/10.5445/ir/1000085748>

Fulltext: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000085748/18712679>

## 4. IBPSA Building Simulation 2019 Conference Rome

Graf, K., Ebertshäuser, S., Both, P. von. (2019). Sustainability Assistant – Supporting Sustainable Building Design In Context Of Integral Planning. In: Corrado, V.; Gasparella, A.; (Hrsg.): *Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA*. International Building Performance Association (IBPSA). ISBN: 978-1-7750520-1-2. Abgerufen am 12.02.2020 unter: [http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2019/BS2019\\_211256.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2019/BS2019_211256.pdf)

## 5. SBE 2019 Konferenz Graz

Ebertshäuser, S., Graf, K., Both, P. von, Rexroth, K, Di Bari, R und Horn, R. (2019). Sustainable building information modeling in the context of model-based integral planning. In: Passer, A.; Lützkendorf, T.; Guillaume, H.; Kromp-Kolb, H.; Monsberger, M. (Hrsg.): *SBE 19 Graz - Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019 - Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment. Conference Proceedings. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*323 (2019) 011001, IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/323/1/012113. Abgerufen am 21.09.2019 unter: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/323/1/012113>

## 6. SBE 2019 Konferenz Graz

Roberta Di Bari, Olivia Jorgji, Rafael Horn, Johannes Gantner und Sebastian Ebertshäuser. (2019) Step-by-step implementation of BIM-LCA: A case study analysis associating defined construction phases with their respective environmental impacts. In: Passer, A.; Lützkendorf, T.; Guillaume, H.; Kromp-Kolb, H.; Monsberger, M. (Hrsg.): *SBE 19 Graz - Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019 - Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment. Conference Proceedings. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*323 (2019) 011001, IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/323/1/012105. Abgerufen am 24.09.2019 unter: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/323/1/012105>

## 7. Sustainability (Online Journal) Special Issue "BIM-Based Life Cycle Sustainability Assessment for Buildings"

Horn, R.; Ebertshäuser, S.; Di Bari, R.; Jorgji, O.; Traunspurger, R.; Both, P. The BIM2LCA Approach: An Industry Foundation Classes (IFC)-Based Interface to Integrate Life Cycle Assessment in Integral

## TEIL II – EINGEHENDE DARSTELLUNG

Planning. *Sustainability* **2020**, 12, 6558. Abgerufen am 24.09.2020 unter: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6558>.

### 8. BAUSIM 2018 – IBPSA Deutschland und Österreich Konferenz Graz (Webkonferenz)

Ebertshäuser, S., Both, P. von. (2020). Tool chain for LCA-based integral planning support in the context of Sustainable Building Assessment. In: IBPSA BauSIM 2020 Konferenzband. Passer, A. et. al. (Hrsg.) BauSIM 2020 IBPSA Deutschland und Österreich Konferenz, TU Graz, Graz.

### 9. BAUSIM 2018 – IBPSA Deutschland und Österreich Konferenz Graz (Webkonferenz)

Olivia Jorgji, Roberta Di Bari, Rafael Horn, David Chuchra. (2020) FACILITATING BUILDINGS' LIFE CYCLE ASSESSMENT THROUGH FLEXIBLE LCA TOOLS. In: IBPSA BauSIM 2020 Konferenzband. Passer, A. et. al. (Hrsg.) BauSIM 2020 IBPSA Deutschland und Österreich Konferenz, TU Graz, Graz

## Präsentationen und fachlicher Austausch auf Konferenzen und Fachtreffen

- IBPSA German and Austria BauSIM 2018 am KIT in Karlsruhe
- brenet Statusseminar, Zürich 2020
- BAU/BIMWORLD München 2019
- IEA EBC Annex 72: Expert Meeting März 2018 (München)
- IEA EBC Annex 72: Expert Meeting Februar 2019 (Brüssel)
- IEA EBC Annex 72: Expert Meeting Oktober 2019 (Ljubljana) IBPSA Building Simulation 2019
- IBPSA Building Simulation 2019, Rom
- SBE Graz Konferenz 2019
- IBPSA German and Austria Chapter BauSIM 2020, Graz (Online Konferenz)
- Büro Initiative, Frankfurt 2020

## TEIL III – WISSENSCHAFTLICHE AUSARBEITUNG

### Präambel zur Wissenschaftlichen Ausarbeitung

Ein differenziertes Berichten der gemeinsamen Arbeitspakete bei gleichzeitiger Aufbereitung in einer gut lesbaren Struktur erfordert vorab für den gemeinsamen Schlussbericht die klare Verortung der Arbeitsergebnisse der einzelnen Partner im Berichtsinhalt.

Daher zeigt folgende Tabelle eine Zuordnung der Kapitelstruktur für den Teil der wissenschaftlichen Ausarbeitung des vorliegenden Schlussberichts zu den einzelnen Arbeitspaketen, in deren Rahmen die jeweiligen Ergebnisberichtsteile (vgl. hierzu auch die jeweils für die Partner im Antrag differenziert aufgeführten Arbeitsziele) entstanden.

### Arbeitspakete

Das methodische Vorgehen beim Bearbeiten der folgend gelisteten Arbeitspakete wird in Kapitel 3.3 beschrieben. Dabei wird auch dargestellt, wie die Arbeitspakete 01 - 10 parallel zu den AP 11 - 13 bearbeitet wurden.

AP 01: LCA-Prozess  
AP 02: IFC und BIM  
AP 03: Spezifikation der Schnittstelle BIM-LCA  
AP 04: BIMtoLCA-Konverter  
AP 05: IFC-basierter BIM-Model-Editor  
AP 06: IFC-basiertes Prüfwerkzeug  
AP 07: Standardkonstruktionen SBS (Generis)  
AP 08: Businesslogik SBS  
AP 09: Schnittstelle LCA-Nachhaltigkeitsbewertung  
AP 10: XML-Importmodul SysTool  
AP 11: Prozessanalyse & Phasenmodell  
AP 12: Phasenbezogene Wissensinhalte  
AP 13: Projektmanagement-Handbuch  
AP 14: Beispielszenario und Evaluierung  
AP 15: Projektbegleitende Maßnahmen

### Zuordnungstabelle der Arbeitspakete zur Kapitelstruktur

In der Tabelle werden in der ersten Spalte die drei Ebenen der Kapitelstruktur des Hauptberichtsteils „Wissenschaftliche Ausarbeitung“ aufgelistet – Kapitel, Unterkapitel und Abschnitt. Diesen wird neben einer kurzen redaktionellen Inhaltsbeschreibung dann das Arbeitspaket zugeordnet, aus dem die darin berichteten Ergebnisse stammen. Somit lassen sich die Arbeitsziele der APs (bzw. die im Antrag ggf. weiter untergliederten Teilziele der einzelnen Verbundpartner) den Projektergebnissen zuordnen.

KAPITEL			AP
	Unterkapitel		
		Abschnitt	
Einleitung			

		Problem	
		Zielstellung	
<b>Grundlagen</b>			
		Integrale Planung	
		Merkmale und Definition Planungstheoretische Erkenntnisse	
		Nachhaltiges Bauen	AP11
		Zentrale Handlungsfelder der Nachhaltigkeit	AP12
		LCA und Nachhaltigkeitsbewertung	AP01 AP11/12
		BIM	AP02
<b>Lösungsansatz</b>			
		Planungsmethodische Ebene und (technische) Datenebene	
		Methodisches Vorgehen	
<b>Konzepte, Prozesse und Modelle</b>			
		Optimierung übergeordnete (Planung-) Prozesse	AP 11
		Entwicklung einer Phasenstruktur für die Integrale Planung	AP 11
		Ansatz einer Phasenstruktur	AP 11
		Nachhaltigkeitsaspekte und Bauwerksanforderungen	AP 12
		LCA Analyse	
		1 Prozesskontext 2 Fokusbereiche und Methoden 3 Synthese / Zusammenführungspotentiale	AP 01, AP 07
		Generalisierte Schnittstelle (BIM)	
		BIM-LCA Integrationstyp	AP 03/09
		(Datenausprozess-) Prozesse und Informationsbedarfe (IDM)	AP 03/09
		XML Fachschema, BIM2LCA bzw. BIM2SBA MVD	AP 09
<b>Umsetzung</b>			
		Übersicht der Projektergebnisse	
		Phasenstruktur einer Integralen Planung	
		Phasen des IP-Modells	AP 11
		Merkmale der Phasen	AP 12
		Abgrenzung gegenüber anderen Phasenmodellen	AP 11
		Ausgewählte phasenbezogene Wissensinhalte, Empfehlungen und Hilfestellungen	AP 12, AP 13
		Fachliche Anwendung Ökobilanz	AP01, AP 07; AP 08
		Schnittstelle	



		BIM2LCA4IP IDM	AP 01/02, AP 03/09
		BIM2LCA XSD – XML	AP 03/09, AP 07
		BIM2LCA MVD	AP 03/09
		DGNB Bewertung / Import	AP 10, AP 09/08
		Planungshilfsmittel	
		IP Informationssammlung	AP 13
		Werkzeuge zur Modellhandhabung	AP 04,05,06
		Ökobilanzwerkzeuge	AP 07, AP 08
		Datenaustausch in der Werkzeugkette	AP 04, 05, 06, 07, 08, 14
		<b>Evaluation/ Dissemination und Reflexion</b>	AP01, AP 14;
		<b>Ausblick</b>	
		<b>Literaturverzeichnis</b>	

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>26</b>
<b>1.1. Problemstellung.....</b>	<b>26</b>
<b>1.2. Zielstellung .....</b>	<b>26</b>
<b>2. GRUNDLAGEN.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1. Integrale Planung.....</b>	<b>28</b>
2.1.1 Merkmale .....	29
2.1.2 Definition der Integralen Planung in diesem Projekt .....	30
2.1.3 Planungstheoretische Erkenntnisse .....	30
<b>2.2. Nachhaltiges Bauen .....</b>	<b>32</b>
2.2.1 Zentrale Handlungsfelder der Nachhaltigkeit für die gebaute Umwelt (AP12) .....	32
2.2.2 LCA und Nachhaltigkeitsbewertung .....	33
<b>2.3. Building Information Modeling (BIM) .....</b>	<b>34</b>
2.3.1 Status Quo.....	35
2.3.2 Benefit.....	36
2.3.3 Hemmnisse.....	36
2.3.4 Aktuelle projektrelevante Entwicklungen und Akteure im Bereich BIM.....	38
<b>2.4. Web-Technologie .....</b>	<b>39</b>
<b>3. LÖSUNGSANSATZ.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1. Technische Ebene: Generalisierte Schnittstelle BIM-LCA-Bewertung .....</b>	<b>40</b>
3.1.1 Detaillierter methodischer Forschungsansatz der technischen (Daten-) Ebene.....	42
<b>3.2. Wissensbasiertes Phasenmodell .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3. Methodisches Vorgehen .....</b>	<b>44</b>
3.3.1 Technische Ebene.....	44
3.3.2 Wissensbasiertes Phasenmodell .....	45
<b>4. METHODEN, KONZEPTE, PROZESSE UND MODELLE .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1. Optimierung übergeordnete (Planung-) Prozesse .....</b>	<b>46</b>
4.1.1 Entwicklung einer Phasenstruktur .....	46
4.1.2 Ansatz einer Phasenstruktur .....	47
4.1.3 Nachhaltigkeitsaspekte und Bauwerksanforderungen .....	48

<b>4.2. LCA Analyse .....</b>	<b>50</b>
4.2.1 Prozesskontext .....	50
4.2.2 Fokusbereiche und Methoden .....	50
4.2.3 Synthese / Zusammenführungspotentiale .....	51
<b>4.3. Generalisierte Schnittstelle (BIM) .....</b>	<b>52</b>
4.3.1 BIM-LCA Integrationstyp .....	53
4.3.2 (Datenaustausch-) Prozesse und Informationsbedarfe (IDM) .....	55
IDM Anwendungsprozesse .....	56
IDM Informationsbedarf Spezifikation .....	58
4.3.3 XML Fachschema, BIM2LCA bzw. BIM2SBA MVD .....	58
<b>4.4. Szenariobasierte Evaluation .....</b>	<b>61</b>
<b>5. UMSETZUNG .....</b>	<b>62</b>
<b>5.1. Übersicht der Projektergebnisse .....</b>	<b>62</b>
<b>5.2. Phasenstruktur einer Integralen Planung .....</b>	<b>64</b>
5.2.1 Phasen des IP-Phasenmodells .....	64
5.2.2 Merkmale der Phasen .....	65
5.2.3 Abgrenzung gegenüber anderen Phasenmodellen .....	65
5.2.4 Ausgewählte phasenbezogene Wissensinhalte, Empfehlungen und Hilfestellungen .....	67
Phase 1 „Anlass und Initialisierung“ .....	68
Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit .....	68
Organisatorische Empfehlungen .....	68
Phase 2 „Bedarfsplanung und Grundkonzeption“ .....	69
Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit .....	69
Organisatorische Empfehlungen .....	70
Phase 3 „Entwurfs- und Genehmigungsplanung“ .....	70
Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit .....	70
Organisatorische Empfehlungen .....	71
Phase 4 „Ausführungsplanung“ .....	71
Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit .....	71
Organisatorische Empfehlungen .....	71
Phase 5 „Ausführung und Herstellung“ .....	72
Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit .....	72
Organisatorische Empfehlungen .....	72
Phase 6 „Inbetriebnahme“ .....	72
Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit .....	72
Organisatorische Empfehlungen .....	72
Phase 7 Nutzung und Gebäudebetrieb“ .....	73
Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit .....	73
Organisatorische Empfehlungen .....	73
<b>5.3. Fachliche Anwendung Ökobilanz .....</b>	<b>74</b>
<b>5.4. Schnittstelle .....</b>	<b>75</b>
5.4.1 BIM2LCA4IP IDM .....	75

Der BIM2LCA4IP Geschäftskontext (generalisiertes Interaktionsdiagramm) .....	75
Betrachteter fachlicher Umfang – Fokus auf drei Anwendungsfälle der Schnittstelle .....	76
IDM-Komponente Prozessdiagramm .....	77
Prozessdiagramm (ER) „Anwendungsfall Beurteilung Phase 01“ .....	77
Übersicht .....	77
Kopfdaten .....	78
Prozessdiagramm [Arbeitstitel] „Anwendungsfall Beurteilung Phase 02“ .....	80
Übersicht (vgl. generelle Übersicht aller Prozessdiagramm IDM-Komponenten) .....	80
Kopfdaten .....	80
„Anwendungsfall Beurteilung Phase 03“ .....	83
Übersicht .....	83
Kopfdaten .....	83
IDM-Komponente Datenaustauschanforderungen .....	85
5.4.2 BIM2LCA XSD – XML .....	89
5.4.3 BIM2LCA MVD .....	95
5.4.4 DGNB Bewertung / Import .....	97
<b>5.5. Planungshilfsmittel .....</b>	<b>101</b>
5.5.1 IP Informationssammlung .....	101
5.5.1 Konzeption der Benutzeroberfläche .....	101
5.5.2 Technische Umsetzung .....	103
5.5.2.1 Technologie Konzepte zur Erstellung von dynamischen Webseiten und Technologie	
Entscheidung .....	103
5.5.2.2 Verwaltung der Kommunikation in der Informationssammlung .....	105
5.5.2.3 Vorgehensweise bei der Implementierung .....	106
Umsetzung der Benutzeroberfläche .....	107
Backend-Architektur und Kommunikation .....	109
Datenbank und Migrations .....	110
Live vs. Redaktions Modus .....	110
Kontinuierliche Integration (CI-System) .....	111
5.5.2 Werkzeuge zur Modellhandhabung .....	112
BIM2LCA Lexikonserver – einheitliche externe Datenvorhaltung .....	112
Regelbasierte Softwareanwendung IFC Model Check .....	112
Formal und strukturelle Prüfregeln .....	113
Fachlich inhaltliche Analyseregeln .....	114
Modelleditierung – IFC Anpassungsregeln und XML Datenbank .....	114
5.5.3 Ökobilanzwerkzeuge .....	115
GENERIS .....	115
Tabellentool (Benchmark) .....	116
5.5.4 Datenaustausch in der Werkzeugkette .....	118
<b>6. EVALUATION/ DISSEMINATION UND REFLEXION .....</b>	<b>119</b>
<b>6.1. Fallbeispiel .....</b>	<b>119</b>
<b>6.2. Diskussion .....</b>	<b>123</b>
<b>6.3. Fazit .....</b>	<b>124</b>

7. AUSBLICK .....	125
LITERATURVERZEICHNIS .....	126
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	132
TABELLENVERZEICHNIS .....	134
GLOSSAR .....	135
ANHANG	
I. XML Instanzdokument zum Fallbeispiel	

# 1. Einleitung

Das Verbundprojekt EnOB BIM-basierte Integrale Planung befasst sich mit dem insbesondere im Fokus der aktuellen Diskussion zur Erreichung der Klimaziele im Bereich der gebauten Umwelt stehenden Themenfeld des Nachhaltigen Bauens. Dabei behandelt es Aspekte, die sowohl eine auf übergeordneter organisatorischer Ebene der Umsetzung von den im Themenfeld stehenden Zielstellungen als auch eine konkrete Einbindung IT-gestützter Lösungen zur Unterstützung der Planenden bereits im Planungsprozess betreffen.

## 1.1. Problemstellung

Während des gesamten Planungs- und Bauprozesses stehen die Fachplanungen, die zum Erreichen einer hohen Gebäudequalität in den Hauptentwurfsprozess integriert werden müssen, vor ähnlichen Herausforderungen. Aufgrund spezifischer Anforderungen an die Informationsstruktur innerhalb der Fachsoftwaretools und fehlender einheitlicher Schnittstellen müssen bereits im Prozess erstellte modellbasierte Daten, die beispielsweise aus den Koordinationsmodellen der Architekten als Grundlage für die Fachplanung abgeleitet wurden, unter großem Aufwand von Grund auf nachmodelliert und neu erstellt werden. Hinzu kommt eine entsprechende Fehleranfälligkeit und die für die Dateneingabe erforderliche Zeit, die einen Einsatz der Fachsoftware als Begleitinstrument zur planungsbegleitenden Optimierung des Gebäudedesigns hemmt – auch z.B. in den frühen Planungsphasen zur Prüfung von Varianten. Gesteigert wird diese Hürde zur Verwendung der Fachsoftware frühzeitig im Planungsprozess zudem durch die oftmals starken Änderungen in den frühen Entwürfen, die dann durch die fehlenden Anbindungen aufwendig nachgeführt werden müssen.

## 1.2. Zielstellung

Die Lösung komplexer Fragestellungen der Energieeffizienz – sowohl auf Bauwerks- wie auch auf urbaner Ebene – erfordern einen ganzheitlichen integralen Ansatz. Dabei ist das energetische Verhalten eines Systems nicht nur in einzelnen Prozessen oder Phasen, wie dem Betrieb, zu berücksichtigen. Eine ganzheitliche Optimierung sollte vielmehr die expliziten Energieflüsse wie auch die Stoffflüsse inklusive der damit verbundenen grauen Energien über den gesamten Systemlebenszyklus betrachten.

Die Realisierung eines solchen ganzheitlichen integralen Planungsprozesses impliziert eine durchgängige planungsbegleitende Evaluierung und Optimierung des Planungsgegenstandes. Der frühzeitige Einsatz von Ökobilanzierungswerkzeugen und Nachhaltigkeitsbewertungen stellt dabei eine wichtige Basis dar, um Planungsentscheidungen bereits auf konzeptioneller Ebene auf ihre Auswirkungen für den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes beurteilen und um eine gute Nachhaltigkeitsperformance sicherstellen zu können.

Trotz der bereits seit über 10 Jahren bestehenden Verfügbarkeit von Bewertungswerkzeugen zur Ökobilanzierung (LCA<sup>1</sup>), wie bspw. „LEGE<sup>2</sup>“ und „GaBi“, hat sich eine Breitenwirkung bilanzgestützter Planungs- und Optimierungsprozesse sowie von systemorientierten Gebäude-Bewertungssystemen der sog. „2ten Generation<sup>2</sup>“ für den Aspekt der Nachhaltigkeit bisher zwar signifikant erhöht, jedoch das vorhandene Potenzial noch nicht vollständig entfaltet<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> LCA = Life Cycle Assessment

<sup>2</sup> Zur 2. Generation werden beispielsweise die Bewertungssysteme zum Nachhaltigen Bauen der DGNB und des BBSR gezählt.

<sup>3</sup> Es wurden bisher 7.097 Auszeichnungen durch die DGNB (Vorzertifikate und Zertifikate) in 27 Ländern verliehen (Stand 30.09.2020), vgl. etwa 1.200 DGNB-Registrierungen 2016 (Stand 03/2016).

Die Richtlinien der öffentlichen Hand, wie der „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ oder das Bewertungssystem „eBNB“, die strukturellen Anpassungen der Datenbank „ÖKOBAUDAT“ sowie die webbasierte Software „eLCA“, stellen wichtige Teil-Maßnahmen für den Bereich der öffentlichen Bauvorhaben dar. Fraglich bleibt allerdings, welchen Sog-Effekt sie auf den gesamten Bausektor entfalten können.

In der Praxis zeigt sich derzeit, dass gerade auf technischer Ebene die nicht standardisierte und unzureichende Anbindung von Simulations- und Bilanzierungswerkzeugen an BIM-Modellierungswerkzeuge (BIM: Building Information Modeling) und der daraus resultierende hohe Zeitaufwand zur Datenerfassung und Durchführung einer LCA-Berechnung der angestrebten stärkeren Durchdringung des Marktes entgegenwirken. König<sup>4</sup> beziffert am Beispiel der am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) konzipierten Software „LEGE“ einen Aufwand von zwei Arbeitstagen zur LCA-Datenerfassung bei einem Einfamilienhaus.

Eine wichtige Voraussetzung zur effizienteren Durchführung solcher Optimierungsprozesse in der Gebäudeplanung ist somit eine durchgängige digitale und damit validierbare Gebäude- und Bauteilbeschreibung mittels eines virtuellen Gebäudemodells (BIM). Dieses muss die verschiedenen konstruktiven, funktionalen und technischen Zusammenhänge in unterschiedlichen Konkretisierungsstufen abbilden können und wiederum als datentechnische Basis für Simulations- und Evaluierungswerkzeuge dienen. Dann können sämtliche relevanten Planungsänderungen auch effizient auf der Bilanzierungsseite nachgeführt werden.

Die bisher im Bereich der LCA realisierten Ansätze legen ihren Fokus auf die Bilanzierung bereits sehr detailliert ausgearbeiteter Bauwerke (hier dient oft das Leistungsverzeichnis als Input). Sie sind nur sehr bedingt für den begleitenden Einsatz im Sinne eines entwurfs- und planungsunterstützenden Optimierungswerkzeuges – gerade in frühen konzeptionellen Planungsphasen – geeignet. Es wird ein fertig ausgearbeitetes Produkt (Planung) im Nachhinein bewertet, anstatt die Methodik bei der alternativenorientierten Konzeptentwicklung vorausschauend einzusetzen. Aber genau hier liegt im Sinne einer integralen Planung das größte Optimierungspotential.

Das **übergeordnete Ziel des Vorhabens** ist eine Erhöhung der Anwendungsdichte von Ökobilanzierungen (LCA) im Rahmen der Integralen Planung. Hierfür sind Effizienzverbesserungen im Bilanzierungsprozess und die verbesserte Einbindung planungsbegleitender Analyse- und Optimierungsprozesse in den integralen Planungsprozess erforderlich. Dies soll mittels einer erhöhten Generalisierbarkeit der Daten und Schnittstellen, sowie mit der Entwicklung von Methoden, Modellen und Technologien zur Bewerkstelligung eines planungsbegleitenden Optimierungsansatzes erreicht werden.

Das **Gesamtziel des Projektes** ist die Realisierung einer planungsmethodischen und technologischen Optimierung nachhaltiger Planung mit einem besonderen Fokus auf der planungsbegleitenden Einbindung von Ökobilanzierungswerkzeugen und Bewertungssystemen in einen integralen Planungsprozess. Eine frühe Einbindung von LCA-Werkzeugen und die damit erreichte frühzeitige Optimierung von Gebäudekonzepten ermöglichen wiederum die Erschließung bisher nicht erreichbarer planerischer Optimierungspotentiale hinsichtlich Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit.

Das Gesamtziel einer integrierten Optimierung erfordert differenzierte Zielsetzungen auf den beiden adressierten Ebenen.

Auf **Ebene der technischen Integration** (siehe Abbildung 2) ist das primäre Ziel des Vorhabens die Realisierung eines durchgängigen integralen Planungsprozesses durch normalisierte Schnittstellen zur Anbindung von LCA-Werkzeugen an BIM-Modelle (Daten-Input) und die Aufbereitung,

---

<sup>4</sup> Holger König, Geschäftsführer der LEGEP Software GmbH

Konfiguration der LCA-Ergebnisdaten zur Nutzung in unterschiedlichen Nachhaltigkeits-Bewertungssystemen.

Wichtig ist dabei ein systemübergreifender generalisierter Ansatz, der bisher getrennt weiterentwickelte Ansätze (vgl. Zertifizierungssysteme BBSR, DGNB) abbilden kann. Dabei soll ein besonderes Augenmerk auf die planungsbegleitende Anwendbarkeit von Ökobilanzierungen bereits in frühen konzeptionellen Planungsphasen gelegt werden (Optimierung statt nachträglicher Bilanzierung). Allerdings können diese Ziele nur in Abstimmung mit der Prozessebene erreicht werden.

Auf **Ebene des Planungsprozesses** sollen Analyse- und Bewertungsprozesse daher in einem wissensbasierten Prozess- und Phasenmodell besser verortbar sein. Hierin soll Erfahrungswissen darüber bereitgestellt werden, welche thematischen Aspekte der nachhaltigen Planung und welche Nachhaltigkeitsanforderungen in welchen Projektphasen sinnvoller Weise betrachtet werden sollten, und wann die Initiierung von Bewertungen und Analysen den größten planerischen Mehrwert generiert. Auf diesen Wissensbestand abgestimmt, sollen die betreffenden Planungsbeteiligten zudem mit Empfehlungen zur Modellierungsqualität und Modellierungsschärfe bei der Erstellung und Fortschreibung ihres projektbezogenen BIM-Modells unterstützt werden. Zudem sollte hier Hilfestellung zur planungsphasengerechten Detaillierung der verfügbaren Daten und zur methodischen Durchgängigkeit über den Planungsprozess gegeben werden.

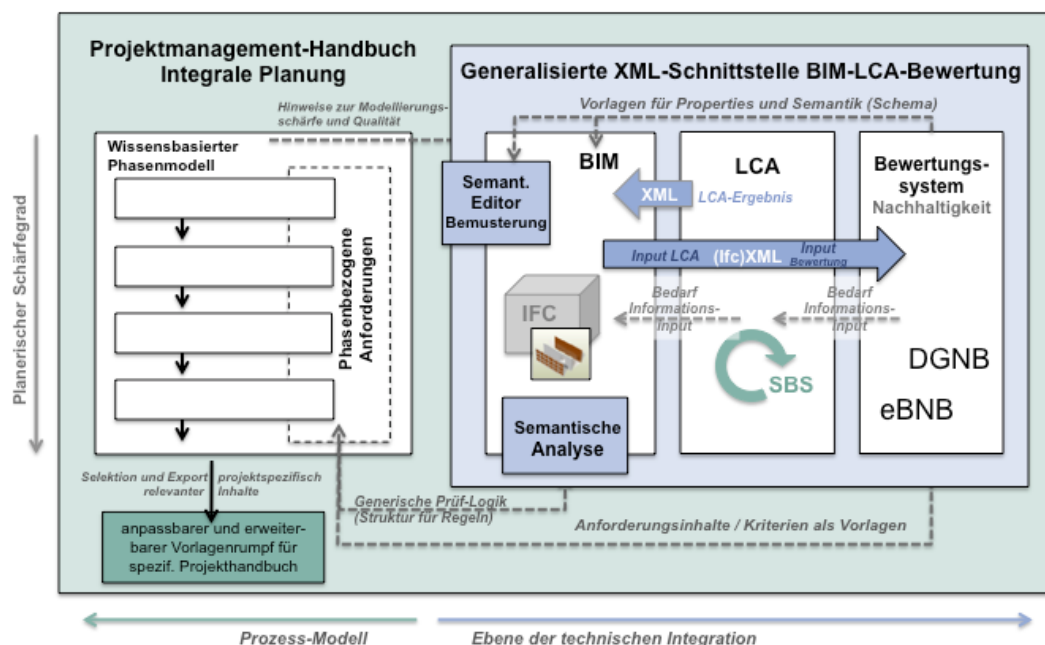


Abbildung 2 Integrierter prozessbezogener Ansatz auf zwei Ebenen – technische Ebene und Phasenmodell (von Both, KIT)

## 2. Grundlagen

### 2.1. Integrale Planung

Die Idee der integralen Planung stammt aus einer systemischen, ganzheitlichen Denkweise, die im Kontext des zunehmenden ökologischen Bewusstseins im Laufe der 1960er und 70er Jahre entstanden ist (Schwaninger 1988). Im Bereich der Gebäudeplanung ist häufig eine integrale Planung erforderlich, wenn ein komplexes Bauprojekt unter Berücksichtigung aller Aspekte des Hochbaus und der Gebäudetechnik optimal umgesetzt werden soll. Mit dem Ziel, den Energieverbrauch von



Gebäuden drastisch zu senken, hat sich dieses Paradigma auch in Standards etabliert, beispielsweise in der Schweiz mit dem SIA-Leistungsmodell 95. Auch wenn es heute keine einheitliche Definition der integralen Planung gibt, enthält seine Anwendung in der Regel eine horizontale Integration und vertikale Integration (Rexroth 2017). Die horizontale Integration zielt darauf ab, das Zusammenspiel der Teilsysteme von Gebäuden zu optimieren (Schwerpunkt Systemtechnologie), und die vertikale Integration berücksichtigt ökologische, wirtschaftliche, technische, funktionale und soziale Aspekte. Diese unterscheiden sich über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes, wobei der Schwerpunkt auf dem Ziel eines nachhaltigen Bauens liegt (Rexroth 2018).

### 2.1.1 Merkmale

Die Integrale Planung in der Bauplanung wird in der Literatur im Wesentlichen durch vier Merkmale charakterisiert:

Perspektive der Integralen Planung: Der Ansatz der Integralen Planung basiert auf einer ganzheitlichen, systemischen, vernetzten, entscheidungsorientierten Perspektive, die möglichst alle beteiligten Akteure bereits ab Planungsbeginn einnehmen und stellt simultanes Planen, Bauen und Betreiben ins Zentrum. Im interdisziplinären Team werden schrittweise die jeweils besten Lösungen für die gestellten Aufgaben gefunden (Stulz 1991). Der gesamte Lebenszyklus wird fortlaufend im Blick behalten werden, insbesondere in den frühen Planungsphasen. Dabei sind die Formulierung von klaren Zielen und hohen Qualitätsansprüchen an das Gebäude sowie die Priorisierung auf wesentliche Planungsziele und Planungselemente wesentlich. Die Gebäudequalität steht im Zentrum des Ansatzes.

Kommunikation: Um einen guten Umgang mit Zielkonflikten zu finden und Missverständnisse zu vermeiden, und damit Terminverschiebungen und Budgetüberschreitungen zu vermindern ist es zentral, eine gemeinsame Sprache zu finden und die Kommunikation unter den Teammitgliedern zu fördern.

Kooperation: Das „teamorientierte Planen“ leitet sich aus dem Grundverständnis der Integralen Planung ab. Die gemeinsame, intensive Auseinandersetzung unter allen am Bauprozess Beteiligten mit deren unterschiedlichen Fachrichtungen, Aufgaben und Interessen erfordert die Kooperationsbereitschaft der Beteiligten und die Disziplin, die eigenen Ziele und Bedürfnisse in den Hintergrund zu stellen und sich zugunsten der Optimierung des gemeinsamen Lösungsansatzes einzusetzen (vgl. SIA 1996).

Koordination und Leitung: Für die Einhaltung der Ziele und für den Prozessfortschritt ist eine gute Koordination und Leitung wesentlich. Dafür soll eine Person zuständig sein, wobei dies je nach Art und Komplexität des Vorhabens verschiedene Personen in unterschiedlichen Planungsphasen sein können. Die Leitung soll sehr gute Führungsqualitäten und Teamfähigkeit aufweisen und gleichzeitig über eine breite und gewisse Tiefe an disziplinärem Fachwissen verfügen (SIA 1996).

Für die Umsetzung der Integralen Planung im Kontext der energieeffizienten kommunalen Entwicklung wurden vier Merkmale zur Identifizierung einer Integralen Planung zusammengestellt (vgl. Rexroth und Both 2017b):

Offener Zielfindungsprozess: So leitet sich beispielsweise aus der Abgrenzung verschiedener Planungsansätze als idealtypisches Merkmal eine Offenheit bezüglich der Themen und beteiligten Akteure im Planungsprozess ab. In den frühen Planungsphasen widerspricht die vorzeitige und unbegründete Begrenzung dieser Dimensionen einer Integralen Planung. Die systematische Erfassung und Einbeziehung der Betroffenen in den Planungsprozess (aktive Betroffeneneinbindung) kann als weiterer Hinweis auf einen integralen Planungsansatz gelten. Dabei sollten die Betroffenen auch in den Zielfindungsprozess eingebunden werden. Bei der Durchführung der einzelnen Planungsschritte sollten Zielsetzungen nicht ungeprüft in die Planung übernommen werden.

Transparenz des Prozesses: Für die Betroffenen und Beteiligten sollte stets nachvollziehbar sein, wie der Planungsprozess strukturiert ist und an welche Stelle tatsächlich Mitwirkung oder Einflussnahme auf das Planungsergebnis erfolgen kann.

Methodeneinsatz: Bei der Konzepterarbeitung kann als Merkmal der Einsatz von Methoden gewertet werden. Diese sollen unterstützend eingesetzt werden, um die Vollständigkeit des Konzeptes (z.B. durch Systematik) und die Originalität der Ideen (z.B. durch Varianz) zu verbessern.

Perspektive übergeordnete Entwicklung: Eine Integrale Planung erfordert es zudem im Planungsprozess den Einfluss übergreifender, darüber liegender Abstraktionsebenen zu berücksichtigen. Im Kontext der energieeffizienten kommunalen Entwicklung ist so beispielsweise die Berücksichtigung räumlicher Entwicklungstrends und gesellschaftlicher Megatrends bei der Planung kommunaler Investitionen oder Maßnahmen zu berücksichtigen und strategisch ein hohes Maß an künftigen Möglichkeiten zu erhalten (Effizienz-Divergenz).

### **2.1.2 Definition der Integralen Planung in diesem Projekt**

In diesem Projekt zeichnet sich die Integrale Planung durch die Berücksichtigung des System-Umwelt-Paradigmas aus. Ziel der ist es, die Ergebnisse eines Gebäudeplanungs- und Realisierungsprojektes zu verbessern. Die angenommene Zielfunktion (Ideal) für den Kontext dieser Arbeit ist es dabei, ein langfristig kostengünstiges Gebäude mit den am geringsten möglichen negativen Umwelteinwirkungen und den am höchsten möglichen kulturellen Mehrwert über seine Lebensdauer zu erzeugen. Betrachtet werden die Ebenen zur Konzipierung des Planungsgegenstandes sowie die Ebene des Planungsprozesses.

Auf Ebene des Planungsgegenstandes erfordert die Integrale Planung eine Systembetrachtung (integrierte Planung) in technisch-konstruktiver Richtung durch fachliche Integration sowie in der systemisch-räumlichen Richtung durch Lebenszyklus-Integration der ökonomischen, ökologischen und soziokulturellen Belange. Mit dem System-Umwelt-Paradigma, welches in die neuere Planungstheorie aufgenommen wurde, sind darüber hinaus planungsmethodisch relevante Grundannahmen verbunden: unvollständige Informationen, subjektive u. wertebezogene Herangehensweisen, kognitive Grenzen, Untrennbarkeit von Problemverständnis und Problemlösung, dynamischer Präferenzrahmen.

Auf Ebene des Planungsprozesses erfordert die Integrale Planung folglich eine systemische Betrachtung (integrative Planung) zur Erarbeitung eines gemeinsamen Verständnisses und Präferenzrahmens der Beteiligten und Betroffenen einer Planung. Integrale Planung schließt die frühen qualitativen Entscheidungsprozesse, die einen Projekt erzeugen, in die Betrachtung mit ein und erfordert die systematische Erarbeitung, Hinterfragung und Dokumentation des grundlegenden Zielsystems eines Projektes.

### **2.1.3 Planungstheoretische Erkenntnisse**

Das folgende Metamodell bildet eine Grundlage zur Entwicklung einer Phasenstruktur für die Integrale Planung.

Mit diesem Metamodell werden bestimmte Abhängigkeiten darstellen, Vorgehensweisen bei der Planung ableiten und Arbeitsschritte zur Lösungsfindung erkennen.

Abhängigkeiten werden zwischen den Bereichen des Kontextes einer Planung und den Selektionsschritten im Verlauf eines Planungsprozesses expliziert. Darin wird deutlich (vgl. Rexroth und Both 2017a), dass:

- Alltagswelt und Planungswelt befinden sich auf unterschiedlichen Abstraktions-ebenen.
- Im Planungsprozess werden Informationen, Erfahrungen oder Bewertungen zwischen diesen Abstraktionsebenen über mehrere Stufen transformiert.

- Von der Alltagswelt zur Planungswelt erfolgt eine Transformation hin zur abstrakten Beschreibung (Problembestimmung).
- Von der Planungswelt zur Alltagswelt erfolgt eine Transformation hin zur konkreten Maßnahme (Lösungsbestimmung).

Folgende Vorgehensweisen bei der Planung lassen sich aus dem Metamodell ableiten. Zunächst ist hier ein Prozess zu erkennen, bei dem die Planung mit einer Bestimmung der Bedürfnisse und Ziele beginnt. Diese stellen einen Planungsanlass dar, der sich im Alltag häufig aus der Erfahrung und Intuition heraus ergibt. Um diese Ausgangsposition zu fundieren, können Methoden der Systemanalyse und Systembewertung angewendet werden. Beide Bausteine befinden sich auf derselben Ebene und adressieren jeweils einen Baustein mit intuitivem bzw. rationalem Betrachtungsschwerpunkt. Die Dualität von intuitiven und rationalen Bausteinen wird auch über die weiteren Ebenen fortgeführt. Die rationalen Bausteine sind in diesem Modell als Korrektiv-Bausteine den ansonsten eher intuitiven erfahrungsgeleiteten Selektions-entscheidungen in der Phase der Problembestimmung beiseite gestellt. Insgesamt lassen sich mit dem Planungsmodell (Metamodell) vier Planungsprozesse mit unterschiedlicher Charakteristik differenzieren (vgl. Rexroth und Both 2017a):

- Analytische Problembestimmung: beginnend mit systematisch-rational geleiteten Analyseschritten und anschließender Bewertung und Problembestimmung.
- Intuitive Problembestimmung: beginnend mit einer auf Erfahrungen und Intuition aufbauenden (vorläufigen) Problematisierung und anschließender analytisch-rationaler Überprüfung und Verfeinerung der Problembestimmung.
- Intuitive Lösungsbestimmung: beginnend mit einer auf Erfahrung und Intuition aufbauenden (groben) Problematisierung und anschließender Suche nach Lösungsprinzipien.
- „Trial-and-Error“-Lösungsbestimmung: beginnend mit der Festlegung eines Lösungsprinzips und anschließender Prüfung der Umsetzbarkeit im Problembereich.

Anhand des Metamodells lässt sich verdeutlichen, dass bereits die ersten Schritte der Problembestimmung kritisch sind und den größten Einfluss auf das gesamte Projekt haben. So stehen die erwarteten Effekte von Maßnahmen oder die Nutzung von Produkten in einer Abhängigkeit von der treffenden Einschätzung des Systemzustandes, der Bedürfnisse und Ziele (Ebene 5). Werden grundlegende systemische Zusammenhänge und Motive in dieser Phase nicht treffend eingeschätzt und expliziert, treten diese beim Durchlaufen der weiteren Abstraktionsebenen des Planungsprozesses nicht mehr zu Tage, sondern erst beim korrespondierenden Schritt der Lösungsbestimmung auf dieser Ebene, was hier beispielsweise mit der Abnahme oder Akzeptanz eines Gebäudes erfolgt. Anders ausgedrückt: Je früher ein kritischer Informationsbedarf im Planungsprozess erforderlich ist, desto später wird dessen unzutreffende Beurteilung offensichtlich.

Ein weiterer Aspekt lässt sich anhand des Metamodells ebenfalls verdeutlichen: Den Arbeitsschritten der Lösungsbestimmung geht immer bereits eine mehrstufige Kaskade von Entscheidungen voraus explizit oder implizit. Wird in diesem Prozess die Problembestimmung von der Lösungsbestimmung getrennt (z.B. durch nachgeordnete Fachplaner, wechselnde Beteiligte, Trennung zwischen Entwurfs- und Ausführungsplanung) und die Kaskade der Problembestimmung kann nicht vollständig dargelegt werden oder sie wird unzutreffend interpretiert, müssen fast zwangsläufig bei der Lösungsbestimmung Abweichungen gegenüber der ursprünglichen Intention auftreten.

Die strukturelle Logik der Vorgehensmodelle zeigt bereits die Bedeutung der frühen Planungsphasen. Ein wichtiger Ansatzpunkt zur Verbesserung der Planung ist demzufolge die explizite Bearbeitung der Zwischenschritte bei der Problematisierung und deren nachvollziehbare Dokumentation, um nachgeordneten Planungsbeteiligten ein Verständnis für den bereits geschaffenen Kontext zu ermöglichen.

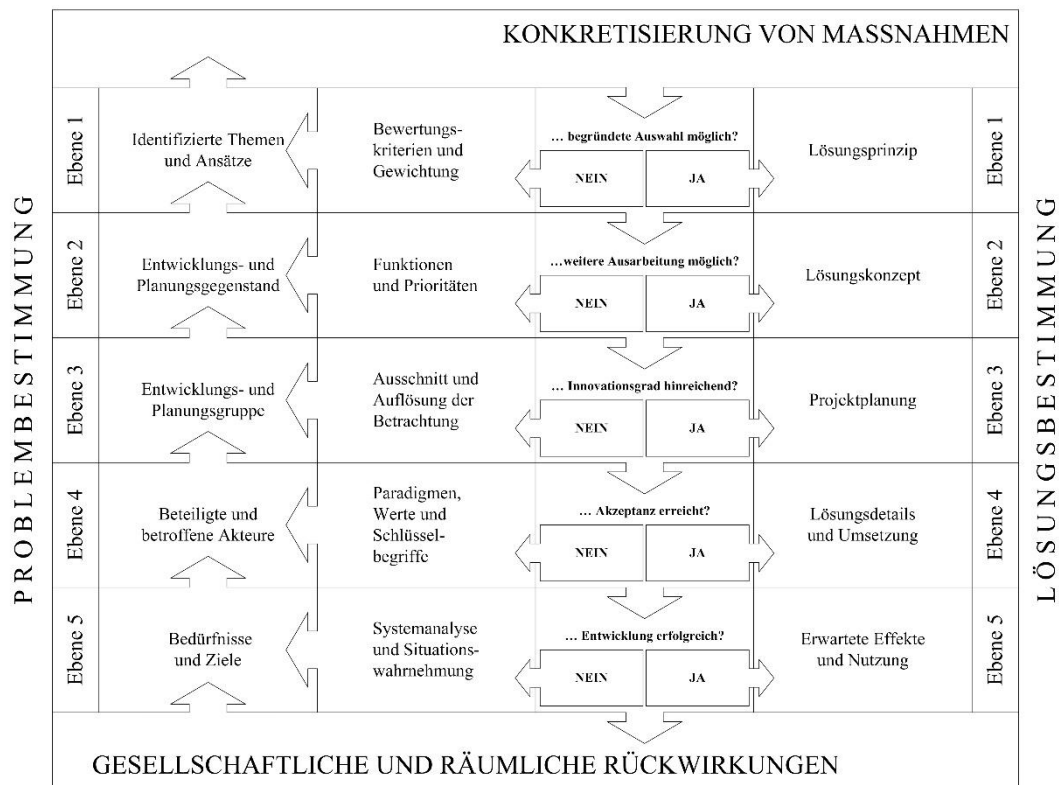


Abbildung 3: Metamodell (eigene Darstellung nach Rexroth und Both, 2017a)

## 2.2. Nachhaltiges Bauen

### 2.2.1 Zentrale Handlungsfelder der Nachhaltigkeit für die gebaute Umwelt (AP12)

Die Zentralen Handlungsfelder der Nachhaltigkeit sind unabhängig von Labels/Standards des nachhaltigen Bauens. Sie stützen sich allein auf die Ziele der nachhaltigen Entwicklung und dienen dazu, eine an weltweiten Nachhaltigkeitszielen orientierte Planungs-, Bau- und Bewirtschaftungspraxis zu etablieren.

Die Zentralen Handlungsfelder der Nachhaltigkeit sind eine Synthese aus verschiedenen die gebaute Umwelt im weitesten Sinne betreffenden Zielen international anerkannter Studien und Abkommen. Sie basieren auf folgende Quellen: (i) Pariser Klimaabkommen (UN, 2015b), (ii) Sustainable Development Goals (SDGs) der Vereinten Nationen (UN, 2015a) als Grundlage der Agenda 2030 sowie (iii) Studien und Berichte des Stockholm Resilience Centre zum Prinzip der Planetaren Grenzen (Rockström et al. (2009), Steffen (2015), Randers et al. (2018)).

Anhand dieser Ziele, Unterziele sowie Themen der übergeordneten Rahmenwerke wurden vorerst acht Zentrale Handlungsfelder der Nachhaltigkeit entwickelt, die für die nachhaltige Entwicklung der gebauten Umwelt relevant sind:

1. KLIMA („Klima schützen und Anpassungsfähigkeit stärken“),
2. GESUNDHEIT („Gesundheitsgefährdung reduzieren“),
3. RECHTE („Arbeitsbedingungen, Menschenrechte, Gleichberechtigung stärken“)
4. WASSER („Wasser nachhaltig managen“)
5. ERNEUERBARE ENERGIEN („Erneuerbare Energien fördern und Zugang ermöglichen“)
6. KONSUM UND PRODUKTION („Nachhaltigen Konsum und nachhaltige Produktion fördern und sicherstellen“)

7. RESILIENTE STRUKTUR („Nachhaltige und widerstandfähige Städte, Gemeinden und Infrastrukturen erhalten, fördern und aufbauen“)
8. ÖKOSYSTEM UND BIOSPHERE („Schutz von Ökosystemen und Biosphäre gewährleisten“)

Übergeordnete Ziele der Handlungsfelder sind es

- nachhaltiges Bauen auf wenige aber global nachhaltigkeitsrelevante Themen fokussieren
- Leitziele entwickeln, an denen sich eine nachhaltige Integrale Planung orientiert.
- Weiterführende Themen in den Prozess einzubringen, die bisher nicht oder untergeordnet in den Planungsprozess bzw. in die Definition von Kriterien/Indikatoren bestehenden Labels/Standards eingeflossen sind (z.B. Bauen mit verändertem Klima, Chancengleichheit, Menschen- und Arbeitsrechte, erweiterte Indikatoren für eine umfassende Abschätzung der Umweltauswirkung)

Die Handlungsfelder sollen für die Prozessbegleitung des nachhaltigen Bauens dazu dienen

- Übergeordnete, international anerkannte Ziele der nachhaltigen Entwicklung einbinden und diese für den gesamten Prozess zu positionieren.
- ganzheitliche und integrierte Nachhaltigkeit in die gebaute Umwelt zu etablieren.
- bereits in den frühen Phasen ein wertvolles Werkzeug zu sein, den Initiator von der Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung und der damit verbundenen Umsetzung des nachhaltigen Bauens zu überzeugen.
- Vermeidung von negativen Folgen.
- In der gebauten Umwelt einen aktiven Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten.

## 2.2.2 LCA und Nachhaltigkeitsbewertung

Bestandteile der Nachhaltigkeitsbetrachtungen im Baubereich, wie beispielsweise die Methodik der Ökobilanz, sind bereits durch internationale und europäische Standards wie ISO 14040 (DIN 2009), ISO 14044 (DIN 2006), EN 15978 (DIN2014), EN 15804 (DIN 2012) definiert oder werden näher in anerkannten Gebäudebewertungs- / Gebäudezertifizierungsprogrammen wie BNB, DGNB, HQE, BREEAM, LEED oder OPEN HOUSE beschrieben. Weiterhin gibt es eine Vielzahl von Handbüchern und Richtlinien zur Erstellung von Ökobilanzen welche keine Verbindlichkeit aufweisen, aber als Anhaltspunkte dienen können (ILCD Handbook, EeBBGuide) (Gantner u.a. 2015a, Gantner u.a. 2015b). Bisher wird bei der Erstellung von Ökobilanzen zumeist auf einfache Softwaretools und Excel-Anwendungen zurückgegriffen (Kreißig 2013). Hierbei werden für bestimmte Planungsstände Ökobilanzen von Gebäuden erstellt. Die dafür nötigen Angaben werden momentan unstrukturiert und manuell übertragen. Dadurch steigt die Fehleranfälligkeit und eine Optimierung vor allem in frühen Planungsphasen bezogen auf die Umwelteinwirkungen findet nicht statt. Bisher gibt es kaum Software, die eine Erfassung mit Hilfe einer BIM Schnittstelle ermöglicht. Das für eine Zertifizierung nach BREAAM verwendete LCA Programm IMPACT weist zwar eine Schnittstelle zu BIM auf, jedoch werden die Umwelteinwirkungen einerseits äußerst vereinfacht dargestellt, was nicht der Komplexität gerecht wird, und andererseits die Potentiale, die in einer BIM-LCA-Verbindung liegen, nicht ausgeschöpft. Darüber hinaus gibt es einige wenige Softwaretools (z.B. One Click LCA), die gewisse

BIM Informationen aus sehr standardisierten IFC Dateien lesen können (closed BIM) und an diese Ökobau.dat Datensätze anfügen können, allerdings sehr vereinfacht und wie bereits erwähnt in späten Planungsphasen, was den Mehrwert einer planungsbegleitenden Ökobilanz in frühen Planungsphasen nicht ausreizt.

Daneben existieren Konzepte und Lösungsansätze aus dem universitären Umfeld, die sich mit der Thematik „Verbindung von LCA und BIM“ auseinandergesetzt haben, aber sich in der Praxis nicht durchsetzen konnten. Beispielsweise sollte hier die Dissertation von Neuberg (Neuberg 2004) erwähnt werden. Dieser beschrieb 2004 aufbauend auf dem damaligen modell-technischen Stand eine grundlegende webbasierte Möglichkeit, um IFC-basierte Produktmodelle von Gebäude mit vorhandenen LCA-Datenbanken verbinden zu können.

Im Themenfeld der Ökobilanzierung (LCA) ist eine Vielzahl von industrienahen bzw. universitären Forschergruppen tätig. Unter anderem beschäftigen sich wissenschaftlich die Hochschule Augsburg (Fakultät für Architektur und Bauwesen; Prof. Susanne Gampfer), die Universität Stuttgart (Lehrstuhl für Bauphysik, Prof. Dr. Mehra), die Technische Universität Darmstadt (FG Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft, Prof. Dr. rer. nat. Liselotte Schebek) und das Karlsruher Institut für Technologie (Institut für Technische Chemie Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme; Sibylle Wursthorn) mit Ökobilanzen und im Besonderen mit Gebäudeökobilanzen.

Neben den universitären Forschungseinrichtungen gibt es auf Grund der Marktrelevanz von Gebäudezertifizierungssystemen, bei denen die Gebäudeökobilanz eine große Rolle spielt (z.B. DGNB), eine große Anzahl von Firmen und Instituten, die sich mit Ökobilanzen beschäftigen. Zu nennen wären hier u.a. Thinkstep AG, Quantis, GreenDelta, Öko-Institut e.V. und Ingenieurbüro Trinius.

Im Rahmen des hier berichteten Vorhabens konnte in Veranstaltungen zum Thema Gebäudeökobilanzierung auf Vertreter dieser Universitäten und Einrichtungen zugegangen werden und sich mit diesen ausgetauscht und abgestimmt werden. Beispielsweise schon sehr früh im Projekt auf dem BauZ! Kongress 2017, an dem ein internationaler Roundtable von Forschungseinrichtungen zum Thema BIM und Gebäudeökobilanz stattgefunden hat. Zusätzlich wurden im Laufe des Projektes verschiedene Gespräche mit den Vertretern in den Gremien des IBU, VDI und buildingSMART geführt, um die neuesten Entwicklungen im Bereich BIM und EPD einfließen lassen zu können. Des Weiteren wurde aktiv im neuen IEA EBC Annex 72 mitgewirkt, der sich mit Gebäudeökobilanzen beschäftigt.

## 2.3. Building Information Modeling (BIM)

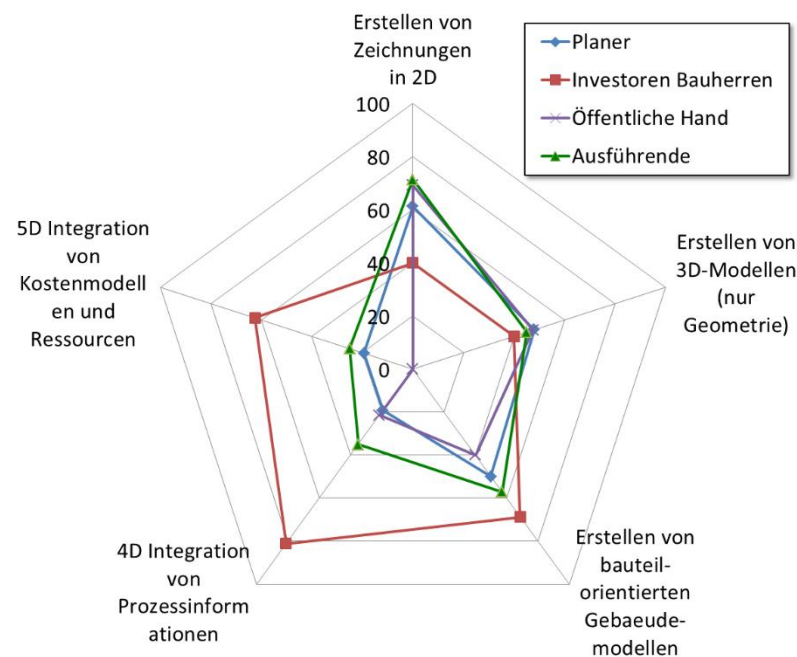
Praxisbeispiele und Studien zeigen sehr deutlich, dass sich durch die konsequente Anwendung modelbasierter Planungsmethoden (BIM) erhebliche Potentiale zur Qualitäts- und Effizienzsteigerung in Bauwesen erschließen lassen. [BoKK12, EHLP13, Kogg13] (siehe zur Quantifizierung auch 3.2.1 sowie Abbildung 6).

Trotz der durch die öffentliche Hand erkannten Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit [Kogg13], bleibt die praktische Anwendung von BIM im deutschen Bauwesen weit hinter den rasanten Entwicklungen in nordeuropäischen Ländern und dem angelsächsischen Raum zurück [BoKK12, Stuh14], die BIM und IFC zum Teil bereits als obligatorische Voraussetzung für (öffentliche) Bauvorhaben festgeschrieben haben [Stuh14]. So scheint es, dass Deutschland hier durchaus den Anschluss „verlieren“ könnte.

Das am BLM durchgeführte ZukunftBAU Forschungsprojekt „BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsfelder“ widmet sich 2012 der Analyse des derzeitigen Standes der Umsetzung der Methode des „Building Information Modeling“ in der deutschen Planungs- und Baupraxis [BoKK12]. Das Forschungsvorhaben untersuchte die bestehende Planungs- und Ausführungspraxis im deutschen Bauwesen in Bezug auf den Einsatz von BIM-Technologien bzw. Methoden und stellt die daraus resultierende Analyse den Potentialen der Methode wie auch den bestehenden Hemmnissen gegenüber.

### 2.3.1 Status Quo

Wie die Umfrageergebnisse zeigen, ist die Verbreitung BIM-basierter Anwendungen unter den Teilnehmern relativ hoch. Fast 60% der Ausführenden gaben an, BIM-Methoden bzw. Werkzeuge bereits generell bei der Projektarbeit eingesetzt zu haben, gefolgt von über 50% der Planer.



**Abbildung 4 Status Quo der BIM-Nutzung**

Die Möglichkeit zur Mehrfachnennung deckte aber auf, dass zielgruppenübergreifend fast alle Akteure je nach Projektkontext auf mehreren BIM Evolutionsstufen agieren und im Durchschnitt zwei bis drei unterschiedliche Methoden im Unternehmen zum Einsatz kommen.

Dabei ist die 2D-Planung, wie Abbildung 5 zeigt, allerdings nach wie vor die häufigste Methode. Besonders die Gruppe der Planer setzten noch in mehr als 60% ihrer Tätigkeitsbereiche auf eine reine 2D-Planung, obwohl die von ihnen eingesetzten Softwarepakete deutlich leistungsfähigere Vorgehensweisen erlauben würden. In der Gruppe der Baufirmen steigt dieser Anteil sogar auf mehr als 70%.

Die zum Einsatz kommenden Werkzeuge werden zudem sehr stark vom jeweiligen Prozess bestimmt. Aber auch die Kooperationssituation und die beteiligten Partner haben Einfluss auf die angewandte Methode. Eine im Jahr 2015 durch das Fraunhofer durchgeführte Marktanalyse [BRKH15] griff einen Großteil der Fragen auf und zeigte, dass sich diese Situation bisher kaum verändert hat.

### 2.3.2 Benefit

Insgesamt gaben alle modellorientiert Arbeitenden einen sichtbaren erfahrenen Mehrwert sowie eine verbesserte Wertschöpfung durch die Anwendung der BIM-Methode an (Abb. 6). Wie Abbildung 6 zu entnehmen ist, kann so bspw. die Häufigkeit von Mehrfacheingaben je nach Anwendergruppe um bis zu 60% reduziert, werden der zeitliche Aufwand für Änderungen um ca. 45% reduziert sowie unternehmensinterne Folgeprozesse können laut den Ergebnissen stark (ca. 35-40%) verbessert werden.

Bei der zusammenfassenden Betrachtung der wiedergegebenen Erfahrungen der Planer bezüglich der modellorientierten Arbeitsweise liegen die Beurteilungen in ähnlichen Bereichen. Eine Ausnahme bilden allerdings die TGA-Planer – sie scheinen von der modellorientierten Arbeitsweise am wenigsten zu profitieren (siehe Abbildung 5).

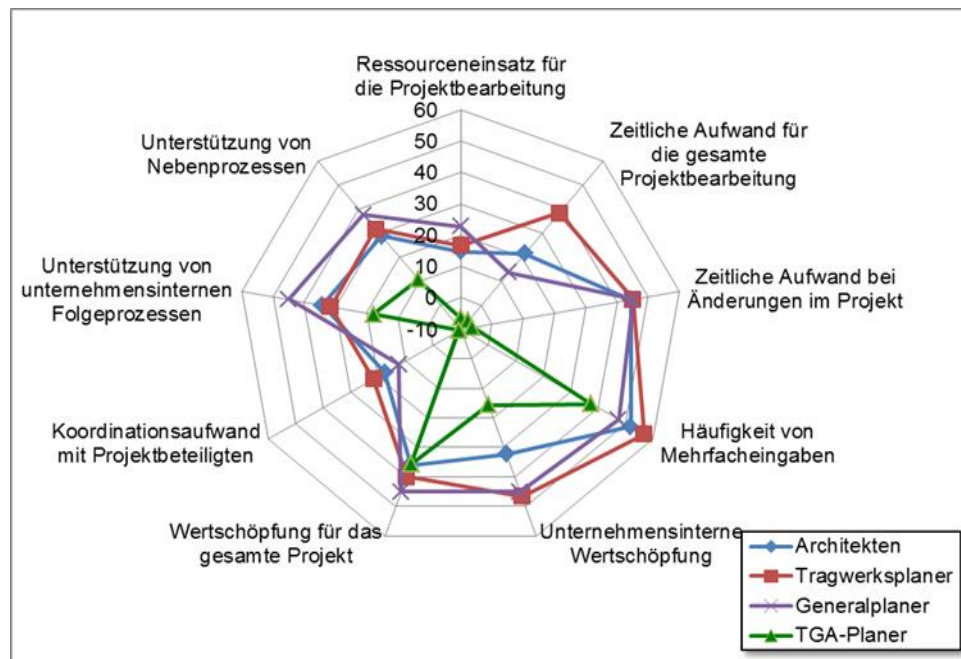


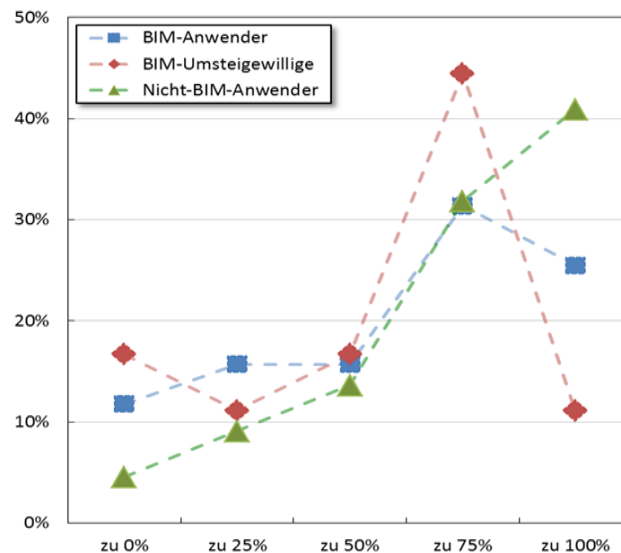
Abbildung 5 Beurteilung des Benefit der BIM-Methode durch BIM-Anwender (Planer)

Interessanterweise zeigte sich aber, dass BIM nicht in der Lage zu sein scheint, das Kooperationsverhalten zwischen den einzelnen Projektpartnern innerhalb der existierenden Strukturen in Deutschland signifikant zu verbessern. Der Benefit der BIM-Methodik wird so bisher zumeist nur in unternehmensinternen Prozessen abgeschöpft. Kooperative Prozesse zwischen Projektpartnern auf Basis eines durchgehenden Modells scheinen so derzeit nicht genügend effizient durchführbar zu sein, um einen entsprechenden Mehrwert zu schaffen. Dies erstaunt umso mehr, als dass gerade in der prozess- und akteursübergeordneten Integration das größte Potential der Methode gesehen werden kann. Hier zeigt sich ein großer Bedarf an integrativen Planungs- und Kooperationsmethoden und Planungshilfsmitteln.

### 2.3.3 Hemmnisse

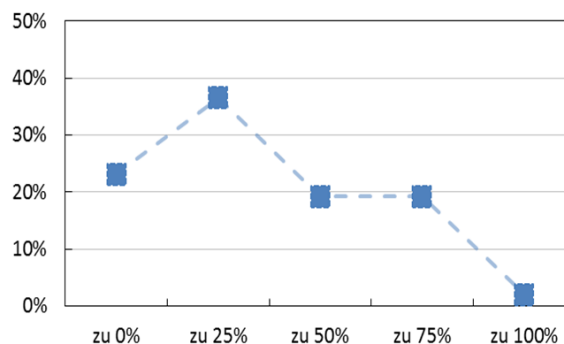
Eine Verbesserung der Situation ist nur durch Beseitigung der erkannten Hemmnisse zu erzielen: Besonders der Punkt derzeit noch mangelnder technischer Interoperabilität ist hier hervorzuheben. Wie die folgende Abbildung 6 zeigt, gab ein Großteil der Befragten an, dass die verfügbaren Austauschformate für digitale Gebäudemodelle nicht durchgängig nutzbar sind.





**Abbildung 6 Zustimmungsverteilung 'Die verfügbaren Austauschformate für digitale Gebäudemodelle sind nicht durchgängig nutzbar.'**

Spezieller Augenmerk ist dabei auf eine Verbesserung der Spezifikationen sowie Schnittstellenimplementierungen herstellerneutraler Standards wie IFC zu legen: So wurde offensichtlich, dass die derzeit am Markt verfügbaren IFC-Schnittstellen weder die inhaltlichen noch formalen Anforderungen der Nutzer erfüllen (siehe Abb. 8).



**Abbildung 7 Zustimmungsverteilung 'Das Austauschformat IFC erfüllt unsere inhaltlichen und formalen Anforderungen für den Austausch der Modelldaten.'**

Hieraus ergibt sich ein dringender Handlungsbedarf zur Erweiterung und Verbesserung IFC-basierter Schnittstellenspezifikationen und Austauschprozesse. Bezugnehmend auf die oben beschriebenen schlechten Kooperationsbedingungen auf Seiten der TGA-Planer, erscheint dies speziell zur besseren Einbindung energetischer und auf die Haustechnikkomponenten bezogener Belange großes Verbesserungspotential zu bergen.

Auch zeigte die Umfrage ein Fehlen verlässlicher Vertragsvorlagen für BIM-Anwendungen und Prozesse, besonders im Hinblick darauf, eine ausreichende inhaltliche wie formale Qualität von BIM-Modellen sicherzustellen. Die in dem hier berichteten Vorhaben vorgesehene Spezifikation generalisierter und inhaltlich wie formal standardisierter Schnittstellen setzt genau an diesem Punkt an.

Die Anwendung der mit der BIM-Methodik verbundenen integrativen und collaborativen Arbeitsweisen und der damit einhergehende erhöhte Aufwand an Koordination und Synchronisation lässt zu dem neuen Prozesse sowie Verantwortlichkeiten und Rollen entstehen, welche ein neues bzw. erweitertes

Kompetenzprofil voraussetzen. Die Qualifikation der Mitarbeiter und Berufsanfänger im BIM-basierten Arbeiten werden in der Umfrage allerdings allgemein als unterdurchschnittlich und nicht ausreichend eingestuft. Die Bereitstellung geeigneter prozessbezogener Hilfestellungen und Leitfäden, wie sie auch in diesem hier berichtete Vorhaben entwickelt werden sollen, stellen hierzu einen geeigneten möglichen Lösungsansatz dar.

Die durchgehend negative Beurteilung sowohl der generellen methodischen Fähigkeiten, des inter- und transdisziplinäre Denkens, die Prozessorientierung sowie das Verständnis der übergeordneten gegenseitigen Abhängigkeit können zudem als Hinweis auf einen dringenden Handlungsbedarf in Bezug auf die Weiterentwicklung und Verbreitung integrativer systemischer Planungsansätze betrachtet werden.

### 2.3.4 Aktuelle projektrelevante Entwicklungen und Akteure im Bereich BIM

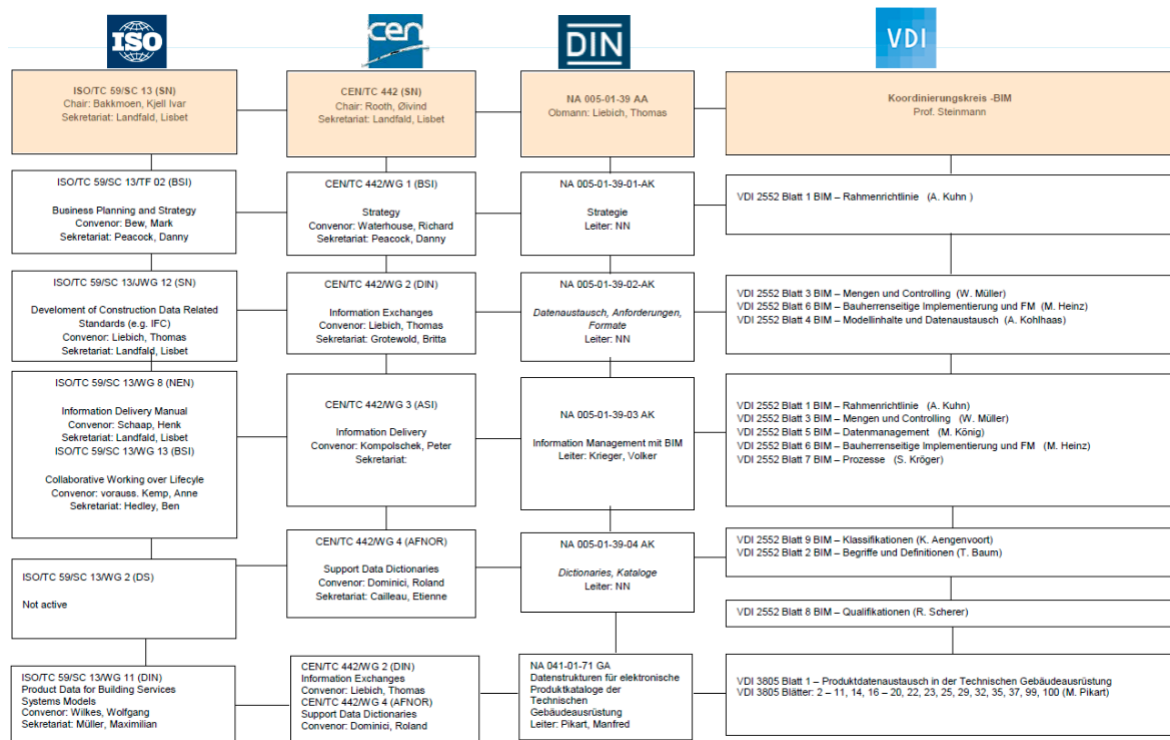
Wichtige Akteure im Bereich BIM sind die buildingSMART Deutschland e.V.. Dieser Interessenverband von Unternehmen, Lehrinrichtungen und Privatpersonen aus allen Bereichen des Bauwesens hat sich zum Ziel gesetzt, die Projektabwicklung mittels effizienter Methoden integrierter Informationsverarbeitung durchgängiger und effektiver zu gestalten und damit qualitäts-, termin- und kostensicherer zu machen. Im Mittelpunkt des Verbandes steht [Building Information Modeling](#) (BIM) als Planungsmethode auf Basis digitaler Bauwerksmodelle. Für eine offene BIM Anwendung konzipiert und zertifiziert der Verein Standards wie [IFC](#) (vgl. <http://www.buildingsmart.de>).

Die Planen und Bauen 4.0 GmbH ist eine Initiative aller relevanten Kammern und Verbänden der Wertschöpfungskette Planen, Bauen und Betreiben in Deutschland, deren Ziel es, die beschleunigte Einführung von BIM in Deutschland zu koordinieren und zu unterstützen (vgl. <http://planen-bauen40.de/>). Als ein wichtiges Instrument wurde gemeinsam mit dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastrukturen der „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ entwickelt ([https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile)).

Ein im Kontext BIM interessantes Forschungskonsortium ist die Projektgruppe des Projektes BIMiD (<http://www.bimid.de>). Das Projekt „BIMiD – BIM-Referenzobjekt in Deutschland“ ist Teil der Förderinitiative „eStandards: Geschäftsprozesse standardisieren, Erfolg sichern“, die im Rahmen des Förderschwerpunkts „Mittelstand-Digital – Strategien zur digitalen Transformation der Unternehmensprozesse“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert wird. Ziel von BIMiD ist es, die Building-Information-Modeling-Methode anhand konkreter Bauprojekte beispielhaft zu demonstrieren. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen dazu dienen, BIM insbesondere in der mittelständisch geprägten deutschen Bau- und Immobilienwirtschaft zum Erfolg zu verhelfen. Neben buildimgSMART, aec3 sowie dem Fraunhofer IAO ist auch der an unserem Vorhaben beteiligte Partner Fraunhofer IBP in dieses Projekt involviert. (vgl. <http://www.bimid.de/projekt-bimid>)

Wichtige Entwicklungen im Kontext BIM finden zurzeit sowohl auf Seiten der Modell- und Prozess-Standards (z.B. ISO 16739 (IFC), ISO 16757 (VDI 3805), ISO 29481 (IDM Vorlage), ISO/TC 12911 (BIM Guideline Vorlage)), als auch zu BIM-Leitfäden sowie VDI-Regelwerken statt. Für das Vorhaben relevant ist auch der Schnittbereich zwischen standardisierten Bauleistungsbeschreibungen und vereinheitlichter Ökobilanzierung. Mit der DIN SPEC 91400 (BIM-Klassifikation nach STLB-Bau) werden Referenzen für Kataloginformationen erarbeitet, die strukturierte Daten beider Domänen einheitlich an den etablierten BIM-Modellstandard ISO 16739 (IFC 2x4) binden.

Die laufenden nationalen und internationalen Normierungstätigkeiten im Bereich BIM zeigt die folgende Abbildung.



**Abbildung 8 internationale Normierungstätigkeiten und Akteure (Quelle. Raso Steinmann: VDI-BIM-Richtlinien der Nationale BIM-Standard für Deutschland, URL: [http://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=File.download&id=4200&name=Steinmann\(buildingSMART\)\\_VDI2552National](http://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=File.download&id=4200&name=Steinmann(buildingSMART)_VDI2552National)**

Technologische Grundlage dieser Normalisierungsbestrebungen ist u. a. eine Harmonisierung mit dem internationalen IFC-Modellstandard. Die Industry Foundation Classes (IFC) sind als objektorientierter BIM-Standard seit 2013 als ISO-Standard 16739 spezifiziert und in der Version 2x3 bei den meisten handelsüblichen CAD- und BIM-Systemen in der sogenannten „Coordination View“ zertifiziert (vgl. buildingSMART14-1). Die derzeit als Beta-Version vorhandene IFC 2x4 Version enthält Erweiterungen, die gerade in Hinblick auf Mengenangaben, Klassifizierungen und Energie- wie LCA-relevante Property-Sets interessant sind.

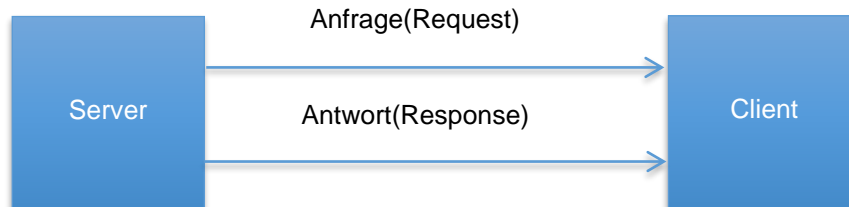
## 2.4. Web-Technologie

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen der Client-Server-Architektur einleitend für das Kern Kapitel, erfasst. Ein Server ist ein Software-Programm, das auf einem speziellen Rechner (Host) im Netz läuft und wartet auf Anfragen, um Dienste anzubieten. Ein Client ist ebenso ein Software-Programm, das Dienste vom Server empfängt und nutzt.

**Eine Webapplikation** ist eine verteilte Betriebssystemunabhängige Anwendung. Sie besteht aus drei Säulen; Der Client, der Server und die Anwendungslogik, die die Datenverarbeitung, die Interaktionen und eine gewisse Interoperabilität ermöglicht. Es wird zwischen zwei schichtige und drei schichtige Webanwendungen unterschieden. Soll es eine statische Seite ohne persistierte Datenverwaltung werden so wird die Rede von einer zwei-Schichten-Architektur mit nur eine Präsentation und eine Anwendungsschicht. werden noch Daten gehalten und bearbeitet, kommt noch eine dritte Schicht ins Spiel, die Persistierungsschicht, und somit die dritte Schicht einer Drei-Schichten-Architektur.

Im Allgemeinen bildet die nachfolgend abgebildete (Abbildung xyz) Client-Server-Architektur die Basis einer Kommunikation im Netzwerk. Client und Server sind die zwei Hardware, die Frontend- und die Backend-Software ausführen, um die Kommunikation zu steuern, und die Anfragen bzw. Antworten zu bearbeiten und somit die Anwendungsschicht geteilt beinhalten.

Der Client und der Server teilen sich die Aufgaben und Dienste. Die Anwendungsschicht ermöglicht die verteilten Interaktionen zwischen dem Client und dem Server, und verarbeitet die Daten. Der Client fordert einen Dienst oder eine Aufgabe vom Webserver, der permanent auf Anfragen wartet. Dieser übernimmt die Anfrage bearbeitet sie, führt sie aus und schickt eine Antwort zurück. Der Client lädt die Antwort über seine Browser, bearbeitet sie und stellt die Seite dort dar. Die Browser ist das Stücksoftware auf dem Client, dass die beispielsweise in einem HTML-Code geschriebenen Darstellungsparametern, Daten, Bilder usw. darstellt.



**Abbildung 9: Client-Server-Architektur**

Der Client ist in der Regel immer der Anfragen Steller. Eine Anfrage, ermöglicht es dem Client Informationen zum Server zu senden, um eine Verbindung aufzubauen oder um einen Dienst zu bekommen. Die Seite wird per URL-Adresse (Uniform Ressource Locator) über das Netzwerk, in der Regel über das Internet, aufgerufen. Diese Internet- oder auch Web-Adresse genannt wird in einer HTTP Anfrage (englisch: Hypertext Transfer Protocol oder Hypertext-Übertragungsprotokoll) abgewickelt und zu dem Server im Netz geleitet. Der Server, der die gewünschte Applikation hostet, bearbeitet die Anfrage und schickt seine Antwort meistens in die HTML Format mit einer Bestätigung zurück. Eine Antwort beinhaltet, nach Bearbeitung der Anfrage, das Code für die Repräsentation der Web-Seite auf dem Browser des Clients sowie die notwendigen Daten.

### 3. Lösungsansatz

Die beschriebenen Ziele sollen durch den integrierten Ansatz (vgl. Abbildung 2) auf zwei Ebenen erreicht werden: Auf einer technischen Ebene mit der Entwicklung einer generalisierten Schnittstelle sowie einer übergeordneten methodischen Prozess-Ebene (Phasenmodell).

#### 3.1. Technische Ebene: Generalisierte Schnittstelle BIM-LCA-Bewertung

Integrale Planung ist zu verstehen als ein anforderungsorientierter Regelmechanismus, welcher bereits beginnend in frühen Planungsphasen eine prozessbezogene ganzheitliche Analyse und Optimierung des Planungsgegenstandes gegenüber Nachhaltigkeitsanforderungen und -kriterien unterstützt. Um dies zu ermöglichen, soll auf technischer Ebene durch die Konzeption und technische Realisierung einer generalisierten, durchgängigen digitalen Datenkette eine verbesserte prozessbegleitende Anbindung von Analyse und Bewertungswerkzeugen erreicht werden.

Aktuelle Diskussionen im Bereich der nachhaltigen Planung zeigen deutlich, dass eine Breitenwirkung der bisherigen LCA und Nachhaltigkeits-Bewertungsansätze nur durch verstärkte Aktivitäten im Bereich der Standardisierung – sowohl auf inhaltlicher Ebene wie auf technischer bzw. informationstechnischer Ebene (bspw. standardisierte Baudokumentation) – realisiert werden kann.

Das hier berichtete Vorhaben behandelt den Problempunkt der bisher unzureichenden inhaltlichen Spezifizierungen und Normalisierung des Datenflusses auf inhaltlicher Ebene durch die Anbindung an den mit dem Prozessmodell entwickelten und optimierten bewertungsgestützten Planungsprozess und die hierin beschriebenen Modellierungs- und Wissensinhalte. Auf der anderen Seite durch eine hierzu bezugnehmende anforderungsorientierte Spezifikation generalisierter lcaXML-Schemas als

Schnittstellenstandards, sowohl für den Schritt der BIM-basierten Datenerfassung für die Ökobilanz (BIM-LCA-Input) wie auch für die Aufbereitung generalisierter Ergebniswerte (lcaResultXML) als Basis etablierter Nachhaltigkeits-Bewertungssysteme (siehe Abbildung 2).

Auf implementierungstechnischer Ebene wird dies unterstützt durch die Entwicklung eines intelligenten Konvertierungswerkzeuges (BIMtoLCA), welches die zuvor definierten Schemas bedient. Ergänzt wird dies durch die exemplarische Entwicklung von entsprechenden Import- und Export-Schnittstellen am LCA-Werkzeug „SBS“ des Fraunhofer IBP sowie der Entwicklung einer XML-basierten Importschnittstelle der LCA-Ergebnisdaten in das „SysTool“ der DGNB. Ziel ist es, sowohl die inhaltliche wie formale Spezifikation eines verbesserten Prozesses und Datenflusses als auch exemplarisch szenariobezogen eine prototypische Implementierung im Förderzeitrahmen zu realisieren.

In enger Wechselwirkung mit dem im Phasenmodell spezifizierten, in den jeweiligen Phasen erforderlichen Wissen, soll darüber hinaus der bisher zumeist für spätere bauteilorientierte Planungsphasen konzipierte bzw. implementierte BIM-Ansatz um typologische und den Grad der vorhandenen Unschärfe berücksichtigende Beschreibungsmöglichkeiten erweitert werden. Eine Analyse und ggf. Erweiterung des BIM-Datenstandards IFCXML (als sogenannte Model View Definition MVD) soll typologische Beschreibungen ermöglichen.

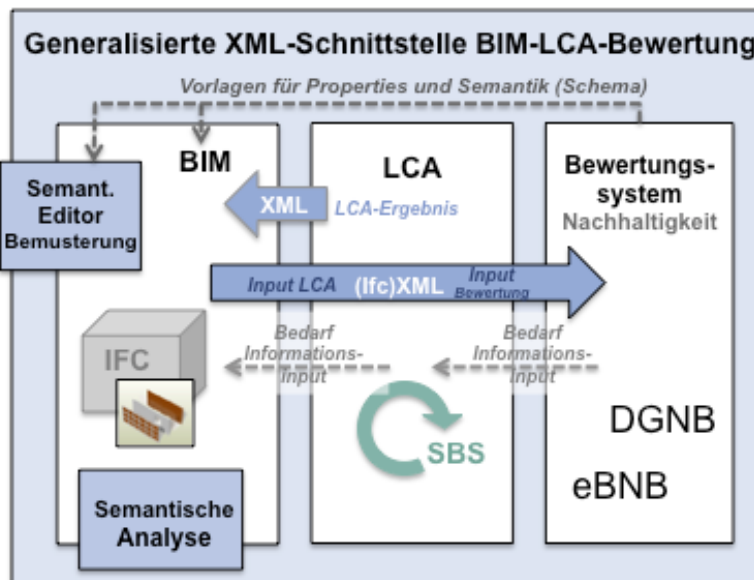


Abbildung 10 Konzeptidee zur generalisierten Schnittstelle BIM-LCA-Bewertung

Mechanismen zur semantischen Anreicherung und Anpassung der BIM-Modelle sollen es entlang des Datenflusses ermöglichen, auch bei unzureichender Datengrundlage der Ursprungsmodelle aus dem CAD die Informations- und damit Prozessqualität entscheidend zu verbessern. Ein im Projekt zu entwickelnder semantischer Editor soll hierzu auf BIM-Seite eine Anpassung und Ergänzung der für die Durchführung von Ökobilanzierungen erforderlichen Modellsemantik (alphanumerische Properties) ermöglichen und zudem im Sinne einer Bemusterung die Klassifizierung von BIM-Objekten durch Referenzierung auf Klassifizierungssysteme und ggf. Kataloge zu Materialisierungen (EPDs bzw. Referenzen auf Datenbanken wie die Ökobau.dat) erlauben. Hierzu werden bestehende Ansätze zur Materialklassifizierung (z.B. Omni-Class, UniClass2, DINSpec 91400) analysiert und szenariobezogen exemplarisch angewandt.

Auch soll die für die integrale Planung wichtige Rückführung von LCA-Ergebnissen in die Planung bzw. das BIM-Modell erfolgen. Dies soll szenariobezogen über vordefinierte Masken im semantischen BIM-Editierungswerkzeug realisiert werden. So können die LCA-Ergebnisse zudem einer modelbasierten semantischen Modellanalyse (semantischer Modell-Checker) zugänglich gemacht werden, in welchem die im wissensbasierten Phasenmodell definierten Gebäudeanforderungen

(exemplarisch implementiert für das Anwendungsszenario Ökobilanz) in technische BIM-Prüfregeln überführt werden können. Durch diese regelbasierte Modellprüfung kann eine prozessbegleitende inhaltlich-logische Analyse und Auswertung des BIM-Modells realisiert werden. Hierzu sollen am BLM bereits vorhandenen Basis-Implementierungen erweitert und für den Anwendungsfall exemplarisch mit instanzifizierbaren Regelkomponenten versehen werden.

### 3.1.1 Detaillierter methodischer Forschungsansatz der technischen (Daten-) Ebene

Auf Basis bereits bei den Antragstellern vorhandener methodischer Vorarbeiten und inhaltlicher wie technologischer Entwicklungen soll zum einen der Prozessschritt vom Planungsgegenstand (repräsentiert durch ein herstellernerutrales, standardisiertes BIM-Format) zur LCA-Software verbessert werden. Eine anforderungsorientierte Prozessanalyse resultiert in der Spezifikation eines generalisierten herstellernerutralen IcaXML-Schemas (LCA-BIM-Input), das den maximalen aus BIM-Modellen ableitbaren Informationsinput für Ökobilanzen nach DIN EN 15978 abbilden kann. Ein prototypisch zu implementierender Konverter unterstützt darauf aufbauend das technische Mapping von BIM zur LCA. Der semantische Modell-Editor ermöglicht dabei die ggf. erforderliche Anreicherung des BIM-Modells (IFCXML) mit zusätzlichen LCA-relevanten Attributen oder auch (typologischen) Klassifizierungen von Bauelementen und Konstruktionen. So könnte beispielsweise die Grundlage für ein Mapping zu den in der ökobau.dat bereits spezifizierten generalisierten Bauteiltypen, zu Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration – EPD, vgl. DIN EN 15804) oder eine Referenzierung auf die in der neuen DIN SPEC 91400 definierten Klassen und Merkmale ermöglicht werden. Dieses IcaXML Schema wird so generalisiert, dass es zur Bedienung unterschiedlicher LCA-Systeme herangezogen werden kann (siehe Abbildung 3).

Dieser Prozessschritt wird auf Seiten des LCA-Systems SBS exemplarisch durch die Entwicklung einer intelligenten Importschnittstelle vervollständigt, welche auch eine manuelle Ergänzung der Inputdaten durch im System hinterlegte Standard-Konstruktions- und Materialisierungstypen erlaubt.

Die Ergebnisse der LCA beinhalten wichtige Parameter für die heute in Deutschland relevanten Bewertungssystemen (eBNB und DGNB). Ein automatisierter und auch konfigurierbarer Export dieser Ergebnisdaten in ein zuvor anforderungsorientiert spezifiziertes XML-Format (IcaResultXML) ermöglicht die effiziente Bereitstellung dieser Daten. Der Projektpartner DGNB realisiert ergänzend dazu eine Importschnittstelle der relevanten ökologischen Indikatoren vom Ica\_resultXML in das SysTool der DGNB.

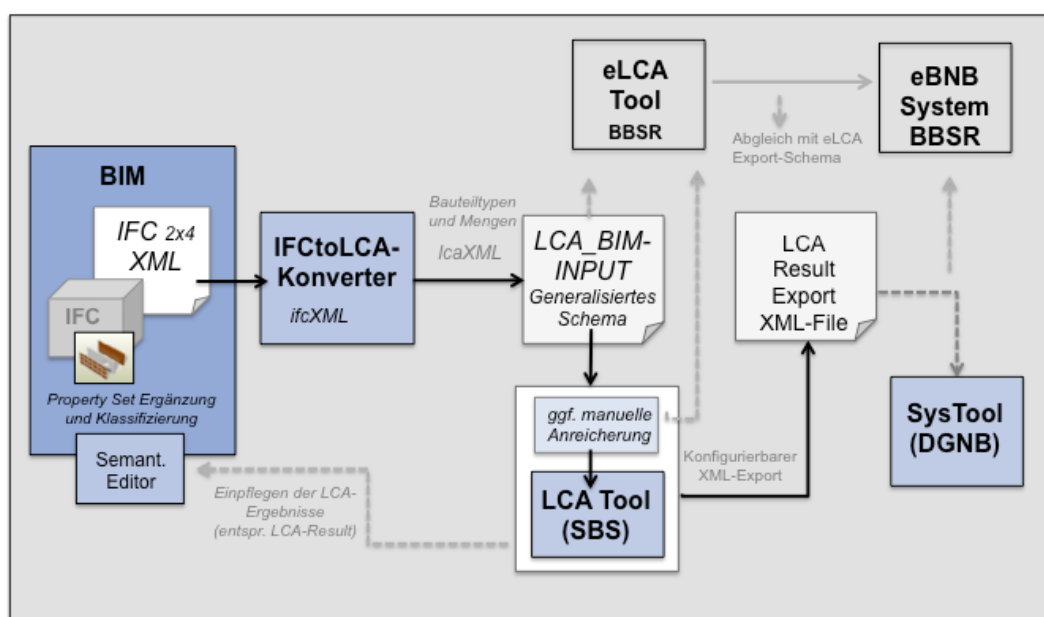


Abbildung 3: Technisches Zielszenario des Datenflusses BIM-LCA-Bewertung

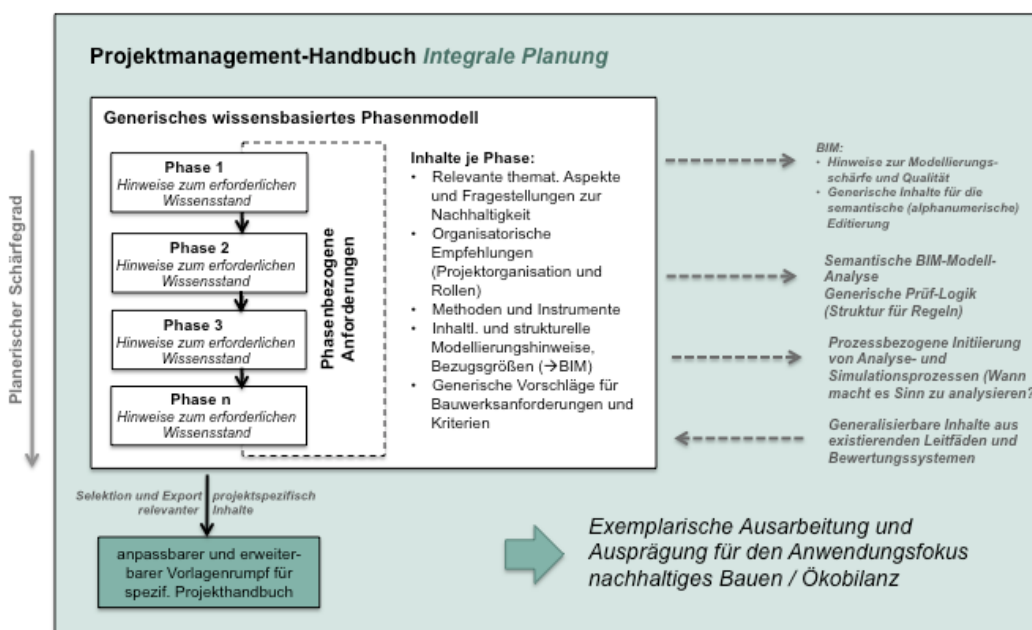


### 3.2. Wissensbasiertes Phasenmodell

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung eines wissensbasierten Phasenmodells, in welches die technische Ebene eingebettet ist und aus welcher heraus die prozessbegleitenden Bewertungsprozesse angestoßen werden. Dieses Prozess-Modell unterstützt eine phasenorientierte und –gerechte bewertungsgestützte Entwicklung und Konkretisierung des Planungsgegenstandes im Sinne der integralen nachhaltigen Planung. Vertieft und umgesetzt werden soll dies exemplarisch in Abstimmung mit der technischen Ebene anhand eines im Projekt zu entwickelnden Szenarios im Themenfeld der Ökobilanz und Nachhaltigkeitsbewertung.

Dabei soll, wie in Abbildung 4 dargestellt, ein planungsmethodisches phasenorientiertes Vorgehens- und Wissensmodell zur integralen nachhaltigen Planung als Basis der Entwicklung eines prozessbezogenen Planungshilfsmittels dienen, aus dem heraus Optimierungs- und Bewertungsprozesse angestoßen werden können.

Als ein projektübergeordnetes Projektmanagement-Handbuch soll dieses Planungshilfsmittel Best-Practices und Hinweise bereitstellen. Gemeinsam mit den Praxispartnern intep und DGNB soll analysiert und dargestellt werden, in welchen Planungsphasen eine LCA-Bewertung mit welchem Schärfe- bzw. Detaillierungsgrad Sinn ergibt und welches Bilanzierungs- bzw. Ergebniswissen im Planungsprozess benötigt wird. Zudem wird aufgezeigt, welche Nachhaltigkeitsthemen bzw. -kriterien in welcher Projektphase relevant sind, so dass durch deren phasengerechte Berücksichtigung auch eine Optimierung der Nachhaltigkeitsperformance erzielt werden kann.



**Abbildung 4: Konzeptidee des wissensbasierten Phasenmodells und dessen Umsetzung als Projektmanagement-Handbuch „Integrale Planung“**

Unter Einbeziehung bestehender Richtlinien und Leitfäden, wie beispielsweise dem „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ und dem „eBNB“ System des BBSR wie auch dem DGNB-Bewertungssystem, werden Hinweise und Referenzen zu Anforderungen und planungsrelevanten Nachhaltigkeitskriterien bereitgestellt. Diese in der Prozess-Schale definierten generischen Anforderungen bilden szenariobezogen die inhaltliche Basis zur Spezifizierung einer projektspezifischen Prüflogik für ein zu entwickelndes regelbasiertes semantischen BIM-Prüfwerkzeug (siehe Abschnitt zur technischen Ebene). Mittels dieses Prüfwerkzeuges können semantische Eigenschaften des BIM-Planungsmodells bspw. gegenüber den spezifizierten (Nachhaltigkeits-) Anforderungen geprüft werden.

Zudem werden im Projektmanagement-Handbuch Empfehlungen zu organisatorischen Aspekten (bspw. Kompetenzen und Rollen), zu verfügbaren Methoden und Instrumenten wie auch zu dem im Planungsprozess zur Behandlung von Nachhaltigkeitsfragestellungen jeweils erforderlichen Wissen erarbeitet und im Handbuch abgebildet (vgl. Abbildung 4). Hieraus können für die technische Modellierungsseite phasenbezogen konkrete Hinweise zu den phasenbezogen erforderlichen (BIM-) Modellinhalten sowie der Modellierungsqualität und dem Detaillierungs- bzw. den Schärfegrad der Modellierung abgeleitet werden.

Aus diesem generalisierten projektübergeordneten PM-Handbuch sollen anpassbare und ergänzbare Vorlagen für vorhabensspezifische Projekthandbücher ableitbar sein. Dabei können reale Projektkontexte und daraus abgeleitete Best Practices der Projektpartner zur Validierung der praktischen Umsetzbarkeit der methodischen Ansätze genutzt werden.

### 3.3. Methodisches Vorgehen

Die beschriebenen Ziele sollen auf zwei Ebenen erreicht werden: Auf einer technischen Ebene mit der Entwicklung einer generalisierten Schnittstelle sowie einer damit verwobenen übergeordneten methodischen Prozess-Ebene (Phasenmodell).

#### 3.3.1 Technische Ebene

Zunächst erfolgt eine inhaltliche und technische Analyse des Workflows zur Einbindung von LCA-Bilanzierungen und Nachhaltigkeitsbewertungen in unterschiedliche Planungsphasen, exemplarisch anhand des SBS Building Sustainability Systems des Fraunhofer IBP sowie des eLCA Tools des BBSR, auf Bewertungsseite für das Bewertungssystem DGNB (SysTool).

Hierauf aufbauend wird ein optimierter LCA-Prozessablaufs entwickelt, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Unterstützung früher Planungsphasen und unterschiedlicher planerischer Konkretisierungsgrade gelegt wird. Darauf basierend erfolgt die Spezifikation des prozessbezogenen Informationsbedarfs durch Spezifikation eines Exchange Requirement Model (ERM) [vgl. buildingSMART14-3] von BIM über LCA bis zum Bewertungssystem. Die formale Abbildung mittels BPMN (Business Process Model Notation nach ISO/IEC 19510:2013) stellt dabei die Basis dar zur Überführung in ein prozessbasiertes IDM (Information Delivery Manual nach ISO 29481-1:2010 "Building information modelling - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format"). Ein wichtiger Punkt ist dabei die Generalisierbarkeit und Nutzung für unterschiedliche LCA- und Bewertungssysteme.

Hierauf aufbauend erfolgt eine Analyse der Industry Foundation Classes (IFC) in der Version 2x4 XML auf Abbildbarkeit der identifizierten Informationsbedarfe (inkl. Klassifizierungsmechanismen) und letztendlich die Spezifikation als IFC-MVD (Model View Definition).

Parallel hierzu findet eine Analyse existierender Klassifizierungssysteme für Bauelemente, Produkte / Materialien und Produktmerkmale statt, die im Kontext Nachhaltigkeit und LCA relevant sind. Hier soll ein besonderes Augenmerk auf die neue „ökobau.dat“ sowie die neue DIN SPEC 91400 gelegt werden.

Als neutrale Datenbasis für LCA-Werkzeuge nach DIN EN 15978 wird aufbauend auf dem identifizierten Informationsbedarf ein generalisiertes Schema (IcaXML) zur Beschreibung der aus BIM extrahierten LCA-relevanten Inputwerte spezifiziert.

Aufbauend auf diesen inhaltlichen Arbeiten konzipiert und implementiert das BLM - basierend auf einem am Institut als Vorarbeiten vorhandenen BIM-Collaboration-ToolKit – szenariobasiert ein intelligentes Konvertierungswerkzeug (ifc2x4 zu IcaXML), das eine smarte Selektion berechnungsrelevanter Teilmodelle erlaubt sowie über den BIM-Modell-Editor die Ergänzung der



ifcXML-Files um Property-Sets und LCA-relevante Klassifizierungen bzw. Katalogreferenzen unterstützt.

Der Prozessschritt der Ökobilanz wird exemplarisch für das SBS Building Sustainability Werkzeug des Fraunhofer IBP realisiert. Auf Seiten der LCA Software erfolgt eine Anpassung der Businesslogik bei der Dateneingabe sowie eine Neukonzeption und Implementierung eines Import-Moduls, das zudem eine manuelle Ergänzung des entwickelten lcaXML-Files um im LCA-Tool bereits vorhandenen Standard-Bauteilbeschreibungen und zur Auflösung der auf IFC-Seite erfolgten Klassifizierungen erlaubt.

Für die Umsetzung einer durchgängigen normalisierten Schnittstelle zur Anbindung von LCA-Werkzeugen an BIM-Modelle können vordefinierte Bauteilbeschreibungen als ein wichtiger Baustein dienen. Auf Grund dessen werden basierend auf in Deutschland vorkommenden Konstruktionen durch das IBP exemplarisch ökobilanzielle Bauteilbeschreibungen für den Kontext des Anwendungsszenarios erstellt. Diese können unter anderem beispielsweise zur Abschätzung von Ökobilanzergebnissen in frühen Planungsphasen herangezogen werden. Die Konstruktionen werden in der Software „SBS Building Sustainability“ modelliert.

Es folgt die Konzeption und Implementierung einer XML-Export-Schnittstelle zur Bedienung von Nachhaltigkeits-Bewertungssystemen, wobei eine sinnvolle Konfigurierbarkeit der Ergebnisdaten angestrebt wird. Ein Exportmodus soll die Bedienung des eLCA-Exportformats des BBSR sein. Das eLCA XML-Export-Schema des BBSR liegt den Antragstellern bereits vor. Dies ermöglicht eine vereinfachte datentechnische Bedienung des eBNB Systems durch zusätzliche LCA-Werkzeuge.

Der Projektpartner DGNB konzipiert eine, ebenfalls dem auf dem LCA-Result-XML Schema (s.o.) aufbauende Importschnittstelle in das „SysTool“ des DGNB.

Die Evaluierung erfolgt exemplarisch, beispielsweise anhand eines aufbereiteten praxisgerechten IFC-Beispielgebäudes, das im Rahmen des buildingSMART-Anwenderhandbuches [siehe buildingSMART14-3] in unterschiedlichen CAD- und TGA-Systeme bereits modelliert wurde.

### 3.3.2 Wissensbasiertes Phasenmodell

Die strukturelle und theoretische Grundlage des Projektes bildet die Erarbeitung eines phasenorientierten kombinierten Vorgehens- und Wissensmodells. Zunächst erfolgt die Erarbeitung des Vorgehensmodells in drei aufeinander aufbauend Schritten. Im ersten Schritt wird gemeinsam mit den Projektpartnern ein Arbeitstreffen am BLM durchgeführt, in dem die aktuellen Erfahrungen der Praxispartner und die jüngsten theoretischen Arbeiten des BLM zusammengeführt werden. Als Ergebnis soll ein Modellentwurf vorliegen, welcher die nachfolgende Ausarbeitung der fachlichen Beiträge im zweiten Schritt strukturiert und die Abstimmung der Projektpartner erleichtert. In diesem zweiten Schritt findet die eigentliche inhaltliche Erarbeitung durch die Projektpartner separat statt. Im dritten Schritt werden die Inhalte in einem weiteren gemeinsamen Arbeitstreffen zusammengeführt, finalisiert und als konsolidiertes Modell für die weitere Verwendung im Projekt verabschiedet. So sollen beispielsweise Analyseergebnisse, Empfehlungen oder Beispiele auf dieses Modell referenzieren.

Zur Erweiterung hin zu einem kombinierten Vorgehens- und Wissensmodell wird der Praxispartner intep aus seinem reichen Erfahrungsschatz, auf Grundlage des konsolidierten Vorgehensmodells, geeignete Best-Practice-Beispiele für die einzelnen Phasen zusammenstellen. Gemeinsam mit dem BLM wird intep diese Dokumente analysieren und in einer einheitlichen Struktur aufbereitet dokumentieren. Dies geschieht auch unter Mitwirkung des IBP sowie der DGNB.

Zu den identifizierten Planungsphasen des Modells werden sodann durch die Projektpartner Empfehlungen und Musterinformationen erarbeitet, die u.a. folgende Punkte betreffen:

- Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit
- Darstellung phasengerechter Nachhaltigkeitskriterien

- Organisatorische Empfehlungen (Projektorganisation und Rollen)
- Methoden und Instrumente
- Inhaltliche und strukturelle Modellierungshinweise (Bezugsgrößen BIM)
- Generische Vorschläge für Bauwerksanforderungen und Kriterien

Die Zuordnung der Partner zu den einzelnen Punkten erfolgt Bezug nehmend zu ihrer fachlichen Expertise.

So sollen Empfehlungen erstellt werden, welche thematischen Aspekte den Kern der Phase auszeichnen, welcher Informationsgrad zum LCA für Planungsentscheidungen jeweils mindestens erforderlich ist, bzw. welcher Informationsgrad aus der Erfahrung wünschenswert ist. Und es werden organisatorische Empfehlungen zur Projektorganisation und Rollenverteilung auf Grundlage der jüngsten Praxiserfahrungen expliziert. Dabei sollen sowohl Fallbeispiele wie auch Generalisierungsvorschläge beschrieben werden.

Das BLM wird zu den dokumentierten Fallbeispielen Kriterien für Fallunterscheidungen und eine Klassifizierung erarbeiten, denen die Fallbeispiele und Generalisierungsvorschläge zugeordnet werden können.

Aus einer Analyse der einschlägigen Richtlinien und Leitfäden zum Nachhaltigen Bauen sowie der von den Praxispartnern eingebrachten Empfehlungen und Kriterien werden vom BLM Grundlagen für die datentechnische Modellierung abgeleitet (Modellinhalte, Modellqualität, Detailierungsgrade).

Die Ergebnisse der oben genannten Arbeitspakete werden zur einem Projektmanagement-Handbuch-Konzept zusammengeführt und bilden eine fundierte Grundlage für eine rechnerische Umsetzung als web-basierte Informationssammlung. Hierzu sollen im Projekt ein Konzept entwickelt werden, wie diese Informationssammlung der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden kann.

## 4. Methoden, Konzepte, Prozesse und Modelle

### 4.1. Optimierung übergeordnete (Planungs-) Prozesse

Die in Kapitel 2 beschriebenen Grundlagen bilden die Basis für die in diesem Projekt entwickelten Methoden zur Optimierung übergeordneter (Planungs-)Prozesse. Nachfolgend wird die in diesem Projekt Entwicklung und Ansätze der Phasenstruktur beschrieben sowie auf relevante Nachhaltigkeitsaspekte und Bauwerksanforderungen eingegangen.

#### 4.1.1 Entwicklung einer Phasenstruktur

Um komplexe Planungs- und Entwicklungsprozesse handhabbar zu gestalten, wird für die Projektplanung eine **Grobstrukturierung in Phasen** empfohlen. Diese ermöglicht es Zwischenziele zu definieren und damit Planungsentscheidungen stufenweise zu treffen und zu überprüfen, um auch in einer verteilten Projektorganisation den Projektablauf an sich ändernde Bedingungen, Ereignisse oder Erkenntnisse anzupassen. Durch die Phasengliederung können mögliche Alternativen und Varianten schrittweise reduziert werden, um für die weitere Bearbeitung den Lösungsraum zu reduzieren und mit jeder Phase eine Art Konsolidierung der Grundlagen für die weitere Planung zu schaffen (vgl. Aggteleky u. Bajna 1992, 21).

In der Produktentwicklung wird unter dem „**Stage-Gate-Ansatz**“ eine strikte Phasenstruktur verstanden. Dabei erfolgt eine Untergliederung der Aktivitäten in Phasen, die in ihrer Abfolge zeitlich gegliedert sind und durch Meilensteine getrennt werden. Der Übertritt in die nächste Phase erfolgt dabei erst durch Erreichen eines definierten Meilensteins, was im Prozessablauf durch ein Review auf Grundlage zuvor festgelegter Kriterien erfolgt. Werden die Kriterien nicht erfüllt, so muss in der Phase

nachgearbeitet werden, bevor mit der nächsten Phase begonnen werden kann. Mit Hilfe dieses Ansatzes erfolgt eine Fokussierung auf die Ziele zu bestimmten Zeitpunkten der Entwicklung. Jedoch erfolgt eine Optimierung zunächst innerhalb der aktuellen Phase und nicht im Gesamtablauf (Bender u. Gericke 2016, 404). In solch einem strukturierten Innovationsprozess können die Entscheidungsleistungen zwar formalisiert werden, allerdings birgt eine strikte Auslegung – insbesondere bei fehlender Adaption an den Unternehmenskontext – die Gefahr der Erstarrung und Ablehnung.

Für den vorliegenden Projektkontext, mit dem Ziel einer ganzheitlichen Optimierung der Planung hinsichtlich Nachhaltigkeit, soll im Sinne einer Integralen Planung, neben den eigentlichen Planungsphasen, der **gesamte Produkt- oder Gebäudelebenszyklus im Phasenmodell berücksichtigt** werden. Den frühen Planungsphasen kommt dabei eine hohe Bedeutung zu. Um keine idealistische oder strikte Vorgehensstruktur zu entwickeln, sollte die Phasenstruktur auch das „naturwüchsige“ Planungsverhalten angemessen berücksichtigen und daraufhin überprüfen, an welchen kritischen Stellen im Planungsprozess wichtige Entscheidungen über die Nachhaltigkeit eines Gebäudes getroffen werden und wie der Planungsprozess in Richtung einer Integralen Planung methodisch und informationstechnisch unterstützt werden kann und wo dieser gegebenenfalls strukturell verändert werden muss. Es gilt nicht den bestehenden Planungsroutrinen ein alternatives Konzept gegenüberzustellen, sondern diese aufzugreifen und an neuralgischen Punkten zu verbessern.

#### 4.1.2 Ansatz einer Phasenstruktur

Projekte entstehen im Kontext eines übergreifenden, lebensweltlichen Entwicklungsprozesses (z.B. politisch, gesellschaftlich, wirtschaftlich) und durch die Initiative einzelner Personen mit beispielsweise politischen, unternehmerischen oder persönlichen Zielen. Vor dem eigentlichen Beginn von bereits auf ein Projekt verweisenden Aktivitäten ist eine Übergangsphase zu explizieren (Beobachtung und Orientierung, latente Bedarfserkennung), die noch dem lebensweltlichen Kontext zuzuordnen ist, in der aber bereits eine Verknüpfung von Aktivitäten zur Entstehung eines Projektanlasses führt. Daran anschließende Aktivitäten wirken bereits auf die Etablierung und Konkretisierung eines Projektes.

Kombiniert man Phasen- und Aktivitäten-Modellen und der Struktur des Metamodells kann der übergreifende Prozess zunächst qualitativ in einen Bereich der Problembestimmung (Transformation zur abstrakten Beschreibung Problematisierung) und einen Bereich der Lösungsbestimmung (Transformation zur konkreten Maßnahme Planung und Realisierung) differenziert werden. Lebensweltliche Planungsaufgaben sind i.d.R. durch eine hohe Unklarheit im Bereich der Problembestimmung gekennzeichnet. Da die Suche nach Lösungen zunächst zurückgestellt werden muss, bis über die Situation und die Zielkriterien eine Klärung erfolgt ist, bezeichnet Dörner dies als das Vorliegen einer dialektischen Barriere die zu überwinden ist (vgl. Dörner 1979, 14).

Aus dem Metamodell des BLM zeigt sich die Problembestimmung als eine Kaskade von Selektionsentscheidungen mit einem inhaltlich-qualitativen und organisationalen Bezug. Mit dem Gewahr werden von Bedürfnissen und Zielen sind bereits Vorstellungen verknüpft, die Einfluss darauf nehmen, welcher Personenkreis den Beteiligten und Betroffenenzugerechnet wird und welcher Kreis daraus inhaltlich an der Planung beteiligt wird. Das Planungsverständnis der Planungsbeteiligten beeinflusst wiederum die Selektion des Realitätsausschnittes, welcher als Entwicklungs- oder Planungsgegenstand expliziert wird. Mit den vorhandenen Kenntnissen und Erfahrungen in diesem Realitätsausschnitt wird wiederum ein Spektrum von Themen und Lösungsansätzen erkannt, die priorisiert und zur weiteren Bearbeitung ausgewählt werden. Diese Selektionsschritte bewirken – implizit oder explizit – eine Initialisierung des Projektes und sind damit als notwendiger und integraler Bestandteil einer Planung zu berücksichtigen. Dabei wird noch nicht die Lösung selbst determiniert, jedoch der Begriffsraum für mögliche Problemdefinitionen und damit mental verknüpfte Lösungsansätze eingegrenzt. Um eine hohe Varianz auf Ebene der verfügbaren Lösungsansätze zu erreichen, ist also bei diesem Selektionsprozess eine angemessene Varianz auf allen Ebenen

anzustreben und zu reflektieren (vgl. Metamodell, **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). In der Immobilienwirtschaft erfolgt in den frühen Projektentwicklungsphasen, neben den Aktivitäten zur Zusammenführung von Standort, Kapital und Projektidee, insbesondere die Überprüfung der Plausibilität und Machbarkeit auf verschiedenen kritischen Ebenen, wie beispielsweise Markt und Risiken, aber auch der Bebaubarkeit oder der Nutzungskosten (vgl. Alda u. Hirscher 2016, 24, 25). Die Phase endet an einem Punkt, an dem über die Durchführung weiterer Schritte (z.B. Grundstückserwerb und Investition, Beauftragung der Entwurfs- und Genehmigungsplanung) entschieden werden kann. Da eine hohe Verlässlichkeit der Informationen zur Absicherung der Investitionsentscheidung beiträgt, werden zu diesem Zeitpunkt bereits wesentliche Grundzüge eines Projektes vorbestimmt, wie beispielsweise Qualitäts-, Zeit- und Kostenrahmen, aber auch objektbezogene Konkretisierungen, wie das städtebaulich-räumliche Konzept und die Baukörperdimensionen, und dadurch bereits implizierte architektonische, konstruktive und technische Lösungsprinzipien. Damit ist diese Phase der Bedarfsplanung und Grundkonzeption bereits von besonderer Bedeutung für die Konzeption nachhaltiger Gebäude und erfordert im Sinne einer Integralen Planung bereits fachlich fundierte Architekten- und Ingenieurleistungen. Darauf folgend sind aus einer übergeordneten Betrachtung zwei qualitativ unterschiedliche Phasen zu differenzieren, die im allgemeinen Verständnis mit den traditionellen Architekten und Ingenieurleistungen im engeren Sinne verbunden werden. Mit Fokus auf die räumlich-architektonische, bautechnische und baurechtliche Konkretisierung ist die Entwurfs- und Genehmigungsplanung herauszustellen, die mit dem Erteilen einer baurechtlichen Genehmigung abschließt. Daran anschließend erfolgt mit der Ausführungsplanung eine technisch-konstruktive Spezifizierung der einzelnen Bauteile eines Gebäudes als Grundlage der Herstellung. Die Differenzierung dieser beiden Phasen wird häufig auch organisatorisch vollzogen, durch einen Wechsel in der Auftrags- und Rollenkonstellationen. Beispielsweise ist es in der Praxis häufig anzutreffen, dass die Ausführungsplanung als Vertragsleistung eines Unternehmers beauftragt wird und gegenüber der Entwurfsplanung zu einer neuen Auftragssituation führt: Von „Bauherr beauftragt Architekt“ hin zu „Bauherr beauftragt Unternehmer, Unternehmer beauftragt Architekt“.

Die bis hier beschriebenen Phasen der Konzipierung und Konkretisierung dienen letztlich der Vorbereitung zur Herstellung eines Gebäudes – den eigentlichen baulichen Eingriff in die Umwelt – und dem intendierten Ziel der Nutzung eines Gebäudes. Über diese Phasenabgrenzung hinausgehend, zeigen die Praxiserfahrungen der Projektpartner, dass bei zunehmend technisch anspruchsvollen Gebäudekonzepten am Ende der Herstellungsphase eine gesonderte Phase zur Inbetriebnahme der technischen Systeme herauszustellen ist. Dabei werden die technischen Systeme in mehreren Zyklen auf die lokalen und nutzerspezifischen Besonderheiten eingeregelt, was je nach Komplexität der Gebäudetechnik eine gesonderte Begleitung und Dokumentation, sowie spezialisierte Kenntnisse und Erfahrungen erfordert. Erweitert man darüber hinaus den Betrachtungsausschnitt auf den gesamten Produkt- oder Gebäudelebenszyklus mit dem Ziel einer ganzheitlichen Optimierung, so ist neben der Erst-Herstellungsphase und der intendierten Nutzungs- und Betriebsphase eine Bedarfsanpassung zu ergänzen (z.B. Erweiterung, Revitalisierung, Teil- oder Komplettrückbau). Die hierfür erforderlichen Vorbereitungen werden über die Phasen 1 bis 6 als Planungs- und Realisierungsphasen mit einem besonderen Planungsgegenstand abgebildet (Bauen im Bestand).

#### 4.1.3 Nachhaltigkeitsaspekte und Bauwerksanforderungen

Für die BIM-basierte Integrale Planung mit Schwerpunkt Nachhaltigkeit und Life Cycle Assessment sind zahlreiche komplexe, themen- und rollenübergreifende Aspekte und generische (Bauwerks-) Anforderungen zu berücksichtigen, welche phasenspezifisch aber auch phasenübergreifend unterschiedlich relevant sein können.

- Aspekte dienen der Bewusstseinsbildung für das Nachhaltige Bauen und der Explikation und Definition von Zielen, die in der Planungsphase erreicht werden sollen. Aspekte sind somit vorbereitende Informationen für die operative Planung.

- Anforderungen sind Definitionen zur Beschaffenheit des geplanten Gebäudes, der Teile oder der Wirkung. Die Beschaffenheit muss formal überprüft werden können, weshalb Maßstäbe oder Kriterien zur Überprüfung zu definieren sind. Die Anforderungen dienen der Qualitätskontrolle in der Planung und Umsetzung.

Die vielfältigen Informationen sind strukturiert in den Planungsprozess eingebunden, indem sie fall- und situationsspezifisch gefiltert und priorisiert werden können. Beispielsweise werden Aspekte und Anforderungen durch die verschiedenen Protagonisten in bestimmten Phasen im Planungsprozess thematisiert. Dies soll im Sinne einer Integralen Planung einerseits frühzeitig erfolgen, um einen ausreichenden Zielklärungsprozess durchführen zu können, andererseits aber auch in der für die Situation angemessenen Informationsgranularität, um dem Prinzip „vom Groben zum Detail“ folgend stets den Blick auf das Ganze zu wahren und Detailfragen zur richtigen Zeit zu klären, wenn die zugehörigen Bezugs- und Entscheidungsgrundlagen geklärt sind.

Für die Protagonisten, die sich mit dem nachhaltigen Bauen befassen und dies auf ein konkretes Projekt übertragen und herunterbrechen müssen, sollen die erforderlichen Informationen niederschwellig zugänglich sein. Dabei sollen eine grundsätzliche Orientierung und ein vorausschauender Blick auf konkrete Fragen, die im Verlauf des Planungsprozesses von den Beteiligten zu klären sind, unterstützt werden.

Die vielfältigen Aspekte der Nachhaltigkeit und die generischen Bauwerksanforderungen wurden analysiert und als Werkzeug in Form einer Tabelle aufbereitet. Diese ermöglicht eine gezielte Abfrage von Nachhaltigkeitsaspekten und Anforderungen. Insbesondere wurden Zuordnungen getroffen, in welcher Phase diese Aspekte und Anforderungen im Planungsprozess angesprochen werden sollen, welche Ebenen der Nachhaltigkeit diese adressieren und durch wen diese geklärt oder in den Planungsprozess eingebracht werden sollen.

Inhaltlich beinhaltet sind Aspekte zum nachhaltigen Bauen, die beispielsweise für Bundesbauten nach dem „Leitfaden nachhaltiges Bauen“ zu berücksichtigen sind, sowie aus Richtlinien und Empfehlungen zum nachhaltigen Bauen der D-A-CH Region (z.B. Gonzali und Vallentin 2013, Fingerling et al. 2000, BMUB 2016, HOAI 2013, TQB 2002, SNBS 2016, DGNB System 2018, SIA 2014, SIA 2017). Darüber hinaus sind Erfahrungen aus der Beratungspraxis der Projektpartner für das Immobilienmanagement eingeflossen und konkrete Anforderungen an Gebäude und Planung aus den Kriterien-Steckbriefen des BNB-Systems und Kriterien mit Fokus auf die ökologische Qualität aus dem DGNB-System. Die Nachhaltigkeitsaspekte und generischen Bauwerksanforderungen wurden von den beteiligten Projektteams zusammenstellt und in Workshops mit internen und externen Projektpartnern reflektiert und diskutiert.

Die Interpretation der Abfragekriterien der „Aspekte und Anforderungen an Gebäude oder Planung“ sind in Tabelle 1 aufgeführt.

**Tabelle 1: Inhalte und Abfragekriterien für die generischen Bauwerksanforderungen**

1.1. Thema	1.2. Bedeutung
Anforderungsgruppe	Der Aspekt oder die Anforderung ist einer Anforderungsgruppe thematisch einer Zahl zugeordnet. Eine Anforderungsgruppe kann mehrere Aspekte oder Anforderungen beinhalten. Die Aspekte oder Anforderungen in einer Gruppe können verschiedene Konkretisierungsstufen im Verlauf des Planungsprozesses abbilden.
Index	Der Index ordnet den Aspekt oder die Anforderung innerhalb einer Anforderungsgruppe. Er definiert die Unterthemen für die jeweilige Anforderungsgruppe und ist einem Buchstaben zugeordnet, der innerhalb einer Anforderungsgruppe nur einmal auftritt.

Spezifisches Kriterium oder Kennwert	Das spezifische Kriterium oder der spezifische Kennwert konkretisieren den Aspekt oder die Anforderung quantitativ oder qualitativ. Sie sind überwiegend dem Bewertungssystem des BNB entnommen (Stand Juli 2018). Das spezifische Kriterium oder der spezifische Kennwert sind einer Anforderungsgruppe und einem Index zugeordnet.
Besprechung ab BIM2LCA-Phase	Der Aspekt oder die Anforderung sollte das erste Mal in der genannten Phase vom besprochen werden und ist ab dieser Phase relevant. Der Aspekt oder die Anforderung einer Anforderungsgruppe kann einer Phase zugeordnet werden oder ist phasenübergreifend gültig.
Ebene der Nachhaltigkeit	Der Aspekt oder die Anforderung adressiert die ökologische, ökonomische, soziokulturelle oder funktionale Qualität des Gebäudes oder kann der technischen Qualität, der Prozessqualität oder der Standortqualität des Gebäudes zugeordnet werden.

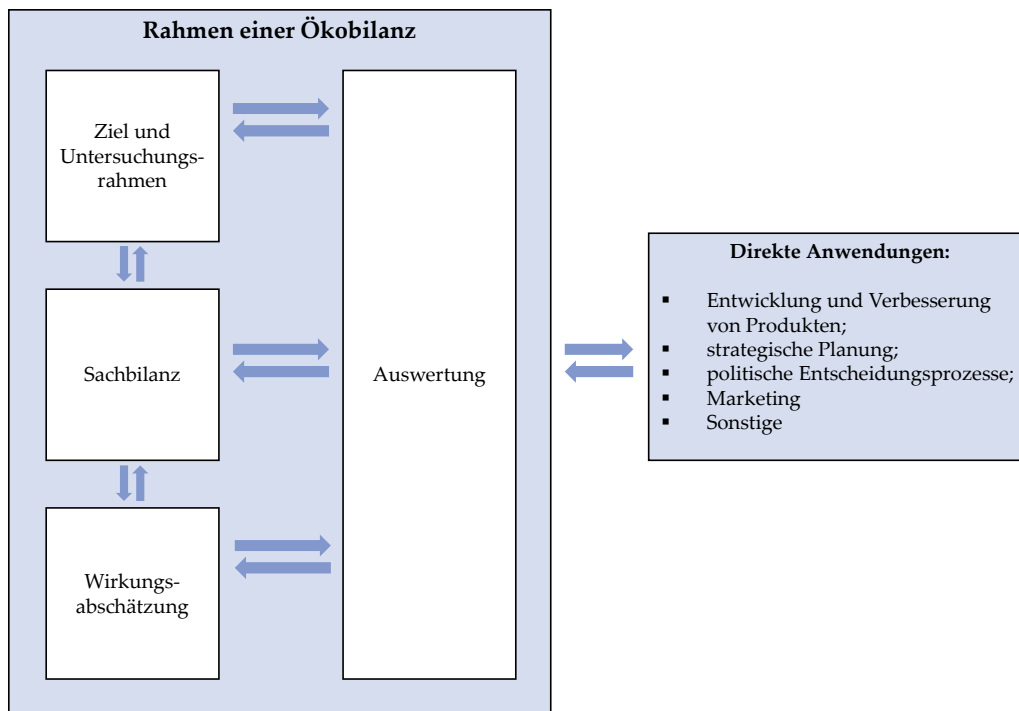
## 4.2. LCA Analyse

### 4.2.1 Prozesskontext

Die Ökobilanz; im englischen als LCA (Life Cycle Assessment) bekannt; ist eine weltweit etablierte Methode für die Berechnung der Umweltwirkungen von Prozessen, Produkten und Dienstleistungen. Seit mehreren Jahren sind die Nachhaltigkeitsbewertungssystemen für den Bausektor wie DGNB, BNB usw. eingerichtet und basieren auf dieser Methode. Die Notwendigkeit eines Ökobilanzverfahrens für den Baubereich kann durch den erheblichen Ressourcenverbrauch, der sich in den letzten 40 Jahren mehr als verdreifacht hat, hervorgehoben werden (UNEP 2016).

### 4.2.2 Fokusbereiche und Methoden

Die Grundsätze und Rahmenbedingungen der Methode sind durch die DIN EN ISO 14040/44 (DIN 2006, DIN 2009) Normen definiert. Auf Bewertungssystemen zum nachhaltigen Bauen wird die Ökobilanz spezifischer nach DIN EN 15804 (DIN 2012) und DIN EN 15978 (DIN 2014) eingeführt, um eine konsistente Analyse und Bewertung der Ressourcenbedarf und den schädlichen Beitrag zum Klimawandel zu gewährleisten. Die Ökobilanz-Analyse besteht aus vier Phasen (Abbildung 15):



**Abbildung 11 Phasen einer Ökobilanz (DIN EN ISO 14040)**

Die Systemgrenzen und der Detaillierungsgrad einer Ökobilanzstudie werden in der ersten Phase „Ziel und Untersuchungsrahmen“ festgelegt. Maßgeblich für die getroffenen Entscheidungen zu dieser ersten Phase sind der Gegenstand der Studie und die vorgesehene Anwendung der Studie. In der Sachbilanzphase werden die Input-/ Output Daten des untersuchten Systems zusammengestellt. Zusätzlichen Informationen zur Unterstützung der Berechnung von Sachbilanzergebnissen eines Produktsystems werden in der dritten Phase „Wirkungsabschätzung“ bereitgestellt, um deren Relevanz besser zu verstehen. In der Schlussphase eines Ökobilanz-Verfahrens, werden die Ergebnisse aus der Sachbilanz oder Wirkungsabschätzung (oder beide Phasen), in Übereinstimmung mit der Zielsetzung, für die Empfehlungen und Entscheidungshilfen diskutiert, interpretiert und zusammengefasst.

#### 4.2.3 Synthese / Zusammenführungspotentiale

Der konventionelle Weise eine Ökobilanz durchzuführen, bestand bisher in der Ableitung von zwei (vereinfacht oder vollständig; vgl. DGNB) oder drei Konkretisierungsstufen (screening, simplified und complete; vgl. Gantner u.a. 2015) der Ökobilanz-Informationen, was aufgrund fehlender Benchmarks und fehlende wissenschaftliche Studien erfolgte. Von den jeweiligen Konkretisierungsstufen wurde mit Hilfe von Sicherheitsaufschläge unvollständig auf das Ergebnis abgebildet. Diese Sicherheitsaufschläge waren anfangs noch reine Abschätzungen.

Die notwendigen Daten und die Berechnung der Umweltauswirkungen eines Gebäudes sind grundsätzlich zeit- und kostenintensiv, was bisher zu einer Ökobilanz einer begrenzten Anzahl von Gebäuden geführt hat. Selbst in diesen Fällen wird die Ökobilanz meistens als ein Nachweisinstrument am Ende des Planungs- und Bauprozesses gesehen, und nicht als projektbegleitendes Instrument. Als Konsequenz werden erhebliche Potenziale zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der Gebäude, die in frühen Planungsphasen einfließen können, verwirkt. Diese Unsicherheit lässt sich durch den Einsatz der digitalen, semantischen Gebäude-Modellierung (BIM) in Verbindung mit den theoretischen Ansätzen der Integralen Planung (IP) beheben.

Damit BIM vollständig in die Integrale Planung eingebunden werden kann, ist die Forderung nach einer offenen Datenbasis von den frühesten qualitativen Entscheidungsprozessen bis zur Umsetzung

und Nutzung eines Gebäudes im gesamten Lebenszyklus, von höher Relevanz. Zur Unterstützung einer Lösungsfindung in dieser Richtung wurde das Produktmodell der Industry Foundation Classes (IFC) als ein offenes Datenformat im Kontext des Open BIM Ansatzes (Huovila u.a., 2012) etabliert. Durch diesen virtuellen dreidimensionalen Gebäudemodellstandard (ISO 16739) ist eine einheitliche Beschreibung aller Gebäudeinformationen im Lebenszyklus eines Bauwerkes plausibel (DIN EN ISO 16739).

Auf der anderen Seite, Voraussetzung für die Verknüpfung der LCA-Informationen mit den Planungsphasen ist ein neues Strukturierungskonzept für die Detaillierungstiefe der Gebäudeinformationen. Diese Informationsstruktur bündelt die Konzepte der Integralen Planung (IP) (s. Kapitel 4.1) und des Building Information Modeling (BIM) (s. Kapitel 4.3).

Diese Verknüpfung von BIM-LCA Informationen bietet Möglichkeiten, eine effiziente, den Planungsprozess begleitende Ökobilanz zu implementieren und den Aufwand für Datenermittlung und manuelle Modellierung deutlich zu reduzieren.

### **4.3. Generalisierte Schnittstelle (BIM)**

Während des gesamten Planungs- und Bauprozesses werden die Fachplanungen zum Erreichen einer hohen Gebäudequalität in den Hauptentwurfsprozess integriert. Dabei spielen hochwertige disziplinübergreifende Schnittstellen zwischen den verwendeten Softwarewerkzeugen aufgrund der jeweiligen spezifischen Anforderungen an die Informationsstruktur eine wichtige Rolle zur Vermeidung von Medienbrüchen und Eingabeaufwand. Besonders bietet sich es an generalisierbare Datenaustauschlösungen auf Basis offener Modellstandards zu verwenden und auf diesen eine abgeglichene Informationsstruktur beider datenaustauschender Seiten als langfristige, softwareunabhängiges Austauschformat zu realisieren.

Neben der Verbesserung des Datenflusses durch datentechnisch optimierte Arbeitsabläufe auf technischer Ebene mittels der normalisierten Integration von Informationsstrukturen für die Eingabe- und Ergebnisdaten der Fachplanung können die dabei eingesetzten offene Datenformatstandards auch eine solide Vertragsgrundlage bilden. Diesbezüglich hat sich auch der ursprüngliche Zweck- und Anwendungsworkflow von entwicklungsbegleitenden Spezifikationsstandards zum etablierten offenen Bauwerksinformationsmodell IFC in der Praxis erweitert. So bildet der Model View Definition (MVD) Standard zur formalen Spezifikation eines inhaltlichen im normbasierten Rahmen von Information Delivery Manuals (IDM) definierten Austauschscenario mit einer Fachdisziplin inzwischen mehr als eine reine (Daten-) technische Grundlage. Ausgehend von seinem nativen (technischen) Anwendungsfall zur Sicherstellung der Qualität von Datenschnittstellenimplementierungen in Softwaretools findet er eine erweiterte Verwendung auf organisatorischer Seite, wie z.B. in den bereits von deutschen Behörden im Rahmen von Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) angeforderten Vertragsgrundlagen. Dabei sind die bedarfsgerechten Modellsichten dann in den Vertragsrahmen der jeweiligen BIM-Ausführungspläne (BAP) integriert (BMVI 2015, Beetz u.a. 2015). Zusammen bilden diese neu etablierten Methoden eine geeignete Prozessumgebung, in die die (technische) Implementierung solider modellbasierter Workflows zwischen Kooperationspartnern mittels BIM eingebettet werden kann (BMVI 2015). Hier können in einem gesicherten Rahmen einer selbst definierten Struktur in Bezug auf die Datenqualität durch die A-priori-Spezifikation alle Austauschprozesse im Projekt zu einem Nutzen davon beitragen (Beetz u.a. 2015). Derzeit ist zu beobachten, dass jede Disziplin im Rahmen der Planung, Konstruktion und des Betriebs der gebauten Umgebung, die im Rahmen ihrer Digitalisierungsbemühungen jeweils neue Arbeitsabläufe für die Datenverarbeitung entwickelt und somit in eine modellbasierte Gesamtplanung integriert werden kann, das Ausschöpfen der (vollen) Potenziale von BIM unterstützt. Wie durch eine integrale Planung impliziert, steht das Ziel einer prozessbegleitenden, iterativen Optimierung des digitalen Planungsobjekts vor seiner Konstruktion im Mittelpunkt dieser Anstrengungen auf Prozessebene (vgl. Kapitel 4.1., v. Both 2011, v. Both 2015, v. Both 2018) Durch integrieren in den Gesamtplanungsprozess können auf diese Weise Gebäude mit höherer Qualität in Bezug auf die



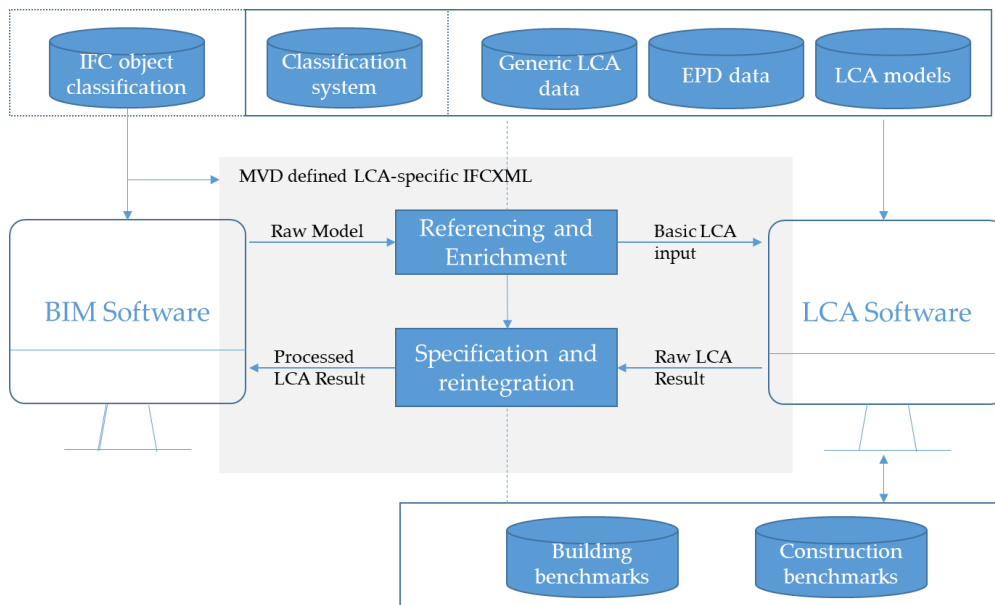
spezifischen Aspekte der jeweiligen Fachdisziplin erzielt werden, wie z.B. (energetische, strömungstechnische usw.) Gebäudeleistungssimulation (BPS) oder aber auch Infrastrukturplanung sowie städtebauliche Planung, wie z.B. Quartierssimulation usw. (BMVI 2015, Remmen 2015, Ebertshäuser 2018, Ebertshäuser 2019).

#### 4.3.1 BIM-LCA Integrationstyp

In den letzten Jahren hat die Integration von BIM und LCA insbesondere in der Forschung zunehmend an Interesse gewonnen (Chong 2017, Obrecht 2020, Huovila 2012). Die Integration der Ökobilanz in BIM ist ein fortlaufender Prozess, der sich parallel zur Weiterentwicklung der Ökobilanzmethode und zur Weiterentwicklung der Ökobilanz entwickelt (Antón 2014). Daher neigt dieser Integrationsprozess auch dazu, kontinuierlich komplexer zu werden, was eine Standardisierung und Harmonisierung der Ansätze erforderlich macht. Die Anwendung standardisierter Formate für den Datenaustausch ermöglicht die Interoperabilität während des gesamten Planungs- und Entwurfsprozesses und unterstützt die Herausforderung der Integration der Ökobilanz in BIM, indem Platz für die Implementierung von Informationen zu Umweltauswirkungen in die gesamte Datenstruktur geschaffen wird. Die Tendenz der neuen Tools, Ökobilanzinformationen in den 3D-Modellierungsprozess zu integrieren, bezieht sich auf die Notwendigkeit des Bausektors für verfügbare Umweltbewertungsdaten. Dieses Problem muss sich mit den Problemen befassen, die aufgrund ineffektiver Informationen während des Datenaustauschs und / oder Problemen aufgrund einer unzureichenden Datenbeschreibung der Austauschforderungen einerseits auftreten, und mit der Notwendigkeit, die Auswirkungen auf die Umwelt während des gesamten Planungs- und Entwurfsprozesses von den ersten Phasen an zu extrahieren (Frischknecht u.a., 2015). Das von Wastiels und Decuypere (Wastiels 2019) bereitgestellte Klassifizierungsschema enthält fünf Strategien für die BIM-LCA-Integration. Die beiden am häufigsten angewendeten Strategien sind die Datenbereitstellung für die Ökobilanz durch Extraktion einer Stückliste (BoQ) oder die Integration der Ökobilanz in BIM über Plug-Ins. Beide Strategien bieten jedoch erhebliche Herausforderungen für eine umfassende BIM-LCA-Integration. Während der BoQ-Ansatz den Aufwand für die Datenerfassung erheblich reduziert, handelt es sich möglicherweise um einen Fehler, da die Informationen nur indirekt verknüpft sind. Darüber hinaus werden die Informationen häufig nicht an den Modellierer zurückgemeldet, und es fehlt die Entscheidungsunterstützung. Bisher erlauben Plug-In-Strategien keine Berücksichtigung spezifischer Daten auf der LCA-Seite und sind daher nicht durchführbar, um die Anforderungen umfassender LCA-Bewertungen zu erfüllen. Im Vergleich zu diesen Strategien bietet die direkte Verknüpfung der Informationsanforderungen mit den von BIM bereitgestellten Datendarstellungskonzepten mehrere grundlegende Vorteile (Wastiels u.a., 2019; Antón u. Díaz, 2014). Immer wenn Änderungen an bestimmten Planungsinformationen vorgenommen werden, ermöglicht die direkte Verknüpfung von Ökobilanz-spezifischen Daten mit einem bestimmten Mengen-Set eine direkte Kopplung. Dieser Ansatz ist möglicherweise transparenter und stabiler als die Extraktion eines BoQ und flexibler als Plug-In-Strategien. Darüber hinaus erleichtern BIM-Modelle mit zunehmender Konkretisierung des geplanten Objekts während des Planungsprozesses die Strukturierung von Darstellungskonzepten in einem BIM-Objekt. Die meisten Zertifizierungssysteme fördern die Verwendung von BIM für die Zertifizierung, unterstützen jedoch nicht die Einreichung von BIM-basierten Ökobilanzen (Cavalliere u.a., 2019). Im Rahmen einer Arbeitsgruppe im Verband Deutscher Ingenieure (VDI) arbeiten BNB und DGNB gemeinsam mit Experten für BIM und Ökobilanz aktiv an einer standardisierten Schnittstelle zwischen, um eine BIM-basierte Einreichung von Ökobilanzergebnissen zu ermöglichen (Lambertz u.a., 2020). Während mehrere SBA-Tools BIM-bezogene Dienste anbieten, stellen sie entweder die Umweltauswirkungen auf vereinfachte Weise dar (z. B. IMPACT) oder erfordern sehr spezielle offene BIM-Daten. Im ersten Fall werden die Auswirkungen dem Bereich einer geschlossenen BIM-Umgebung zugeordnet und können nur in designbezogenen Planungsstatus verwendet werden (meistens Add-Ins zu proprietären CAD-Systemen, wie das Rhino-Add-In von CAALA) (BRE 2020). Im

zweiten Fall ist häufig eine vollständige Umgestaltung des BIM-Modells erforderlich. Neben der Digitalisierung von Gebäudeinformationen impliziert die Verknüpfung von Daten im Rahmen der Ökobilanz mit den im Planungsprozess auftretenden Daten die Notwendigkeit einer gemeinsamen und einheitlichen Datenschnittstelle als kontinuierliche Datenbank (Obrecht u.a. 2020). In ökobilanz-bau erfolgt diese Integration über eine Schnittstelle mit Bim2Sim, während CAALA die CAD- und BIM-Integration als Plug-In für Sketchup- und Rhino-Modelle ermöglicht (BRE 2020). Alle vorhandenen SBA-Tools bieten die Anzeige von Umweltbewertungsergebnissen in Vorlagen für Zertifizierungsetiketten, während eLCA und GENERIS® die direkte Einreichung zur Zertifizierung ermöglichen.

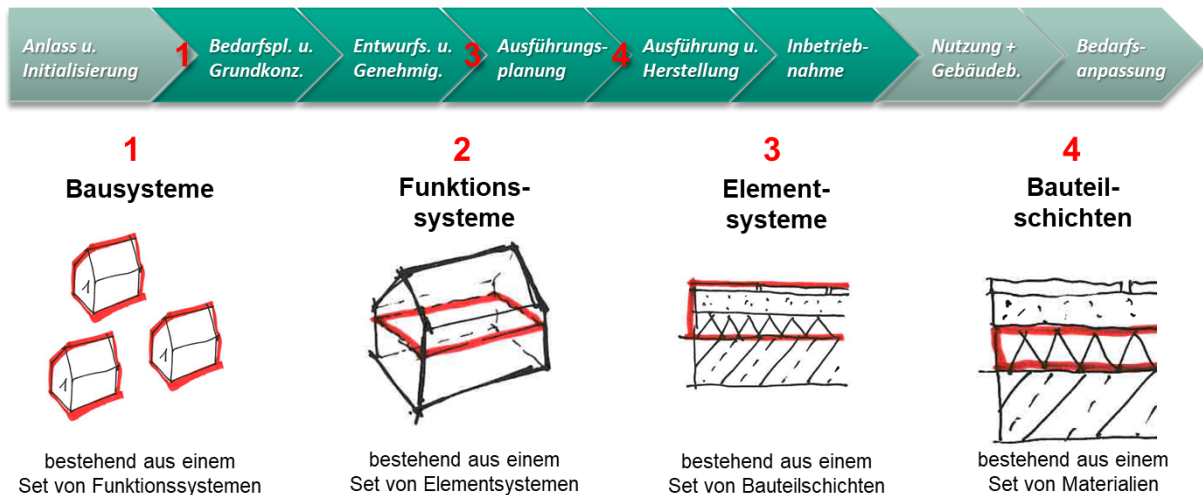
Die fünfte Strategie enthält Workflows mit einer vollständig transparenten Datenverarbeitung, indem Ökobilanz-spezifische Daten direkt in das BIM-Objekt eingekapselt werden (Wastiels u.a., 2019; Obrecht u.a. 2020). Dieser Integrationstyp ermöglicht eine direkte Rückmeldung der Umweltauswirkungen, da nur eine Datenquelle alle Daten enthält. Bei der Realisierung durch BIM-Objekte sind diese Informationen jedoch nicht unbedingt transparent oder standardisiert. Der in diesem Dokument vorgestellte BIM2LCA-Ansatz baut auf diesem Integrationstyp auf. Durch die Verwendung von Verweisen auf etablierte externe Datenquellen, wie den Datenwörterbuchansatz von buildingSMART, erweitert der Ansatz diese Art von Integrationstypen, um festgestellte Mängel zu beheben, z. das Risiko der Erstellung großer und nicht reagierender Dateien ausschließen (Wastiels u.a., 2019). Hinzu kommt, dass der BIM2LCA-Ansatz das volle Potenzial des Integrationstyps ausschöpft, indem der Informationsfluss der Ergebnisse des LCA-Tools berücksichtigt und in das BIM-Modell integriert wird (Gantner u.a. 2018; BMI, 2017)]. Der implizite Workflow zum bidirektionalen Verbinden von BIM- und LCA-Software ist in Abbildung 3 dargestellt. Zunächst erstellt der Planer das geplante Objekt in einem BIM-basierten Autorensystem (z. B. CAD). Das Modell wird dann in einem zweiten Schritt an das LCA-System übertragen. Dies umfasst das Exportieren des Modells als IFCXML basierend auf der LCA-MVD unter Verwendung eines BIM-Autorensystems, serverbasierte Referenzierung (Materialien, Konstruktionen) und Anreicherung (Integration generischer / vordefinierter Lifecycle-Elemente) sowie den IFCXML-Import des LCA-Systems. In einem optionalen dritten Schritt können LCA-Experten die grundlegenden LCA-Eingaben gemäß den LCA-bezogenen Anforderungen in einer LCA-Expertensoftware anpassen, ergänzen und spezifizieren. Dieser Schritt wird in der Web-Software GENERIS® realisiert, bei der es sich um die Neuentwicklung des LCA-Web-Tools sbs Onlinetool für die Erstellung von LCA durch das Fraunhofer IBP handelt. Innerhalb der Software wurde eine IFCXML-basierte Schnittstelle eingerichtet, die in zukünftigen Versionen als Feature angeboten werden soll (Caala, 2020). Der vierte Schritt führt dann das LCA-Ergebnis im BIM-System durch Angabe der Ergebnisse basierend auf dem in BIM angeforderten Anwendungsfall, Wiedereingliederung der LCA-Ergebnisse in die IFCXML-Datei und Import sowie Ergebnisdarstellung in die BIM-Software zurück.



**Abbildung 12 Allgemeiner Arbeitsablauf des vorgestellten Ansatzes zur Erweiterung der durch Wastiels und Decuyper definierten Strategien: IFC-basierte bidirektionale BIM-LCA-Integration**

#### 4.3.2 (Datenaustausch-) Prozesse und Informationsbedarfe (IDM)

Im Bereich der Ökobilanz, auf dem im Projekt bezüglich der Aspekte des Nachhaltigen Bauen ein Fokus gelegt wurde, muss sorgfältig analysiert werden, wie und wann die jeweiligen fachlichen Planungsinformationen in den Gesamtplanungsprozess einfließen können. Trotz des Mangels an gut dokumentierten praktischen Erfahrungen, geben viele der hierzu findenden Ansätze auf Seite der Forschung an, den Vorteil der Integration der Ökobilanz in die „frühen“ Planungsphasen zu nutzen, in denen sie den größten Einfluss auf das spätere Gebäude zu den geringsten Kosten hat. Studien zeigen hier, dass der Begriff „früh“ aufgrund mangelnder Definition mehrdeutig angewendet wird (Di Bari u.a. 2019, Nilsen u. Böhne 2019, Hollberg u.a. 2020,). Der Zeitpunkt, zu dem der Entscheidungsträger unterstützt wird, ist entscheidend, da er den Datenaufbau in Bezug auf gegebene Informationen sowie die einsetzbaren Ökobilanzmethoden bestimmt, die zusammen mit den enthaltenen Unsicherheiten angewendet werden können. Daher mangelt es vielen heutigen Ansätzen nicht nur an Vergleichbarkeit, sondern auch an Möglichkeiten zur Skalierung oder Übertragbarkeit auf andere Kontexte (Potrč Obrecht u.a. 2020). Der im vorliegenden Projekt entwickelte prozessbegleitende Ansatz wendet daher grobe Ökobilanz-Benchmarks im Gebäudemaßstab für die anfängliche Entscheidungsunterstützung an, die sich im Prozessverlauf sukzessive in detailliertere Ökobilanzen zerlegen, wenn der Informationsstand z.B. bezüglich Konstruktionstypen von Bauelementen genügend konkretisiert wurde, um Entscheidungen über Alternativen zu treffen (siehe Abbildung 13, vgl. Gantner u.a. 2018, Rexroth 2018, Ebertshäuser u.a. 2019, Di Bari u.a. 2019). In späteren Planungsphasen, in denen die Entscheidungen mit den höchsten Umweltauswirkungen ermittelt werden, berücksichtigt der Ansatz die Feinkörnigkeit der verfügbaren Daten sowie die detailliertesten Ökobilanzdaten zu Bauteilen und Materialien, die bereits in der Praxis für die Erstellung einer spezifischen Gebäudenachhaltigkeitszertifizierung verwendet werden.



### Beispiele:

Hebel-Bausystem EnEV	Pfettendach mit Betonstein	Bodenaufbau mit ZE	Anhydrid-Estrich 50mm
KFW 55 Massivhaus	Geschossdecke Beton	Betondecke bis 5m	Trennlage PE-Folie
PH Holzbau mit Lufthz.	Pellettheizung mit Solarthermie	Gas-Kombi-Therme	Alu-Verbundrohr
	Kontrollierte Lüftung mit WRG		

**Abbildung 13 Multigranulare Informationssystematik der Schnittstelle**

Eine Rückkoppelung des in der konzeptionellen Informationssystematik entwickelten Strukturierungsansatzes mit der Praxis erfordert eine Bestimmung konkreter Anwendungskontexte des Datenaustausches zwischen der modellbasierten Gesamtplanung und der Fachplanung als Grundlage der Informationsbedarfsbestimmung. Ein strukturiertes Vorgehen hierfür wird von der ISO 2016 zur Erstellung eines Informationslieferungshandbuches (IDM) beschrieben.

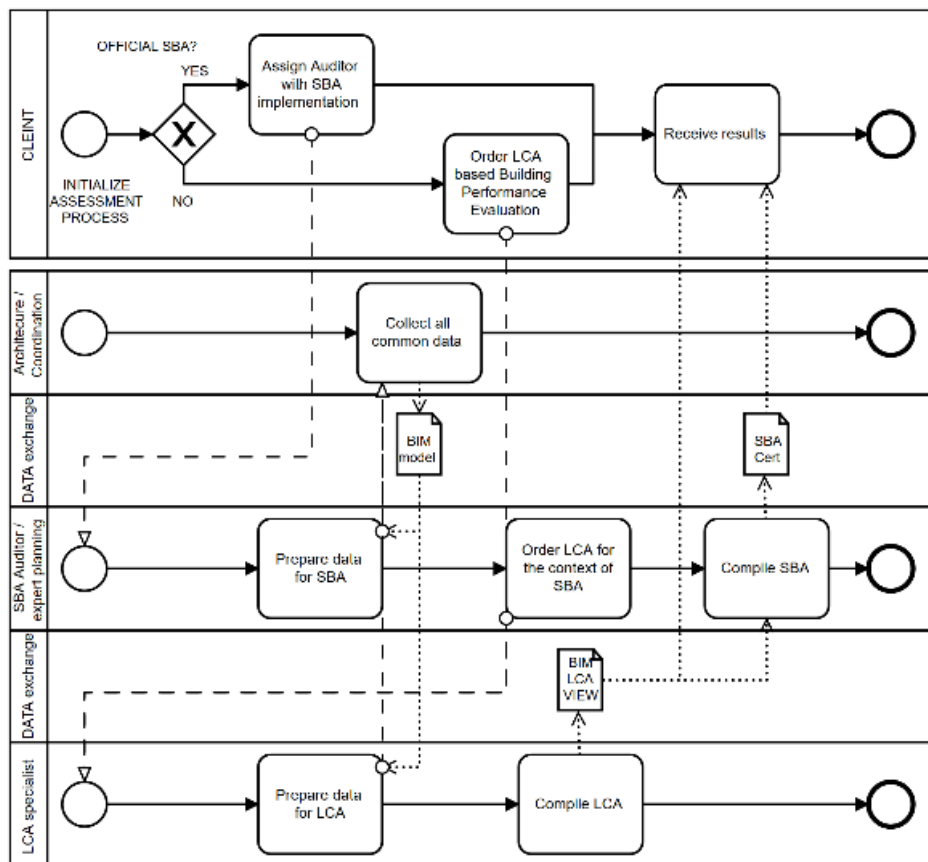
Die formale Vorlage zur Erstellung eines Information-Lieferungs-Handbuchs (IDM) wird in der DIN EN ISO 29481-1 beschrieben. Dabei sieht die Norm vor, dass jeweils für einen bestimmten Geschäftskontext die spezifischen Informationsaustauschfälle mit einem IDM in der vorgegebenen Form festgeschrieben werden. Angelehnt an diese normierte Handlungsempfehlung wurde im Projekt eine angepasste Methode zum Zusammenstellen benötigter (inhaltlicher) Grundlagen zur Normalisierung der Schnittstelle in offenen Standards XML bzw. ifcXML angewendet. Gemäß der Vorlage wurden dabei zunächst generelle Rahmenbedingungen konkretisiert. Der designierte Geschäftskontext – *Anbindung von Ökobilanz respektive Bewertung in den Gesamtprozess der integralen Planung* – stellt dabei den anwendungstechnischen Rahmen dar, der dann vom Groben ins Feine in der BIM2LCA4IP IDM (vgl. Kapitel 5.3) zusammengefasst wurde. Für diesen Geschäftskontext werden vor dem Hintergrund von Datenaustauschszenarios zu konkretisierende Prozessdiagramme sowie damit klar bestimmbare Datenaustauschanforderungen als normbasiert vorgegebene Komponenten der IDM anhand bedeutsamen Anwendungsfälle im Gesamtprozess der integralen Planung weiterentwickelt.

### IDM Anwendungsprozesse

Die Anwendungsfälle wurden dabei gemäß dem im Lösungsansatz des Projektantrags beschriebenen Zielszenario einer zu entwickelnden durchgängigen Schnittstelle (Planung – Ökobilanz – Bewertung) lose aneinandergekoppelt und bezüglich des auf Seiten der Ökobilanz und Bewertung untersuchten optimierten LCA-Prozessablaufs (vgl. Kapitel 4.1) entsprechend angepasst.

Für einen Anwendungsfall der Schnittstelle eines Datenaustausches zwischen der modellbasierten Planung und den LCA Werkzeugen im Rahmen der Zertifizierung stellt Abbildung 14 einen Beispielprozess der zu Spezifizierenden Inhalte der Prozessbeschreibungen einer IDM dar. Dabei

werden arbeiten als Akteure ein Bauherr oder Kunde, der Beratung und / oder Entscheidungsunterstützung im Bereich nachhaltiges Bauen und Ökobilanzen benötigt, mit einem Berater bzw. einem Auditor des Zertifizierungssystems zusammen, der über Fachkenntnisse in solchen Bereichen verfügt.



**Abbildung 14 Bestandteile einer IDM Prozesskomponente im vereinfachten Beispielprozess Zertifizierung**

In Bezug auf die modellbasierte Planung ist ein Architekt für die Koordination der Planungsinformationen während des gesamten Prozesses verantwortlich und fungiert daher als Hauptdatenanbieter (vgl. 2. Schwimmbahn in Abbildung 14). Experten für die Bauwerksstatik oder Energie liefern weitere detaillierte Informationen ihrer Fachplanungen. Dabei werden die Fachinformationen idealerweise jeweils mittels disziplinspezifischen Modellsichten im Koordinierungsmodell des Architekten zusammengeführt. In der Prozesskarte werden diese Austauschprozesse nicht weiter detailliert, da die Spezifikation dieser Datenflüsse in die Koordinationsansichten des zentralen BIM-Modells in entsprechenden fachspezifischen IDMs zu entwickeln ist, die den Umfang des vorliegenden Projektes übersteigen. Indem bei der Auswahl der für die Ökobilanz relevanten Informationen vom Architekten nur die bereitgestellten Mengen des endgültigen Architekturmodells berücksichtigt werden, können Überschneidungen vermieden werden. Beim Übertragen der (generischen) Prozessbeschreibung in der Praxis müssen alle Prozesse der Datenübergaben aus den einzelnen Disziplinen, z.B. Baustatik, an die Koordinationsansicht berücksichtigt und abgeglichen werden. Unabhängig von allen Rollen, die von einzelnen Personen wahrgenommen oder auf unterschiedliche Weise kombiniert werden, beschreiben die dargestellten Aufgaben im Austauschzenario den Kontext des Informationsbedarfs und des Informationsflusses zwischen einem Absender und einem Empfänger an einem bestimmten Punkt des Prozesses (vgl. Schwimmbahnen des Datenaustauschs in Abbildung 14). Neben Austauschszenarien in der frühen Projektinitialisierungs- und Planungsphase (Ebertshäuser 2019) bezieht sich das zur Verdeutlichung der IDM Entwicklungsmethodik dargestellte Basisszenario auf den Prozess der LCA-Zusammenstellung im Rahmen einer Nachhaltigkeitsbewertung. Dies impliziert, dass sich die

Informationsanforderungen, die mit dem Prozess eingeordnet werden können, auf die späteren Planungsphasen konzentrieren, in denen detaillierte Informationen zur Konstruktion verfügbar sind. Dieser für die Umsetzung der Schnittstelle weiter konkretisierte Kontext des Datenaustauschs verortet sich somit auf der rechten Seite der Informationssystematik, wie in Abbildung 13 dargestellt, und bezieht sich auf die Stufe, die als Komponentenebene bezeichnet wird.

### **IDM Informationsbedarf Spezifikation**

Die im Rahmen des IDM zu erstellende Informationsbedarfstabellen zu den in den Prozessbeschreibungen Datenübergabepunkten stellen die Richtlinien für die redaktionelle Bearbeitung eines davon ableitbaren Informationsaustauschdokuments dar. Bei der Erfassung von Informationsbedarfen wurden zur durchgängig Anwendbarkeit der darauf aufbauenden Schnittstelle im Planungsprozess sowohl die planungsbegleitend angewendeten LCA-Werkzeuge in den frühen Phasen berücksichtigt als auch die sich auf eine vollständige LCA Anwendung, zu der das Gebäudemodell in der Lage ist, umfassende und genaue Gebäudeinformationen zu liefern. Je mehr die Ebene definiert ist, desto detaillierter sind die Informationen und desto genauer die Ergebnisse der Ökobilanz.

Im Folgenden wird das methodische Vorgehen beim Synthetisieren der aus den einzelnen Anwendungsszenarien entlang des Planungsprozesses in die IDM-Tabellenstruktur fließenden Informationsbedarfe anhand von Beispielen erläutert. Im IDM bezieht sich jeder Objekttyp auf eine der oben genannten Konkretisierungsebenen und weist (ggf. neben einem entsprechenden Bezugsobjekt) mehrere Merkmale auf. Wenn die Informationen besonders komplex sind, erfolgt eine Gruppierung mehrerer Spezifikationen (hier Merkmale genannt) zu einem spezifischen Konzept. Für jedes Objekt bzw. eines seiner Merkmale enthält die IDM-Tabelle eine Beschreibung, Beispiele, Quellen und alle erforderlichen Unterlagen. Jedes Objekt kann weiter spezifiziert werden und durch weitere Merkmale angereichert und detailliert werden. Für jede Planungsphase wird das Merkmal als vorhanden oder neu klassifiziert, und in diesem Fall als obligatorisch (muss eingegeben werden) oder fakultativ (kann eingegeben werden).

In diesem Sinne erfolgt eine Klassifizierung der Merkmale. Ein Objekt bzw. Merkmal kann klassifiziert werden als

- nativ mit dem Bauwerksinformationsmodell abbildbar (A),
- abbildbar mit generischen Attributen des Bauwerksinformationsmodells (B).
- nicht abbildbar mit dem Bauwerksinformationsmodell aber obligatorisch (C)
- nicht abbildbar mit dem Bauwerksinformationsmodell, jedoch nur fakultativ (D).

Beispiele für direkt abbildbare Informationen der Klasse A sind die geometrischen Merkmale eines Gebäudes, zu denen Mengen alphanumerisch abgebildet werden können, wie das Bruttovolumen von Räumen bzw. Bauteilen oder Flächenangaben zu Bauteiloberflächen. LCA- und LCC-Datenbanken können mittels nativen Katalogreferenzobjekten im Bauwerksinformationsmodell referenziert werden (Klasse B). Merkmale der Lebenszyklusphasen der Ökobilanz, in denen die Umweltauswirkungen der Projektstufen berechnet werden, sind notwendige Informationen (Klasse C), aber z.B. kann der Beobachtungszeitraum der Analyse weggelassen werden (Klasse D), da in diesem Fall dann eine Standardbeobachtungszeit von 50 Jahren berücksichtigt wird. Darüber hinaus werden die Abbildung von Ergebnissen aus der LCA/LCC (Klasse E) und ergänzende Informationen ohne direkte Verwendung in der LCA (Klasse F) beim Klassifizieren der Elemente der IDM-Tabelle berücksichtigt.

### **4.3.3 XML Fachschema, BIM2LCA bzw. BIM2SBA MVD**

Der Informationsaustausch erfolgt über das XML-Datenformat. In einem ersten Schritt wird in Rahmen der AP03 und AP09 die XSD-Datei realisiert. Das Ziel der Datei ist, die Informationen in einer präzisen Hierarchie zuzuordnen. Die Wahl der XSD-Datenstruktur richtet sich nach dem verwendeten webbasierten SBA-Tool (GENERIS ®) und berücksichtigt die Anforderungen aufgrund des DGNB-Gebäudezertifizierungssystems (siehe Abschnitt 6.3.2). Das XSD spezifiziert die Daten, die für die

DGNB-Zertifizierung und XML-basierte Einreichungen auf der Grundlage dieses XSD erforderlich sind, und die derzeit entwickelte Dokumentation wird vollständig als LCA-Einreichung akzeptiert. Da das DGNB-System die LCA-Integration in frühen Entwurfsphasen anrechnet, erlaubt die Berücksichtigung der Planungsphase im XSD auch die Einreichung konformer XML-Dokumente zum Nachweis der frühen Planungsintegration der LCA. In der XSD werden die im IDM definierten Merkmale in einzelne oder komplexe Elemente umgewandelt. Auf der Grundlage der bereitgestellten Dokumentation können Elemente in verschiedenen Formaten klassifiziert oder Einschränkungen unterworfen werden. Dies, um die Konsistenz der Ergebnisse und die Richtigkeit der Eingaben zu gewährleisten.

In diesem Abschnitt folgt die Beschreibung des Fachschemas für das XML, während das berücksichtigte XML-Beispiel wird in Abschnitt 6.3.1 beschrieben.

In Übereinstimmung mit unseren Konkretisierungsebenen wurden die folgende Struktur und die jeweiligen Elemente festgelegt:

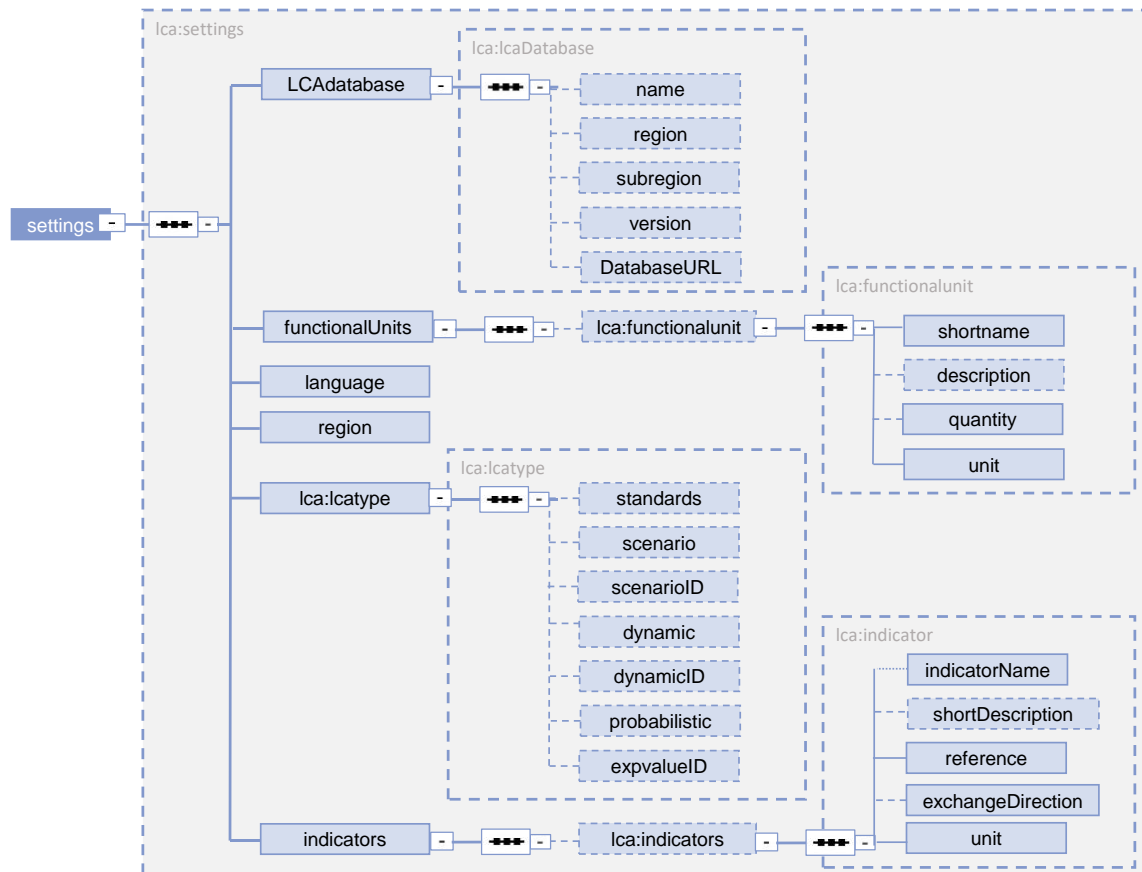
- Projekt: Dieses Objekt stellt alle Metadaten des zu bewertenden Gebäudes dar, d.h. Kontextinformationen (Titel, Beschreibung und Identifikation) und Einstellungen für Ökobilanz (Datenbank, Funktionseinheiten, funktionales Äquivalent, etc) Für die Spezifizierung des Gebäudes würden auch alle allgemeinen Informationen über das zu bewertende Gebäude dargestellt, z.B. Gebäudetyp.
- Ergebnisse der Zertifizierung <DGNBdata>: Das Objekt berichtet über die Ergebnisse aus der Gebäudezertifizierung, Benchmarks für die Bewertung und alle notwendigen Metadaten im Falle einer DGNB-Zertifizierung

Das Projekt beinhaltet die folgenden Elemente:

- Konstruktion: Das Objekt bezieht sich auf ein allgemeines, sowohl mehrschichtiges, komponentenbasiertes als auch einteiliges Bauteil. Daher werden beschreibende (Name, Bauklassifizierungstyp und Klassifizierung) und quantitative Informationen (Menge, Einheit, Lebensdauer des Bauwerks) angegeben.
- Teil: Das Objekt bezieht sich auf die nicht weiter zerlegten Einzelteile einer Komponente (oder die Komponente selbst, die nicht weiter zerlegt wird). Auch hier werden allgemeine (Name, ID) und quantitative Informationen angegeben.

Im Hinblick auf die LCA-relevanten Informationen werden im <Project> die Einstellungen zur Umweltauswertung angegeben (siehe Abbildung). Diese umfassen <settings>:

- die verwendeten Umweltdatenbanken (Name, Regionsversion und Webreferenz der Datenbank)
- Funktionseinheiten (definiert durch ihren Kurznamen, eine Beschreibung, Menge und Einheit)
- Sprache und Region der verwendeten Datenquellen
- LCA-Typ, d.h. berücksichtigte Standards und LCA-Ansatz. Bei letzterem definiert der Benutzer, ob er eine Szenarioanalyse, dynamische oder probabilistische LCA (boolesche Elemente) durchführt. Wenn diese aktiviert sind, indiziert der Benutzer jedes Szenario oder jeden dynamischen Wert.
- Indikatoren, die die Umweltindikatoren mit ihrem Namen, einer Beschreibung, der Norm und weiteren Referenzen, ihrer Austauschrichtung und Einheit darstellen.



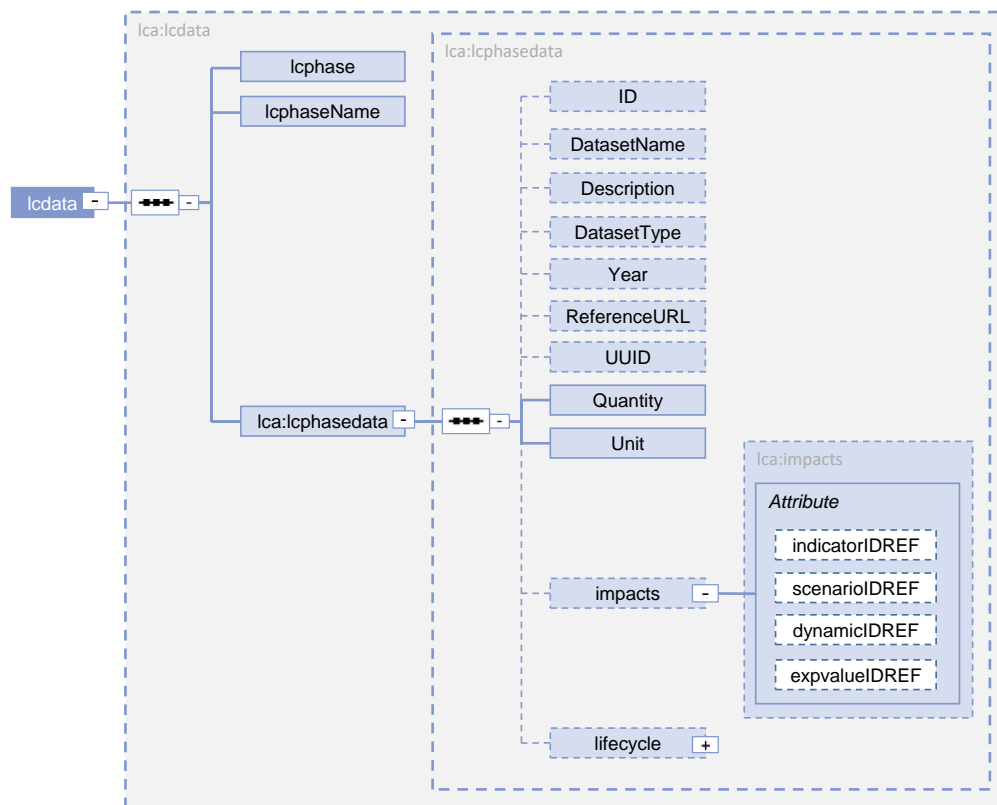
**Abbildung 15 LCA-Einstellungen in der Struktur des Lebenszyklus-Elements.** Elemente mit durchgezogenen Linien gelten als obligatorisch; gestrichelte Linien stellen optionale Eingaben dar.

Andere Elemente der LCA-Daten sammeln relevante Informationen für die Umweltbewertung eines Projekts, von Gebäudekonstruktionen und -teilen. Jedes dieser Elemente ist wiederum ein Element von komplexem Typ, das aus einem Satz mit allen allgemeinen und identifizierenden Angaben besteht; einem Mengensatz (z.B. Materialmengen, Konstruktionsoberfläche) und schließlich einem LCA-Datenelement (komplexer Typ, <lca:lcddata>), das in Abbildung dargestellt ist. Darin identifizieren wir:

- Lebenszyklusphase (<lca:lcddata>): die Informationen sind hier auf das Lebenszyklusmodul von EN15804 (A1-A3; B4;B6;C;D) beschränkt (DIN, 2012)
- Menge (<Quantity>), die Menge jedes betrachteten Elements (z.B. m<sup>2</sup> Konstruktion) und die Einheit (<Unit>)
- Die betrachteten Umweltindikatoren (<Indicators>), wobei der Benutzer den Namen des Indikators entsprechend vergibt, z.B. PEF-Indikatoren (EN15898) (DIN, 2014)

Die Lebenszyklus-Elemente (<Lifecycle>) sind in jeder Ebene (Projekt, Konstruktion und Teil) vorhanden. Diese Besonderheit ermöglicht die Erfassung umfassender LCA-Ergebnisse und eine Gruppierung für jede Definitionsebene (vollständige BIM-Analysen) sowie die eventuellen Umwelt-Benchmarks für Fallstudien, bei denen keine umfangreiche Datensammlung vorliegt.





**Abbildung 16** Struktur des Lebenszyklus-Elements. Elemente mit durchgezogenen Linien gelten als obligatorisch; gestrichelte Linien stellen optionale Eingaben dar

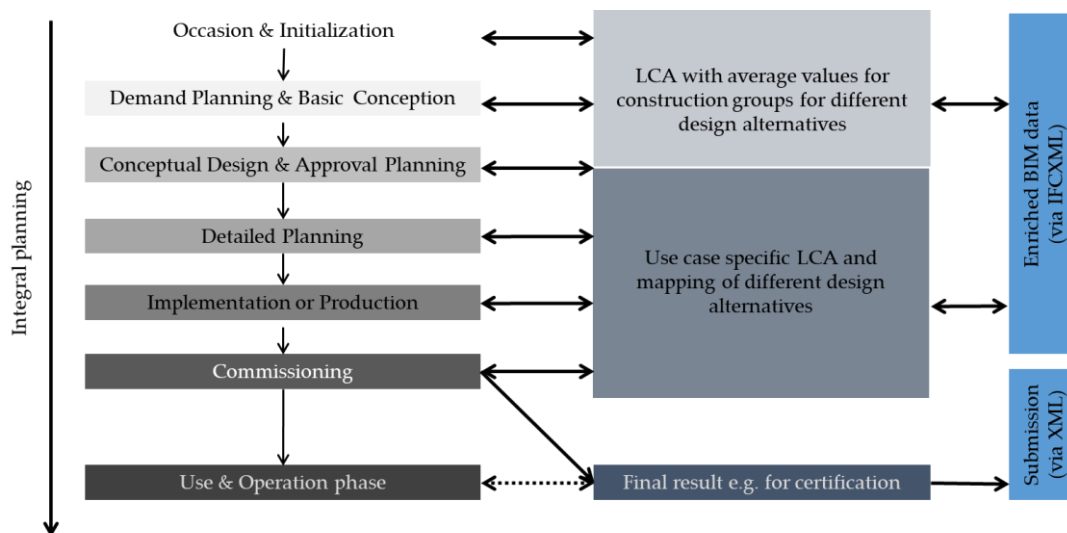
## 4.4. Szenariobasierte Evaluation

Eine durch heterogene Ausgangssituationen sowie Akteurskonstellationen geprägte Planungspraxis erschwert eine praxisrelevante Umsetzung der oben beschriebenen Methoden. Damit die im Lösungsansatz des Projektes avisierte Anbindung der LCA bzw. SBA Werkzeuge an eine BIM-basierte Planung und praxisorientiert untersucht und in eine zielgerechte Schnittstellenentwicklung überführt werden kann, bedarf es daher einer Abgrenzung möglicher praxisnaher Handlungsstränge in einem konkretisierten Anwendungsszenario. Indem dabei klare Rollendefinitionen den Bezug zu den in der Praxis stehenden Akteure, wie dem Bauherren oder den Fachexperten und Beratern herstellen, können von den Grundlagen orientierten Ergebnisse des Projekts Hilfestellung für die verschiedene Planungssituation abgeleitet werden. Indem sich bei der Evaluierung der Schnittstelle an bereits untersuchte Arten von Integrationsstrategien BIM und LCA angelehnt wird, lässt sich die im Projekt entwickelte Lösung für den Datenfluss von der BIM-basierten Planung zu den LCA-Werkzeugen besser im Rahmen bestehender Einordnen. Die (weiter-) entwickelnden Werkzeuge im Rahmen des Projekts stellen – trotz unseres hohen Anspruchs an die Umsetzungsqualität – Prototypen dar, welche gemäß der szenariobasierten Anwendungsfälle ausimplementiert werden sollen. Mit ihnen lässt sich dann vor dem Hintergrund des Anwendungsszenarios der Datenfluss durch die zu entwickelnde Datenschnittstelle demonstrieren. Beim Durchführen der einzelnen Schritte dieses Workflows können dann die umgesetzten Aspekte des Lösungsansatzes dann evaluiert werden. Die implizierte szenariobasierte Evaluation bedeutet für die prototypisch entwickelte Werkzeugkette zur Realisierung des Workflows und damit der BIM zu LCA Strategie, dass darin beinhaltene IT-gestützte Prototypen nicht ohne weiterführende, dem Projekt nachgelagerte Praxistests und Optimierungen bzw. Anpassungen produktiv und kommerziell nutzbar sind.

## 5. Umsetzung

### 5.1. Übersicht der Projektergebnisse

Um die Implementierung einer methodischen und technologischen Optimierung für die auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Gebäudeplanung voranzutreiben, konzentriert sich das Forschungsprojekt BIM2LCA4IP auf die prozessbegleitende Integration von LCA- und SBA-Tools in den BIM-basierten Planungsprozess. Eine frühzeitige Integration von Ökobilanz-Tools in den Planungsprozess und die Optimierung von Gebäudekonzepten ermöglicht mehr Optimierungspotenziale in Bezug auf Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit. Ein (technischer) Kern dieses Ansatzes liegt daher in der Strukturierung der Informationen, die von den jeweiligen Tools benötigt werden, um maßgeschneiderte LCA-Lösungen für das geplante Objekt entlang der verschiedenen Planungsphasen bereitzustellen, wie in Abbildung 17 dargestellt.



**Abbildung 17 Verschiedene LCA-Lösungsphasen des Ansatzes in Verbindung mit Planungsphasen.**

Ein integrierter Ansatz auf zwei Ebenen kann die oben genannten Ziele erreichen: 1) eine übergeordnete methodische Prozessebene (Phasenmodell Integrale Planung) und 2) eine technische Ebene mit der Entwicklung einer generalisierten BIM-Schnittstelle (die den zuvor genannten Kern umschließt). Analyse- und Bewertungsprozesse sind in einem wissensbasierten Prozess- und Phasenmodell verortet, das für den übergeordneten Planungsprozess auf einer ersten Ebene entwickelt wurde. Sie dienen als Prozesspilot für die Anwendung der integralen Planung (vgl. Abbildung 2). Dieses Phasenmodell bildet den strukturellen Rahmen für die Konzeption einer webbasierten Informationssammlung, die am Ende des Projekts online zur Verfügung gestellt wird (Graf u.a. 2019). Darin sind u.a. erfahrungsbasiertes Wissen über relevante thematische Aspekte einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Planung und Nachhaltigkeitsanforderungen aufbereitet, die in jeder Planungsphase berücksichtigt werden müssen. Darüber hinaus zeigt diese Informationssammlung an, wann die Initiierung von Auswertungen und Analysen den größten zusätzlichen Planungswert generieren können.

Basierend auf diesen Empfehlungen erhalten alle Akteure im Planungsprozess weitere Unterstützung bei der Modellierungsqualität während der Erstellung und Aktualisierung des projektbezogenen BIM-Modells. In der Informationssammlung gegebene (grobe) Referenzwerte können eine methodisch konsistent im gesamten Planungsprozess verfolgte Ausrichtung auf Nachhaltiges Bauen unterstützen, wobei ein Fokus auf die technisch am besten messbaren ökobilanziellen Gesichtspunkte gelegt

wurde. Hierzu werden in Kapitel 5.2 das entwickelte Phasenmodell, seine charakteristischen Inhalte sowie das darauf basierende webbasierte Werkzeug der Informationssammlung vorgestellt.

Das konzeptionelle Bindeglied zwischen dieser in Form einer Webseite dem Anwender präsentierten Informationssammlung und datentechnischen Ebene des Lösungsansatzes mit der Entwicklung einer Schnittstelle von der BIM basierten Planung zu den Werkzeugen der LCA und SBA wird durch die im Methodenkapitel dargestellte Informationssystematik bereitgestellt (Abbildung 13). Damit lassen sich ohne die einzelnen Phasen des Phasenmodells umfänglich auszuformulieren verschiedene Konkretisierungsstände des Planungsgegenstandes adressieren. Dies sind z.B. für die frühen Phasen Benchmarks, die auf Daten von bereits bewerteten Gebäuden basieren, insbesondere elementbezogene flächen- und volumenbezogene Referenzwerte, die für die ersten Variationen in (anfänglichen) Entwurfsphasen bereitgestellt wurden und schließlich gut mit diesen Anforderungen und Gebäudezielen verbunden sind, Einrichtungen für detaillierte Komponentenbeschreibungen.

In diesem Informationssystem können alle Informationsanforderungen kontinuierlich über die Prozessphasen hinweg verortet werden und in der bedarfsorientierten Granularität auf verschiedenen Detailebenen beschrieben werden. So beziehen sich in frühen Stadien ökobilanzielle Gebäudeinformationen, wie die oben genannten, Benchmark basierten LCA-Zielwerte auf stark aggregierte Werte, d. h. sogenannte Gebäudesysteme (Abbildung 13 links). LCA-basierte Referenzwerte zu ersten Entwurfparametern und die damit initiierte Konkretisierung des geplanten Objekts, z.B. Variationen des Kernkonstruktionstyps unter Bezugnahme von typischen Mengen vergleichbarer Bauwerke, beziehen sich dann jeweils auf nachfolgende zerlegte Systeme der Systematik, wie das Funktionssystem. Die Verfeinerung der Informationsgranularität zu dem im Planungsverlauf weiter konkretisierten Planungsgegenstand kann auf den verschiedenen aufeinander aufbauenden Stufen der Systematik bis zum detailliertesten Elementsystem fortgeführt werden. Darin werden schließlich die Informationen repräsentiert, die als Eingabe für eine Ökobilanz im Rahmen einer Nachhaltigkeitsbewertung benötigt werden. Daher entspricht es den Bestandsdaten der realisierten Konstruktion – engl. as-built.

Aus Sicht der Ökobilanz gibt es für alle Phasen der Systematik Wechselbeziehungen zwischen den zugrunde liegenden Methoden, die im Kapitel 4.2 tiefergehend dargestellt werden:

- Feinkörnige, auf spezifischem Material basierende Ökobilanz
- Aggregierte LCA-Konstruktionstypen von Bauelementen
- Grobkonstruktion LCA-Archetypen
- Benchmark-basierte Gebäude-Ökobilanz

Eine daraus abgeleitete Datenschnittstelle muss eine konsistente Eingabe in diese LCA-Methoden umsetzende IT-gestützten Tools ermöglichen. Dies kann mit einem objektorientierten modellbasierten Datenformat der Schnittstelle realisiert werden, das den kontinuierlichen und nachvollziehbaren Datenfluss hinsichtlich der Umweltauswirkungen während des gesamten Prozesses unterstützt. In Kapitel 5.3 wird die im Forschungsprojekt gemäß den im Kapitel 4.3 dargestellten methodischem Vorgehen umgesetzte Schnittstelle beschrieben. Um die dabei dargestellten Merkmale der entwickelten IFC-basierten Schnittstelle hervorzuheben, wird anschließend im Kapitel 5.5 der im Methodenkapitel vorgestellte allgemeine (prozessunabhängige) Workflow eines konkreten generischen SBA-Anwendungsfalls vor dem Hintergrund einer die Schnittstelle umsetzende Werkzeugkette beschrieben. Die einzelnen entwickelten bzw. in das Projekt eingebrachten und weiterentwickelten Werkzeuge sowie ihr Zusammenwirken in der Werkzeugkette zur Unterstützung der Planenden werden dabei dargestellt. Abschließend werden anhand einer Fallstudie, die an einem Campusgebäude des KIT durchgeführt wurde, die im Projekt auf technischer Ebene umgesetzten Lösungen und Ergebnisse evaluiert (Kapitel 6).

Abbildung 18 zeigt den Workflow, der auf einer angepassten Strategie zum Verbinden der BIM- und LCA-Softwaretools sowie der integrierten externen (verteilten) Datenbanken zum bedienen des Anwendungsfalls aufbauen, der am Ende der Planungsphase verortet ist. Für die oben dargestellte generalisierte Workflowstrategie werden die vier Instanzen des sukzessive erweiterten BIM-Modells im

IFCXML-Format im Falle des SBA-Zertifizierungsprozesses zusammen mit den jeweiligen Schritten konkretisiert. Die endgültigen modellbasierten Ökobilanzergebnisse werden nach Bedarf für die Übermittlung von Ökobilanzdaten im Rahmen eines Antragsverfahrens zur Erstellung eines DGNB-Zertifikats erstellt.

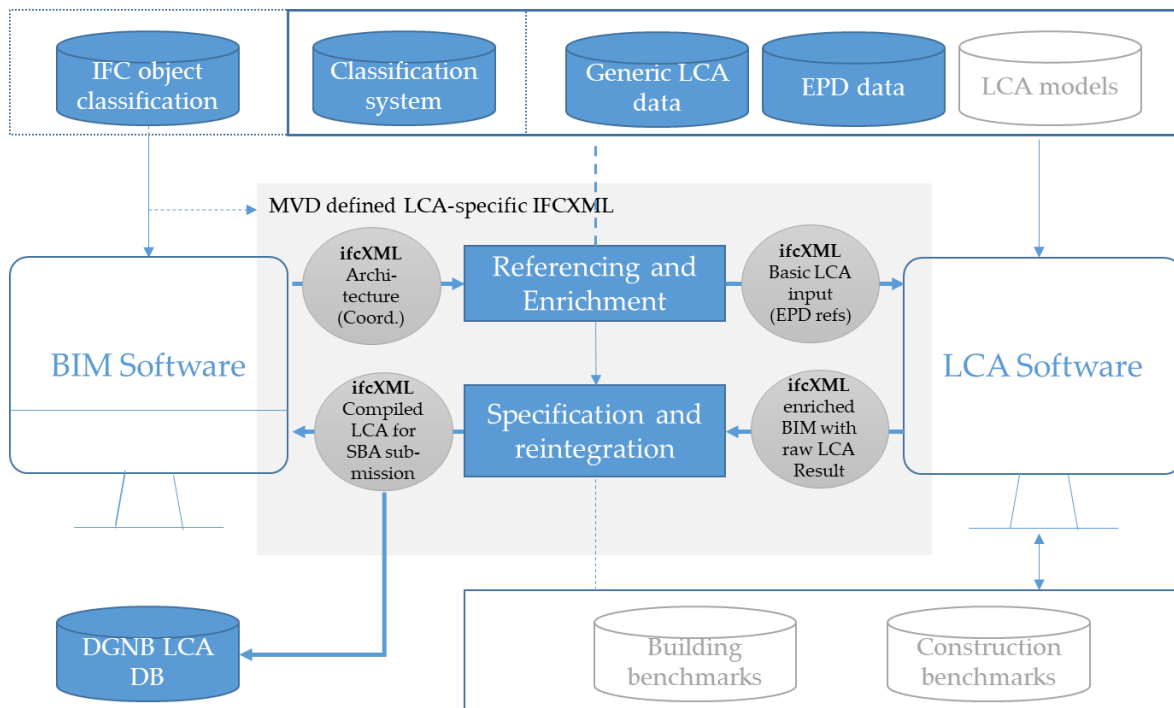


Abbildung 18 IFC-basierte bidirektionale BIM-LCA-Integrationsstrategie für den angewandten Anwendungsfall

## 5.2. Phasenstruktur einer Integralen Planung

### 5.2.1 Phasen des IP-Phasenmodells

Unter Berücksichtigung dieser Differenzierungsmerkmale wurde zusammenfassend eine Gliederung mit sieben Modellphasen für die Realisierung eines Bauvorhabens gemäß der Idee der Integralen Planung und der entsprechenden Optimierung in Bezug auf Nachhaltigkeit abgeleitet. Wesentliches Merkmal des IP-Phasenmodells ist der Ablauf der Phasen im Kreislauf. So schließt sich an die Phase 7 die Phase 1 wieder an. Folgende Bezeichnungen der einzelnen Phasen werden vorgeschlagen:

Tabelle 2: Phasenstruktur BIM-basierte Integrale Planung

Bereich	Lebenszyklus	Modellphasen IP-Phasenmodell
Alltagswelt	Problemtisierung	1 Anlass und Initialisierung
Planungswelt* integral		2 Bedarfsplanung und Grundkonzeption
Planungswelt* konventionell	Planung	3 Entwurfs- und Genehmigungsplanung
		4 Ausführungsplanung
	Realisierung	5 Ausführung / Herstellung
		6 Inbetriebnahme

Alltagswelt	Nutzung	7	Nutzung / Gebäudebetrieb sowie Bedarfsanpassung durch Erweiterung, Erneuerung und (Teil-)Rückbau. Erneutes einbinden der IP-Phase 1 Anlass und Initialisierung.
-------------	---------	---	---

\* Fachwelt der Architekten und Ingenieure

### 5.2.2 Merkmale der Phasen

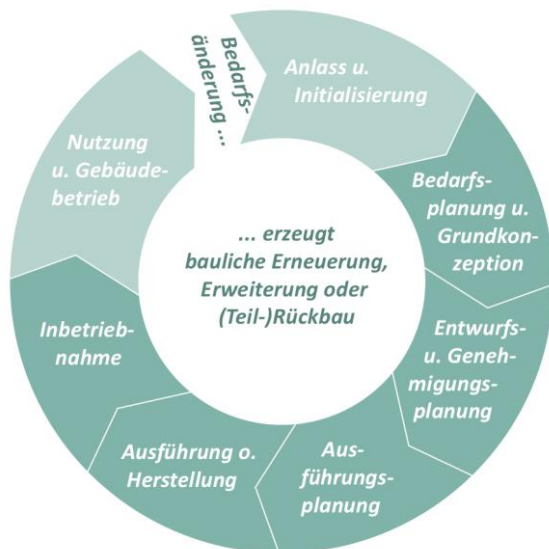
Die im Projekt entwickelte Charakterisierung des Phasenbeginns, Phasenendes und den Prior Concern sind in Tabelle 3 zusammengefasst:

**Tabelle 3: Merkmale der Modelphasen BIM-IP (eigene Darstellung)**

Nr.	Modellphase BIM-IP	Phasenbeginn	Phasenende	Prior Concern
1	Anlass und Initialisierung	Unzufriedenheit, unbestimmte Suche	Formulierung Projektidee oder vorläufiger Bedarf	Beschlussfassung „Bearbeiten oder Aufschieben?“
2	Bedarfsplanung und Grundkonzeption	Durchführung der ersten Untersuchungs- und Planungsschritte	Auswahl eines Grundkonzeptes	Absicherung der Investitionsentscheidung
3	Entwurfs- und Genehmigungsplanung	Durcharbeitung Grundkonzept	Eingang der baurechtlichen Genehmigung	realisierbarer und genehmigungsfähiger Gebäudeentwurf
4	Ausführungsplanung	Prüfung u. Übernahme der Genehmigungsaufgaben	Freigabe zur Ausführung der Bauteile	Bereitstellung aller Informationen zur Herstellung der Bauteile
5	Ausführung / Herstellung	Beauftragung der Gewerke	Abnahme der Vertragsleistungen	Überwachung und Dokumentation der Ausführung
6	Inbetriebnahme	Inbetriebsetzung der Anlagenteile	Einweisung der Nutzer und Betriebsabnahme	gebäudespezifische Parametereinstellungen
7	Nutzung / Gebäudebetrieb sowie Bedarfsanpassung	Übergabe des Gebäudes	Wegfall der Nutzung / Nutzbarkeit; gegebenenfalls Bedarfsanpassung	langfristige, kostengünstige und ressourcenschonende Nutzung und Bewirtschaftung; gegebenenfalls minimale Anpassungen.

### 5.2.3 Abgrenzung gegenüber anderen Phasenmodellen

Die Phasenstruktur des IP-Phasenmodells (vgl. Abbildung 19) zeigt Parallelen mit anderen Phasenkonzepten, die im europäischen Kontext verwendet werden und nachfolgend kurz exemplarisch gegenübergestellt werden sollen.



**Abbildung 19** Kreisförmige Darstellung der IP Phasenmodells (Rexroth u.a. 2018)

Das Phasenkonzept des „RIBA<sup>5</sup>- Plan of Work“ weist insbesondere in den Phasen der Planung eine vergleichbare Abgrenzung entlang der Konkretisierung des Planungsgegenstandes. Der Fokus der ersten Phase ist in der inhaltlichen Formulierung bereits etwas stärker auf die Perspektive des Architekten als Auftragnehmer und Leistungserbringer ausgerichtet. Die Phase der Bedarfsanpassung ist nicht mehr Gegenstand des RIBA-Modells.

Das Leistungsmodell „SIA<sup>6</sup> 112“ sieht eine Hauptgliederung in sechs Phasen vor, die den Prozess von der strategischen Planung bis zur Bewirtschaftung umfassen. Die Struktur ist damit etwas grober gefasst als im IP-Phasenmodell. Insbesondere die Phase „Projektierung“ schließt einen großen Bereich von planerischen Konkretisierungsschritten und Auswahlentscheidungen ein – von der Entwurfs-, Genehmigungs- bis zur Konstruktionsplanung –, die sich in der Konkretisierung des Planungsgegenstandes deutlich unterscheiden (SIA 112).

Die gegenwärtig für die digitale Bauwerksdokumentation im europäischen Kontext am weitesten spezifizierte „ÖNorm A6241-2“ nutzt zur Hauptgliederung bei der Modellierung eine Lebenszyklusgliederung in Anlehnung der EN 16310 (Ingenieurdienstleistungen), die den Lebenszyklus eines Bauwerks in sieben Phasen einteilt. Diese umfassen den Prozess von der Projektinitiative bis zur Endverwendung. Auch hier umfasst allein die Phase des „Entwurfes“ einen großen Bereich der planerischen Konkretisierung von der Konzepterarbeitung bis zur detaillierten Konstruktion. Die darunterliegende Gliederungsebene umfasst 17 Projektphasen und differenziert den Gesamtprozess nach Arbeitsschritten, was nicht mit einer gewünschten Gliederung entlang einer Konkretisierung des Planungsgegenstandes, wie es dem IP-Phasenmodell zu Grunde liegt, übereinstimmt (ÖNorm A6241-2).

Für das in Deutschland häufig zur Gliederung des Planungsprozesses verwendete Phasenmodell der „HOAI<sup>7</sup>“ erfolgt die Gliederung nach abgrenzbaren und damit abrechenbaren Planungsleistungen. Das Modell ist von seinem Ansatz her, ähnlich dem RIBA-Modell, aus der Perspektive des Architekten als Auftragnehmer entwickelt. Die insgesamt 9 Leistungsphasen (Gebäudeplanung) weisen in einigen Bereichen eine ähnliche Abgrenzung der Phasen auf, wie das IP-Phasenmodell. Beim HOAI-Phasenmodell bleiben allerdings die der dem Auftrag vorausgehenden, aber gleichwohl die Planung bereits einrahmenden Phasen unberücksichtigt. Insbesondere wird eine Bedarfsplanung durch den Auftraggeber bereits vorausgesetzt, so dass dieses Modell hier nicht dem Konzept der Integralen Planung folgt. Auch die Phasen der Nutzung nach Ablauf der Gewährleistungsfristen sind

<sup>5</sup> RIBA = Royal Institute of British Architects

<sup>6</sup> SIA = Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

<sup>7</sup> HOAI = Honorarordnung für Architekten und Ingenieure

nicht mehr berücksichtigt. Es handelt sich also im engeren Sinn um ein Abrechnungsmodell und nicht um ein auf den Informationsbedarf ausgerichtetes Modell (HOAI 2013).

Die Phasenabgrenzung der o.g. Modelle ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

BIM-IP	RIBA	SIA	ÖNorm	HOAI
Anlass u. Initialisierung	Strategic Definition	Strategische Planung	Projektinitiative	-
Bedarfsplanung und Grundkonzeption	Preparation and Brief	Vorstudien	Projektinitiiierung	Grundlagen-ermittlung
				Vorentwurf
Entwurfs- u. Genehmigungsplanung	Concept Design	Projektierung	Planung	Entwurfsplanung
				Genehmigungsplanung
Ausführungsplanung	Developed Design	Ausschreibung	Vergabe	Ausführungsplanung
	Technical Design			Vorbereitung der Vergabe
				Mitwirkung bei der Vergabe
Ausführung / Herstellung	Construction	Realisierung	Ausführung	Objektüberwachung
Inbetriebnahme	Handover and Close Out			
Nutzung / Gebäudebetrieb	In Use	Bewirtschaftung	Nutzung	Objektbetreuung
	-	-	Endverwendung	-

**Abbildung 20: Gegenüberstellung von Phasenmodellen im europäischen Kontext (Graphik BLM/Rexroth)**

## 5.2.4 Ausgewählte phasenbezogene Wissensinhalte, Empfehlungen und Hilfestellungen

Nachfolgende werden wesentliche Überlegungen zur stufenweisen Einbringung und Konkretisierung von Aspekten und Anforderungen des Nachhaltigen Bauens im Planungsprozess phasenspezifisch zusammengefasst.

Für die einzelnen Phasen werden jeweils in entsprechenden Abschnitten wiederkehrende Themen beschrieben:

- Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit: Dieser Abschnitt geht auf allgemeine Themen ein, die beispielsweise in der Literatur zum Nachhaltigen Bauen besprochen werden und welche planungsbegleitend bei allen Akteuren ein allgemeines Verständnis für das Konzept der Nachhaltigen Bauens verbessern sollen. Dabei ist es wichtig, bestimmte Themen, die später durch konkrete Anforderungen für in Gebäude spezifiziert werden müssen, vorausschauend anzusprechen, um den erforderlichen Meinungsbildungsprozess anzustoßen.
- Organisatorische Empfehlungen: Dieser Abschnitt gibt Empfehlungen für das Projektmanagement, welches auf eine Integrale Planung unter Einbezug von Nachhaltigkeitsaspekten ausgerichtet ist. Im Zentrum stehen die am Planungsprozess beteiligten Akteure und die optimale Herbeiführung von Diskussionen und Entscheidungen. Die Empfehlungen basieren auf Literatur sowie auf der Erfahrung der Praxispartner. Die

Empfehlungen sind ergänzend zu bestehenden Empfehlungen zum Projektmanagement im Hochbau zu verstehen.

- Die phasenspezifischen generische Bauwerksanforderungen und Kriterien sind eine Synthese verschiedener Anforderungen zum nachhaltigen Bauen (siehe Kapitel 0). Die vom Projektteam erarbeiteten Inhalte sind auf der Informationssammlung praxisorientiert aufgearbeitete. Somit kann der Nutzer (Bauherr, Berater) phasenspezifisch die relevanten Anforderungen und Kriterien abrufen.

### **Phase 1 „Anlass und Initialisierung“**

#### **Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit**

Die relevanten Aspekte und Fragestellungen betreffen zunächst die Sensibilisierung der Entscheidungsträger für die grundsätzlichen Themen einer integralen Planung und nachhaltigen Entwicklung und einen entsprechenden Beschluss oder Entscheidung, welche Rolle die Nachhaltigkeit bei der weiteren Entwicklung des Bauprojektes spielen soll. Die Komplexität der zahlreichen Aspekte des nachhaltigen Bauens sollte jedoch nicht zu einer Überforderung der Initiatoren führen, weshalb zunächst qualitative Fragen im Mittelpunkt stehen. Um die Aufmerksamkeit des Initiators betreffend der Relevanz und Sinnhaftigkeit einer nachhaltigen Entwicklung sowie deren nationale und internationale Bedeutung zu erlangen, kommen die Zentralen Handlungsfelder der Nachhaltigkeit für die gebaute Umwelt zur Anwendung (Kapitel 2.2). Mit ihnen soll die Überzeugung des Initiators für die Umsetzung nachhaltiger Gebäude gefördert und gefestigt werden. Im weiteren Schritt sind Überlegungen anzustellen, wie mit Widersprüchen zwischen Nutzungs- und Nachhaltigkeitsanforderungen umzugehen ist. Grundsätzliche Vorstellungen der Initiatoren zu Energieeffizienz, Energieverbrauch, Emissionen, Mobilität etc. sind zu entwickeln. Wichtige Gesprächspunkte sind unter anderem die mögliche Nutzung des Gebäudes und die wirtschaftlichen Anforderungen (z.B. Return on Investment), der Energiestandard, Präferenzen für bestimmte Bauweisen und Ausstattungsmerkmale, aber auch projektabhängig übergreifende Fragen, beispielsweise zur Nutzung bestehender Gebäude und Brachflächen, zur Kompaktheit von Siedlung und Baukörper oder zu möglichen Optionen im grundsätzlichen Versorgungskonzept.

#### **Organisatorische Empfehlungen**

Ziel dieser Phase ist die Beschlussfassung, ein Projekt zu beginnen. Diese Entscheidung basiert auf der Formulierung eines ersten vorläufigen Bedarfs, einer ersten Projektidee, allenfalls in Varianten. In dieser Phase ist es wesentlich, dass der Berater dazu beiträgt, beim Initiator das Bewusstsein für die koordinative Herausforderung der integralen nachhaltigen Planung zu entwickeln oder zu schärfen. In der Diskussion mit dem Initiator soll klar werden, dass die Wirksamkeit des Projektes und insbesondere das Resultat des Planungsprozesses - ein nach ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Aspekten optimiertes Gebäude - nicht allein von der Qualität der Facharbeit bestimmt wird, sondern vor allem auch durch die Perspektive der einzelnen Akteure für vertikale und horizontale Integrale Planung (vereinfacht: Gebäudelebenszyklus und Interdisziplinarität), die Teamorientierung im Prozess und die entsprechende Führung. Im Zusammenhang mit dem Führungsaspekt wird im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude des Bundesbauministeriums (BNB, BMUB 2015) die Prozessqualität der Integrale Planung hervorgehoben: „Die Leitung des interdisziplinären Projektteams erfolgt durch eine Person, die interdisziplinär erfahren ist. Diese ist für die Führung und die erfolgreiche Umsetzung der integralen Planung verantwortlich, moderiert das interdisziplinäre Projektteam und dokumentiert den integralen Planungsprozess. Sie muss zu Beginn der Planung benannt werden“. Erfahrungen aus der Praxis unterstreichen dies für die Initiierung und Wahrung der ganzheitlich-systemischen Betrachtung während dem gesamten Prozessablauf.



Als nächster Schritt kann ein interdisziplinärer erster Akteur-Kreis (Planungsteam) in einer Minimalbesetzung gebildet werden. Aus der Praxis wird empfohlen, dass vorzugsweise die Bauherrschaft vertreten ist (vgl. dazu SIA, 1996). Dieser fasst am Ende der Phase den Beschluss, ein Projekt zu beginnen. Um vertieftes Grundlagen- und Prozesswissen zum Nachhaltigen Bauen von Beginn an in den Planungsprozess zu integrieren, soll ein Nachhaltigkeits-Experte Mitglied dieses Teams sein.

Für die Sensibilisierung bezüglich der Nachhaltigkeit ist ein frühzeitiges erstes Treffen zwischen dem Berater mit dem ersten Akteur-Kreis bzw. Initiator/Bauherr wesentlich. Ziel des Treffens ist, im Akteur-Kreis oder für den Initiator/Bauherr eine klare Vorstellung zu den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Gesellschaft) zu entwickeln. Es werden relevante Anforderungen an die Nachhaltigkeit besprochen sowie entschieden, welche Anforderungen für das Projekt einbezogen werden (. Zudem ist in diesem Gespräch zu klären welche Rahmenbedingungen bestehen (z.B. interne und externe Richtlinien zum nachhaltigen Bauen, Betrieb und Prozessgestaltung). . Abhängig, wie stark die Rahmenbedingungen den Prozess der Integralen Planung und Nachhaltigkeit bereits unterstützen, werden die Themenschwerpunkte für weitere Treffen der ersten Phase festgelegt. Ist der Initiator nicht oder nur sehr gering mit Themen des nachhaltigen Bauens betraut, bildet die phasenspezifischen Auszüge der Informationssammlung die Grundlage für die Sensibilisierung des Initiators. Im zweiten Treffen zwischen Berater und ersten Akteur-Kreis bzw. Initiator/Bauherr werden die Anforderungen an die Nachhaltigkeit bereits konkretisiert.

Für komplexe Projekte hat sich in der Praxis für die Formulierung der ersten Projektidee die Erstellung von Varianten. Deren Grobsimulation unterstützen bei der Abschätzung von wesentlichen Einflüssen der Gebäudeform auf ökologische und ökonomische Aspekte der Nachhaltigkeit.

## **Phase 2 „Bedarfsplanung und Grundkonzeption**

### **Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit**

Die relevanten Aspekte und Fragestellungen in dieser Phase betreffen den Standort, das Grundstück und das Gebäude als Ganzes und in Wechselwirkung mit der Nachbarschaft, dem Quartier und dem Stadtsystem. Entsprechend sind Aspekte des nachhaltigen Bauens für diesen Betrachtungsausschnitt und Auflösungsgrad auszuwählen. Darüber hinaus sollen Maßgaben, welche bereits ein alternatives Grundkonzept im Gesamten festlegen oder ausschließen, in einer nächsthöheren Detaillierungsstufe vorausgedacht werden.

Es sind Überlegungen anzustellen, welche Rahmenbedingungen auf die Freiheitsgrade des Projektes wirken, beispielsweise in Form von gesetzlichen oder behördenverbindlichen Auflagen oder durch Bauordnung auf kommunaler Ebene. Wichtige Gesprächspunkte zur Nachhaltigkeit des Gebäudes als Ganzes wären beispielsweise die kritische Prüfung des Flächenbedarfes (Flächensuffizienz), Alternativen zu einem Neubauprojekt (Bestandsnutzung), die Angemessenheit der Außenraumgestaltung oder der äußeren Wirkung eines Gebäudes im Kontext des Umfeldes und der regionalen Identität, sowie der Mehrwert eines Gebäudes für das räumliche Umfeld.

Vorausschauend sind bereits Aspekte zu thematisieren, bei denen architektonische und technische Konzepte langfristig einen maßgeblichen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz des Gesamtkonzeptes im Lebenszyklus hat, beispielsweise mit Bezug auf Benutzbarkeit, Nutzerzufriedenheit, Anpassungsfähigkeit, Standortrisiken oder Rückbaubarkeit.

Auf Grundlage der bereits in Phase 1 getroffenen prinzipiellen Suchrichtungen sollten grundlegende, gestaltprägende oder funktionale Konzeptbausteine bereits benannt werden, beispielsweise die Baukörpergliederung und Baukörperorientierung, erforderliche Systeme an der Gebäudehülle (z.B. Sonnenschutz) oder das prinzipielle Gebäudelüftungskonzept, also Festlegungen, die das Grundkonzept eines Gebäudes in integraler<sup>8</sup> Weise betreffen.

---

<sup>8</sup> integral: „zu einem Ganzen dazugehörend und es erst zu dem machend, was es ist“ (Duden)

### Organisatorische Empfehlungen

Grundlagen bilden der in Phase 1 formulierten ersten vorläufigen Bedarfs, einer ersten Definition der ersten Projektidee bzw. Projektvarianten sowie die eventuell durchgeführten Simulationen. Diese werden in dieser Phase ausgearbeitet und im Lastenheft/Pflichtenheft detailliert beschrieben. Das Resultat der Phase ist unter anderem die Formulierung der Anforderungen in einem Lastenheft/Pflichtenheft.

Zu Beginn dieser Phase ist die Bedarfsplanung entscheidend. Der Berater muss darauf hinweisen, dass diese im Sinne der Integralen Planung essentiell ist. Die Bedarfsplanung ist vorzugsweise als partizipativer Prozess zu verstehen, an dem verschiedene Stakeholdergruppe (wie Initiator, Nachhaltigkeitsexperte, Fachplaner, Nutzer und Betreiber (falls bereits bekannt), Öffentlichkeit, öffentliche Hand) involviert sind. Dieser Prozess ist für die nachfolgenden Bau- und Betriebsphasen wesentlich. Es lässt sich die Marktsituation, Standort- und Nutzeranforderungen qualitativ oder quantitativ (z.B. mittels Standort- und Marktanalyse, partizipative Prozesse) evaluieren. Zudem steigert es die Akzeptanz und Zufriedenheit aller Stakeholder gegenüber dem geplanten Objekt.

Die Phase beinhaltet Treffen zwischen Berater und Bauherren/Initiator bzw. Akteurs-Kreis, bei dem die ab Phase 1 definierten Nachhaltigkeitsaspekte konkretisiert werden und die ab Phase 2 relevanten Aspekte in das Gespräch eingebracht werden. Ähnlich wie in Phase 1 werden weitere Treffen durchgeführt, bis die Anforderungen an die Nachhaltigkeit mit dem Planungsteam abgestimmt, definiert und konkretisiert sind. Gegebenenfalls wird für die Durchführung einer Nachhaltigkeitszertifizierung entschieden. Alle definierten Nachhaltigkeitsaspekte werden im Pflichtenheft detailliert aufgenommen und werden so zu einer Grundlage für die Ausschreibung des Projektes.

Das Planungsteam trägt wesentlich zur Definition der Zielformulierungen im Pflichtenheft bei. Die Anforderungen und Lösungsvorschläge der unterschiedlichen Disziplinen werden auf deren gegenseitige Wechselwirkungen analysiert und eine optimale, widerspruchsfreie Kombination aller interdisziplinären Anforderungen definiert. Die Integration aller Teilkonzepte zu einem abgestimmten Gesamtkonzept resultiert in der Wahl eines priorisierten Grundkonzeptes zur Umsetzung der strategischen Ziele und die damit verbundene Investitionsentscheidung. Essentiell für den Planungsablauf ist die Definition von regelmäßigen Sitzungen und eventuell Workshops. Sie bilden eine Schnittstelle zwischen allen Beteiligten, um die Umsetzung des Pflichtenheftes zu diskutieren. Die Sitzungen dienen dem Erfahrungsaustausch und dem laufenden Abgleich. Praxiserfahrung zeigt, dass der damit verbundene hohe Planungsaufwand resultiert in einer größeren Planungssicherheit, in hoher Qualität und lässt Zielkonflikte frühzeitig erkennen. An den Sitzungen sollten aufkommende Fragen und Probleme werden bis zum Konsens aller Teilnehmer zu diskutiert werden. Damit die Sitzungen den gewünschten Beitrag zur Integralen Planung erzielen, sollten diese gut moderiert, protokolliert, auf einem Informationssystem oder einer Projektplattform abgelegt und an alle Projektbeteiligten aktiv verteilt werden. Zusätzlich können Workshops die Teamorientierung und das Verständnis für das übergeordnete Ziel der integralen Planung unterstützen.

Schon in dieser Phase kann die Überlegung zu BIM als Tool zur Unterstützung der integralen Planung mit dem Ziel, die Nachhaltigkeitsperformance zu erhöhen eingebracht werden. Mit BIM kann den regelmäßigen Abgleich in Echtzeit unterstützt und eventuelle Komplikationen frühzeitig aufgezeigt werden. Durch die laufende „Konsolidierung“ des Wissensstandes werden hohe Ansprüche an die Kommunikation zwischen den beteiligten Akteuren gestellt.

### Phase 3 „Entwurfs- und Genehmigungsplanung“

#### Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit

In dieser Phase ist die vollständige Berücksichtigung aller mit der Gebäudekonzeption verbundenen Nachhaltigkeitsthemen erforderlich. Zu einem späteren Zeitpunkt können diese kaum oder nur mit finanziellen Nachteilen in das Gebäudekonzept integriert werden.

Die Teilkonzepte aus Phase 2 sind in den weiteren Details festzulegen. Die zu besprechenden Nachhaltigkeitsaspekte betreffen beispielsweise die Emissionen aus der Erstellung und dem Betrieb des Gebäudes, insbesondere in Verbindung mit der avisierten Materialauswahl und daraus implizierten Freisetzungen von Schadstoffen in Atmosphäre, Gewässer, Boden im globalen und lokale Kontext, sowie in die Innenräume. Weiter sind die Themen des Nutzerkomforts und der Nutzerakzeptanz, der Nutzung des Gebäudes im räumlichen Kontext, der technischen Qualität zu besprechen, sowie weiter vorausschauend Themen der Qualitätskontrolle und Nachweisführung, der Inbetriebnahme, der Dokumentation, der Wartung und Pflege bis hin zum Recycling – insbesondere wenn diese Informationen als Vertragsbedingungen oder Kalkulationsgrundlagen für die Bieter relevant sind.

#### **Organisatorische Empfehlungen**

Der Berater unterstützt den Bauherrn/Akteur-Kreis in der Definition der Wettbewerbsanforderungen für das in Phase 2 entwickelte Gesamtprojekt. Dabei ist als eine Wettbewerbsanforderung das Einbinden von interdisziplinären Teams mit Nachhaltigkeitsspezialist und Erfahrung der Integralen Planung von Vorteil. Ein Nachhaltigkeitsspezialist sowie Spezialist der Integralen Planung sollte für die Entscheidungsfällung des Planerteams und des genehmigungsfähigen Gebäudeentwurfs einbezogen werden, um die Umsetzung aller mit der Gebäudekonzeption verbundenen Nachhaltigkeitsanforderungen sicherzustellen. Die Bildung eines Qualitätssicherungsteams ist äußerst empfehlenswert. Es überprüft regelmäßig das Einhalten des Pflichtenheftes. Die Anwendung von BIM als unterstützendes Tool der Integralen Planung muss entschieden werden.

#### **Phase 4 „Ausführungsplanung“**

##### **Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit**

Die Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit wurden bereits überwiegend in den vorausgegangenen Phasen 1 bis 3 behandelt. In Phase 4 stellt die korrekte Materialisierung als vorrangiges Thema nun Anforderungen an die Auswahl von Unternehmen. Dabei ist entscheidend, dass die später ausführenden Firmen sich selbst zum nachhaltigen Bauen bekennen, sodass ein „Qualitätsverlust“ des nachhaltigen Bauens von den konzeptionellen Entscheidungen auf dem Weg hin zur Umsetzung möglichst gering gehalten wird. Eine ungenügende Sensibilität oder Ignoranz auf Ebene der ausführenden Firmen für Fragen der Nachhaltigkeit im Bauen kann weder durch Bauverträge noch durch Qualitätskontrollen wirksam kompensiert werden.

Über die Fragen zur Gebäudequalität hinausgehend, sind in dieser Phase bereits Themen zu besprechen und in den Leistungsbeschreibungen zu definieren, welche auf die Nutzungsphase vorgeifen bzw. diese beeinflussen. Beispielsweise sind hier zu nennen, die Ausstattung des Gebäudes mit energieeffizienten Geräten, Anforderungen an die Wartung, Unterhaltung und Instandsetzung von Anlagen(teilen) und die erforderliche technische Dokumentation aller Gebäude- und Anlagenteile.

#### **Organisatorische Empfehlungen**

Wesentlich ist die konsequente Dokumentation aller Informationen, die zur qualitäts-, zeit- und kostengerechten Herstellung und Montage der Bauteile erforderlich ist. Werden gegebenenfalls Änderungen in der Planung durch Mieter- oder Sonderwünsche erhoben, sollten diese unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsanforderungen mit einbezogen werden. Die Teamorientierung muss unter anderem durch die regelmäßigen Sitzungen (2- bis 3 wöchigen Turnus) sowie stetigen interdisziplinären Abgleich aufrechterhalten werden.

## **Phase 5 „Ausführung und Herstellung“**

### **Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit**

In dieser Phase kommen inhaltlich keine neuen Aspekte oder Fragen zur Nachhaltigkeit hinzu. Entscheidend ist vielmehr, dass alle geplanten und vertraglich festgelegten Vorgaben hier umgesetzt werden und diese Umsetzung überwacht und dokumentiert wird.

### **Organisatorische Empfehlungen**

Während der gesamten Ablaufplanung muss die Bauleitung im gesamten Team das Bewusstsein über die Umsetzung der Nachhaltigkeitsanforderungen erzielen und aufrechterhalten. Diese müssen selbst unter Zeit- und Kostendruck gemäß den im Pflichtenheft beschriebenen Anforderungen durchgesetzt werden. Die regelmäßigen Sitzungen müssen weiterhin konsequent sowie der stetige Abgleich zwischen geplanter und ausgeführter Unternehmerleistung durch die Qualitätssicherung durchgeführt werden. Wesentlich für die nachfolgenden Phasen ist die Dokumentation der Bauausführung.

## **Phase 6 „Inbetriebnahme“**

### **Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit**

In dieser Phase sind Aspekte und Fragestellungen zu berücksichtigen, die sich nicht mehr auf die technische Spezifikation des Gebäudes selbst beziehen, sondern auf die richtige Einstellung der technischen Anlagen, den Umgang diesen und die Nutzung des Gebäudes selbst. So muss beispielsweise das Betriebspersonal, welches in der späteren Nutzungsphase für die Anlagen verantwortlich ist, geschult und unterwiesen werden. Einstellungen und Ereignisse sind zu protokollieren, Fehler zu suchen und die Einstellungen nach und nach zu optimieren. Aus den Erfahrungen der Inbetriebnahme sind die Anlagenhandbücher und das Betriebskonzept zu vervollständigen und auf den realen Betrieb hin anzupassen.

Die Inbetriebnahme kann sich bei komplexen Gebäuden über mehrere Monate erstrecken. Die erforderlichen Leistungen der ausführenden Firmen und Fachingenieure sind entsprechend bereits in den Planungsphasen zu definieren und in die Ausschreibungs- und Vertragsunterlagen aufzunehmen.

### **Organisatorische Empfehlungen**

Ab dieser Phase müssen die Nachhaltigkeitsanforderungen an das Gebäude mit Hilfe des Betreibers und Nutzer in den Betrieb umgesetzt und für die Betriebsphase sichergestellt werden. Die umfangreiche Dokumentation des nachhaltig funktionierenden Gesamtsystems (optimierte, gebäudespezifischen Parameter und zu Grunde liegende Betriebsszenarien) ist essentiell. Wurde BIM in der Bauphase verwendet bildet es ein Wissenspool für das Gesamtsystem und kann über die Inbetriebnahme hinaus für den Betreiber weitergeführt werden. Gegebenenfalls müssen zu dokumentierende Nachmessungen und Monitoring erfolgen, bis die haus- und gebäudetechnischen Anlagen steuerungs- und regelungstechnisch zu einem nachhaltig funktionierenden Gesamtsystem überführt sind.

Die Anforderungen der Nachhaltigkeit an das Gebäude werden vom Betreiber durch dessen professionelle Ausführung über die Bauphase hinaus entscheidend beeinflusst. Dafür müssen die notwendigen Informationen zum gesetzten Ziel und das Wissen für deren Umsetzung weitergegeben werden. Unterstützend für die Ausbildung des Betriebspersonals sind z.B. Workshops, Handbücher, Broschüren, Factsheet und FAQ zu Energie- und Umweltfragen vermittelt werden. Das ganzheitliche Ziel der Nachhaltigkeit muss dabei immer mit eingebunden werden.

## **Phase 7 Nutzung und Gebäudebetrieb“**

### **Relevante thematische Aspekte und Fragestellungen zur Nachhaltigkeit**

In dieser Phase gilt es die Nachhaltigkeitsziele im Gebäudebetrieb aufrecht zu erhalten. Dies ist insbesondere auch bei wechselnden Nutzern und wechselnden Nutzungsanforderungen zu gewährleisten und erfordert eine Art „Nutzungsanweisung“ oder „Nutzungshandbuch“ – zu unterscheiden vom Anlagenbetrieb – für den Nutzer des Gebäudes. Dabei sind beispielsweise zu regeln: Stoffstrommanagement im Gebäude oder am Standort, Vereinbarung der Suffizienz i.S. von individuellen Verhaltens- und Einflussmöglichkeiten (z.B. Lüftungsverhalten, Raumtemperatureinstellungen, Abschaltung von Geräten) oder Energie-Monitoring der Nutzer.

### **Organisatorische Empfehlungen**

Die Nachhaltigkeitsanforderungen beziehen nun vor allem den Nutzer und dessen Verhalten ein. Grundlage für die Sensibilisierung und Überzeugung der Sinnhaftigkeit einer nachhaltigen Nutzung bilden die zentralen Handlungsfelder der Nachhaltigkeit für die gebaute Umwelt (Kapitel 2.2). Die damit verbundenen nationalen und internationalen Rahmenwerke geben den Betreiber sowie Nutzer einen Rückhalt für die Umsetzung der Ziele der nachhaltigen Entwicklung. Dokumentation und Workshops zum Umgang und zum Einstellen mit den technischen Elementen des Gebäudes aber auch Empfehlungen für nachhaltiges Verhalten (Abfalltrennung, Abfallvermeidung, Verhalten in Räumen) bilden die Grundlage, um Nachhaltigkeit über Effizienz hinaus in das Projekt zu integrieren. Ebenso können Willkommensanlässe für neue Nutzer einen wesentlichen Beitrag für deren Sensibilisierung und aktiven Umsetzung der Nachhaltigkeitsanforderungen und Ressourcenschonung leisten. Die Kommunikation zwischen Betreiber und Nutzer ist für die Fortführung der Nachhaltigkeitsanforderung essentiell. Anliegen, Fragen und Anmerkungen der Nutzer an den Betreiber sollen formuliert und regelmäßige Informationen an Nutzer weitergegeben werden. Somit können auch veränderte Nutzeranforderungen frühzeitig erkannt werden. Dabei soll ein Miteinander zwischen dem Betreiber und Nutzer entstehen.

Es ist eine vollständige und detaillierte Dokumentation über die mit dem Gebäude verbundenen Nachhaltigkeitsanforderungen sowie aller Änderungen am Gebäude und Bau-/Anlageteilen in der Ausführungs- und Nutzungsphase anzustreben.

Für die Evaluation des Betriebes, Bestand und der Brauchbarkeit der physischen Einstellungen nach Fertigstellung und Bezug kann z.B. die Methode der Post Occupancy Evaluation (POE) angewendet werden. Im Fokus steht die Beeinflussung vergangener Planungsentscheidungen auf die Gebäudeperformance (Kovacic et al.).

Während der Nutzung eines Gebäudes können auf verschiedenen Ebenen Anpassungen erforderlich werden, die über die abnutzungs- und alterungsbedingten Renovierungs- und Reparaturarbeiten zur Aufrechterhaltung der Gebrauchstauglichkeit hinausgehen. In diesem Zuge sind meist Planungsleistungen erforderlich, welche über die Phasen 1 bis 6 dieser Phasenstruktur abgebildet werden können. Die Bedarfsanpassungen können verschiedene Ebenen, wie den Ausbau des Gebäudes (z.B. Raumaufteilung, Zusammenlegung), die technische Ausstattung (z.B. Heizung, Lüftung, ITSysteme), die Gebäudehülle (z.B. energetische Fassadensanierung) oder die Rohbaukonstruktion (z.B. Erweiterung, Aufstockung) betreffen. Je nach geplantem Eingriff sind hierzu behördliche Genehmigungen einzuholen.

Nach Ende der Nutzungsphase bzw. am Lebensende des Gebäudes ist grundsätzlich zu überprüfen, ob eine Sanierung erfolgen kann und ökologisch sinnvoll ist und über diese Form der Bedarfsanpassung ein Rückbau des Gebäudes vermieden und dessen Lebenszeit verlängert werden kann.

### 5.3. Fachliche Anwendung Ökobilanz

Die angewendete LCA-Methodik basiert sich auf den Normen ISO 14040/14044 (DIN, 2009; DIN, 2006), EN15804 (DIN, 2012) und EN15898 (DIN, 2014) und die vordefinierten Designs basieren auf dem Designkatalog DIN EN 18599 (DIN, 2018).

Grundlegende verfügbaren Datenbanken beinhalten generische (Ökobau.dat) sowie spezifische Umweltinformationen (EPDs).

Die Ökobau.dat ist eine öffentlich zugängliche Plattform und Umweltdatenbank, die Stand heute etwa 1.200 Datensätze für Baustoffe und -produkte umfasst und Informationen rund um die Ökobilanzierung von Gebäuden beinhaltet. Sie wird vom BMUB herausgegeben und bis zu zweimal jährlich aktualisiert. Ziel der Ökobau.dat ist es, vereinheitlichte und qualitativ hochwertige Daten kostenlos für die Lebenszyklusanalyse von Gebäuden zur Verfügung zu stellen.

EPDs (Environmental Product Declarations nach EN 15804) vermitteln Daten über die Umweltleistung von Produkten. EPDs beinhalten einen definierten Grunddatensatz, der den Beitrag der Baustoffherstellung zu wichtigen Umweltwirkungen wie Ressourcenverbrauch. Eine EPD legt die umfassende Bilanz der Umweltwirkungen offen, die insgesamt mit der Produktherstellung verbunden sind; sie ist nicht auf das Werksgelände beschränkt.

Aus beiden Möglichkeiten würden Umweltindikatoren nach EN15804 (DIN 2012) berücksichtigt, die für eine Einreichung bei DGNB relevant sind. Die entsprechen das Kriterium „Ökobilanz des Gebäudes“ nach DGNB System 2018, d.h. Umweltemissionen (GWP, ODP, ADP, EP, AD, ADPF) und Energieverbrauch (PEne, PEtot, PEe/PEtot).

Auf die Basis von solchen Informationen wurden Konstruktionen, TGA Elemente und Gebäude modelliert und ausgewertet (Abschnitt 5.5) während des gesamten Lebenszyklus. Die berücksichtigte Lebenszyklusmodule sind die folgende nach EN 15804 (DIN 2012):

- A1-A3, Rohstoffversorgung, Transport, Fertigung.
- B4, Renovierung und Sanierung
- B6, Energieverbrauch während Gebäudebetrieb
- C, Lebensende und
- D Gutschriften.

Wenn eine vollständige Ökobilanz nicht möglich ist, wurden Umweltbenchmark ermittelt. Zur Optimierung von bestimmten Konstruktionen würden beide „Top-Down“ und „Bottom-Up“ Benchmarks adressiert.

- Top Down Benchmarks sind Referenz-, Ziel- und Grenzwerte, wie adressiert von zuständigen Behörden und relevant in dem ersten Entscheidungsprozess.
- „Bottom-Up“ Werte wurden aus bereits modellierte Beispiele in dem SBA-Tool. Die basieren sich auf existierende Konstruktionen und Elemente (praxis-basiert) und können die Planung optimieren (Hollberg u.a., 2019).

Anhand des entwickelten Phasenmodells (vgl. Kapitel 5.2) können die oben beschriebenen LCA-Methoden zugeordnet werden und damit entsprechende Informationsbedarfe im Planungsprozess und im Lebenszyklus für eine planungsbegleitende Anwendung der Methoden definiert werden (siehe Abbildung 16).

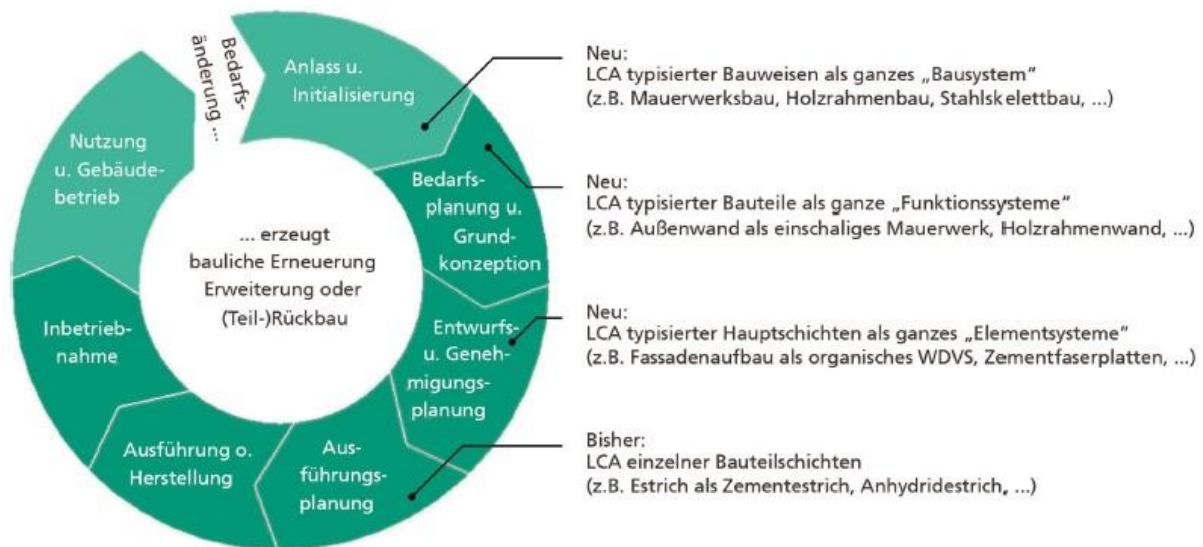


Abbildung 16: Modell der Konkretisierungs-Phasen im Planungsprozess und Lebenszyklus (Quelle: BLM)

Diese Phasenstruktur stellt qualitativ differenzierbare Konkretisierungsstufen der semantischen Gebäudeinformationen dar, bei der die Projektphasen (dunkel schattiert) werden in einen kontinuierlichen Entwicklungsprozess eingebunden. Mit der zyklischen Anordnung ist der fortlaufende Charakter dieser Planung-, Umsetzungs- und Nutzungsaktivitäten zu verstehen.

## 5.4. Schnittstelle

### 5.4.1 BIM2LCA4IP IDM

Ausgehend von dem normbasierten Vorgehen zur Erstellung einer IDM wurde im Projektrahmen ergänzt durch die im Methodenkapitel dargelegten Aspekte die BIM2LCA4IP IDM umgesetzt. Im Folgenden werden die einzelnen Abschnitte und Komponenten der IDM dargestellt.

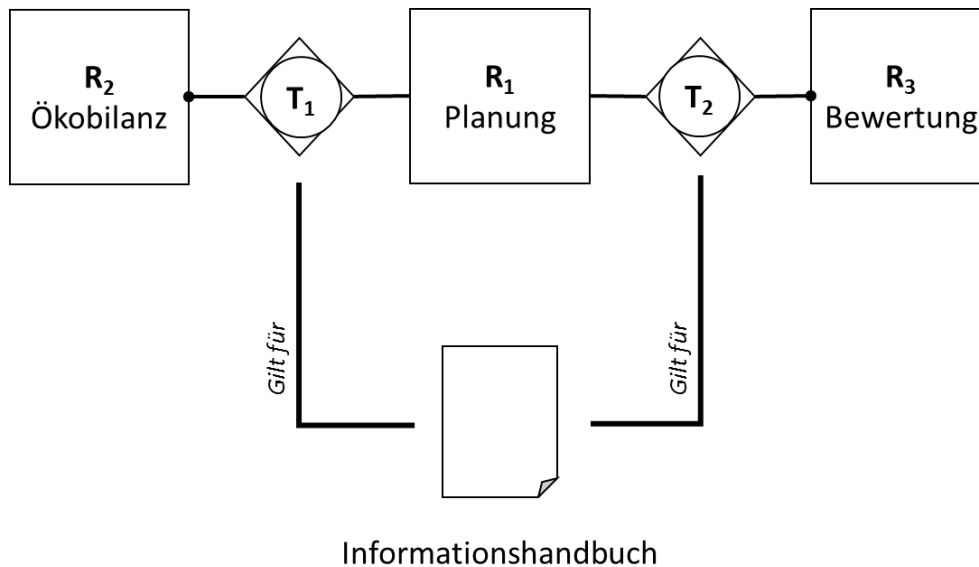
#### Der BIM2LCA4IP Geschäftskontext (generalisiertes Interaktionsdiagramm)

Der Geschäftskontext leitet sich aus dem Lösungsansatz des Projektantrages (vgl. Abbildung 2, Abbildung 10) ab. Abbildung 21 zeigt den BIM2LCA4IP Geschäftskontext normbasiert notiert als rollenbasiertes Interaktionsdiagramm (vgl. ISO, 2016, S. 11).

In diesem Geschäftskontext erfordert die Interaktion zwischen drei gemäß ihrer Tätigkeit bestimmten Rollen (R1, R2 und R3) in den Transaktionsstellen (T1 und T2) das im vorliegenden Dossier aufbereitete IDM.

Generell beauftragt in dem Geschäftskontext ein planender Akteur (Rolle 1) einen Experten auf Seiten der Ökobilanz (Rolle 2) eine Dienstleistung zu liefern. Die Transaktion T1 steht in diesem Kontext einerseits für die vom Auftraggeber (Rolle 1) als Grundlage der Ökobilanz benötigten Informationen zum Planungsgegenstand. Andererseits für die Lieferung der Ergebnisrohdaten aus der einer Bewertungsaufgabe zugrundeliegenden Ökobilanzierung durch den Dienstleister (Rolle 2).

Unabhängig ob die Rolle der Bewertung (Rolle 3) wie bei Anwendungsfällen des BIM2LCA4IP Geschäftskontexts während der Planungsphasen selbst (Ziel: Optimierung der Planungslösung) mit der des planenden Akteurs zusammenfällt (R1=R3) oder wie in späteren Anwendungsfällen beispielsweise in der Phase der Inbetriebnahme eines Gebäudes von einem externen Bewertungsexperten (R2=R3, e.g. DGNB Auditor) ausgefüllt wird, steht die Transaktion T2 für die Informationsübergabe der Ergebnisrohdaten der Ökobilanz an die diese verwertende Bewertungsseite.



**Abbildung 21 Geschäftskontext BIM2LCA4IP**

Rollen:

- R1 – formuliert den Auftrag (Initiator) an die Ökobilanz resp. Bewertung
- R2 – erfüllt den Auftrag (Ausführender) zur Ökobilanzierung (eines Bauwerks bzw. einer Planungslösung)
- R3 – erfüllt den Auftrag (Ausführender) einer Bewertung (eines Bauwerks bzw. einer Planungslösung)

Transaktionen:

- T1 – Initiator stellt Informationen zum (Planungs-)Gegenstand der Ökobilanzierung bereit, Ausführende liefert die Ergebnisse der entsprechenden Ökobilanz als LCA-Rohdaten
- T2 - Initiator stellt Fragestellung und Ergebnisse einer entsprechenden Ökobilanz als LCA-Rohdaten bereit, Ausführender liefert ein Bewertungsergebnis (Benchmark, Variantenvergleich, Zertifikat etc.)

### **Betrachteter fachlicher Umfang – Fokus auf drei Anwendungsfälle der Schnittstelle**

Mit dem generalisierten Interaktionsdiagramm (Abbildung 21) wurde der avisierte Geschäftskontext der Schnittstellenentwicklung normbasiert definiert. Das dadurch aufgespannte umfängliche fachliche Spektrum möglicher Anwendungskontexte erfordert es zur Realisierung eines praxistauglichen Datenaustauschformates auf eine im Forschungsprojekt handhabbaren Umfang im Rahmen geeigneter Datenaustauschszenarios abzugrenzen. Die mit dem Lösungsansatz avisierte (technische) Entwicklungszielstellung gliedert sich in zwei thematische Bereiche an denen die erarbeiteten Szenarien ausgerichtet wurden – Datenaustausch zur planungsbegleitenden Entscheidungsunterstützung einerseits und Datenerhebung zum umgesetzten Bauwerk für die Zertifizierung andererseits. Die möglichen Akteurskonstellationen sowie informationstechnischen Anforderungen dieser Bereiche fallen sehr unterschiedlich aus. Auf der einen Seite stehen dabei am Ende der Planung bzw. zu Beginn der Umsetzung klare Informationsbedarfe für einen durch die Schnittstelle zu optimierenden Prozess der – as-built – Datenerfassung des Bauwerks für die Zertifizierung. Mit der avisierten Bewertung des Bauwerks steht zudem eine klare Zielstellung der Anwendung von ökobilanziellen Hilfsmitteln und somit ein klar definiertes Rahmen der Anwendung und der zu entwickelnden Datenschnittstelle fest. Auf der anderen Seite stehen unklare Fragen einer



Generalisierbarkeit planungsbegleitender Informationsbedarfe zu jeweils zweckdienlich gemäß dem Konkretisierungsstand der Planung einzusetzender LCA Methoden für eine Optimierung des Planungsgegenstandes. Aufgrund der Verschiedenartigkeit von Planungssituationen sowie der unterschiedlichen Arten möglicher Entscheidungsunterstützungen in den frühen Phasen: handelt es sich eine LCA-basierte Zielbestimmung für das (noch) zu planende Objekt (e.g. in der Bedarfsplanung) oder sind es bereits initiale Lösungsvorschläge für das Objekt selbst, die beispielsweise durch erste Variantenvergleiche unterstützt werden können.

Um im Sinne des Projektziels eine vereinheitlichte, durchgängige Schnittstelle für beide Bereiche spezifizieren zu können, wurde eingangs bezüglich der Informationsgranularität die Systematik (vgl. Abbildung 13) als konzeptioneller Unterbau der zu konkretisierenden (praxisnahen) Anwendungsebene vorgestellt. Mittels dieser gestuften Konzeption lassen sich sowohl bezüglich der Informationsdichte wie auch dem Adressaten/ der Zielgruppe die LCA-bezogenen Daten klassifizieren und einordnen. Damit ein Mehrwert der Schnittstelle über den Planungsverlauf aufgezeigt werden kann, werden anstelle der im Rahmen einer IDM geforderten Darstellung des konkreten Datenaustauschprozesses in *einem* (generalisierten) Prozessdiagramm drei Anwendungsfälle zu unterschiedlichen Phasen dargestellt.

Gemäß dem in Kapitel 4.3 dargestellten methodischem Vorgehen konnte für diese an verschiedenen Stellen im Verlauf des Planungsprozesses angesetzten Anwendungsfälle eines modellbasierten BIM zu LCA bzw. zu SBA Datenaustausches eine IDM erstellt werden. Im ersten Teil wurden die konkreten Datenaustauschprozesse spezifiziert und formal im BPMN Standard als Prozessdiagramme notiert. Zu den darin dargestellten Datenübergaben zwischen den ebenfalls designierten Akteuren wurden die gesammelten Informationsbedarfe der zu übergebenden Eingabe- bzw. Ergebnisdaten der LCA respektive SBA Werkzeuge in einer Gesamttabelle zusammengeführt. Hierbei wurden die gesammelten Inhalte neben ihrer Zuordnung zu den drei Anwendungsfällen auch weitergehend fachlich bezüglich ihrer Rolle in der Ökobilanzmethode klassifiziert (vgl. Erarbeitungsmethode in Kapitel 4.3).

### **IDM-Komponente Prozessdiagramm**

Die formalen IDM-Komponenten zu den Prozessbeschreibungen wurden entgegen der zusammengeführten Datenanforderungstabelle (vgl. folgenden Abschnitt) aufgrund einer besseren Lesbarkeit sowie ihrer beabsichtigten Entkopplung in einzelnen eigenständigen Diagrammen notiert. Vor dem Hintergrund der synthetisierten Informationsbedarfe der drei Anwendungsfälle wäre zwar auch eine direkte Ankopplung der drei Anwendungsfälle möglich. Da es sich jedoch bei den ersten beiden um Entscheidungshilfen bei Konkretisierung und Beurteilung möglicher LCA-bezogener Zielstellung für das zu planende Bauwerk und bei dem letzten um einen Anwendungsfall zur Nutzung konkreter Planungsobjektdaten als Grundlage der LCA-Werkzeuge erscheint dies aufgrund der großen Vielzahl an unterschiedlichen Planungsverläufen nicht zielführend generalisiert darstellbar.

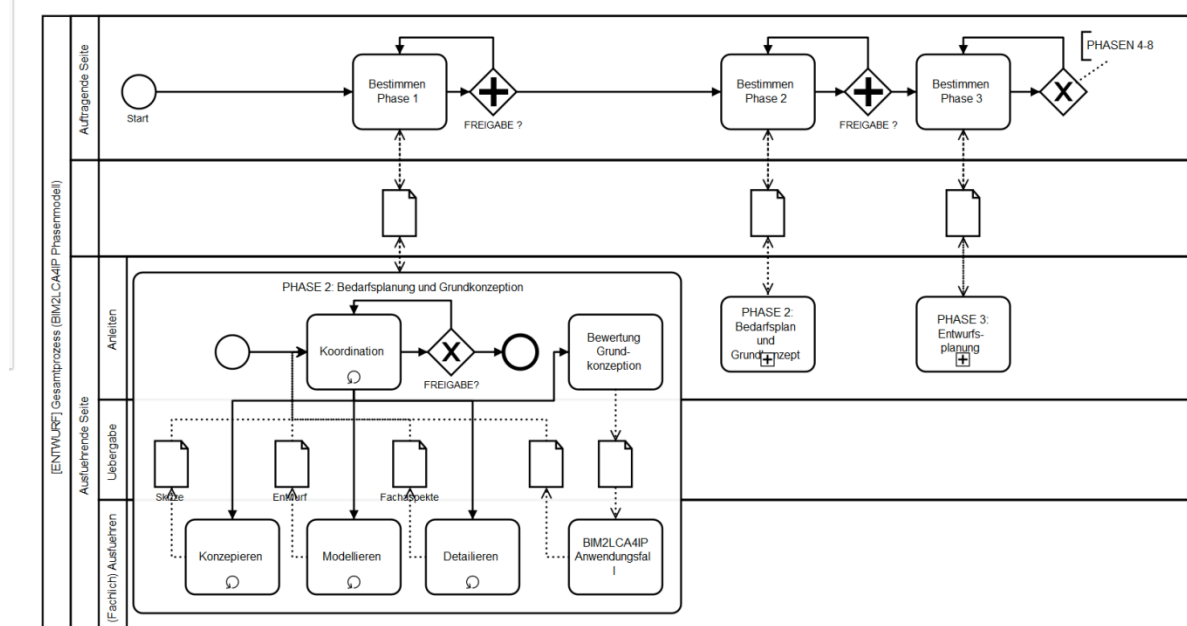
### **Prozessdiagramm (ER) „Anwendungsfall Beurteilung Phase 01“**

### **Übersicht**

*Die folgende Übersicht zeigt eine generalisierte Anbindung der LCA bzw. Bewertungs(sub)prozesse an die übergeordnete Phasenstruktur. Der dabei in der Phase Anlass und Initialisierung angesetzte, detaillierte Prozesskasten, beschreibt prinzipielle, iterative Schritte einer operativen (Fach-) Ebene, die von einem zentralen, fortlaufenden Prozessschritt der „Koordination“ orchestriert werden. Ein dabei zusätzlich dargestellter Prozessschritt zur Optimierung der Planungsidee repräsentiert einen beliebigen Zeitpunkt in der Phase an dem mittels der Schnittstelle Informationen aus der operativen Ebene über die Koordination an die Fachdisziplin der Ökobilanz zur weiterführenden*

## Umsetzung

Entscheidungsunterstützung übermittelt werden. Im Weiteren wird anhand eines exemplarischen Anwendungsfalles das DatenaustauschszENARIO in dieser Phase konkretisiert.



**Abbildung 22 Schematische Verortung Anwendungsfall Beurteilung Phase 01 im Phasenmodell**  
Konkreter Kontext des Anwendungsfalles

## Kopfdaten

Erläuterung: Name oder Titel nach den normierter Namenskonvention Tabelle 1 (siehe Tabelle 1, ISO, 2016, S. 15)

Name	Prozessdiagramm Anwendungsfall Beurteilung Phase 01
------	---

Erläuterung: Eindeutiges Zuordnungsmerkmal

Identifikation	BP-01
----------------	-------

Erläuterung: Die durch die Komponente unterstützte Projektphase

Projektphase	1	Anlass und Initialisierung	X
	2	Bedarfsplanung und Grundkonzept	
	3	Entwurfs- und Genehmigungsplanung	
	4	Ausführungsplanung	
	5	Ausführung / Herstellung	
	6	Inbetriebnahme	
	7	Nutzung / Gebäudebetrieb	
	8	Bedarfsanpassung	

## Beschreibung beteiligter Rollen (im Prozessdiagramms jeweils in eigener BPMN „Schwimmbahn“)

- Initiator (Leitungsebene – Auftragende Seite) – eine fachliche Beratung anfordernde Rolle / Entscheidungsträger (Projekt initialisieren: ja? nein?) im primären Prozess
- (Daten-) Übergabe
- Exekutiv (Führungsebene – Auftragnehmer Seite) – beratende Rolle mit Expertise im Nachhaltigen Bauen (fachliche Beratung)
- (Daten-) Übergabe

- Operative (Fachebene – ausführende Seite) anwendende Rolle von LCA Methoden für Entscheidungsgrundlagen (Fachplanung)

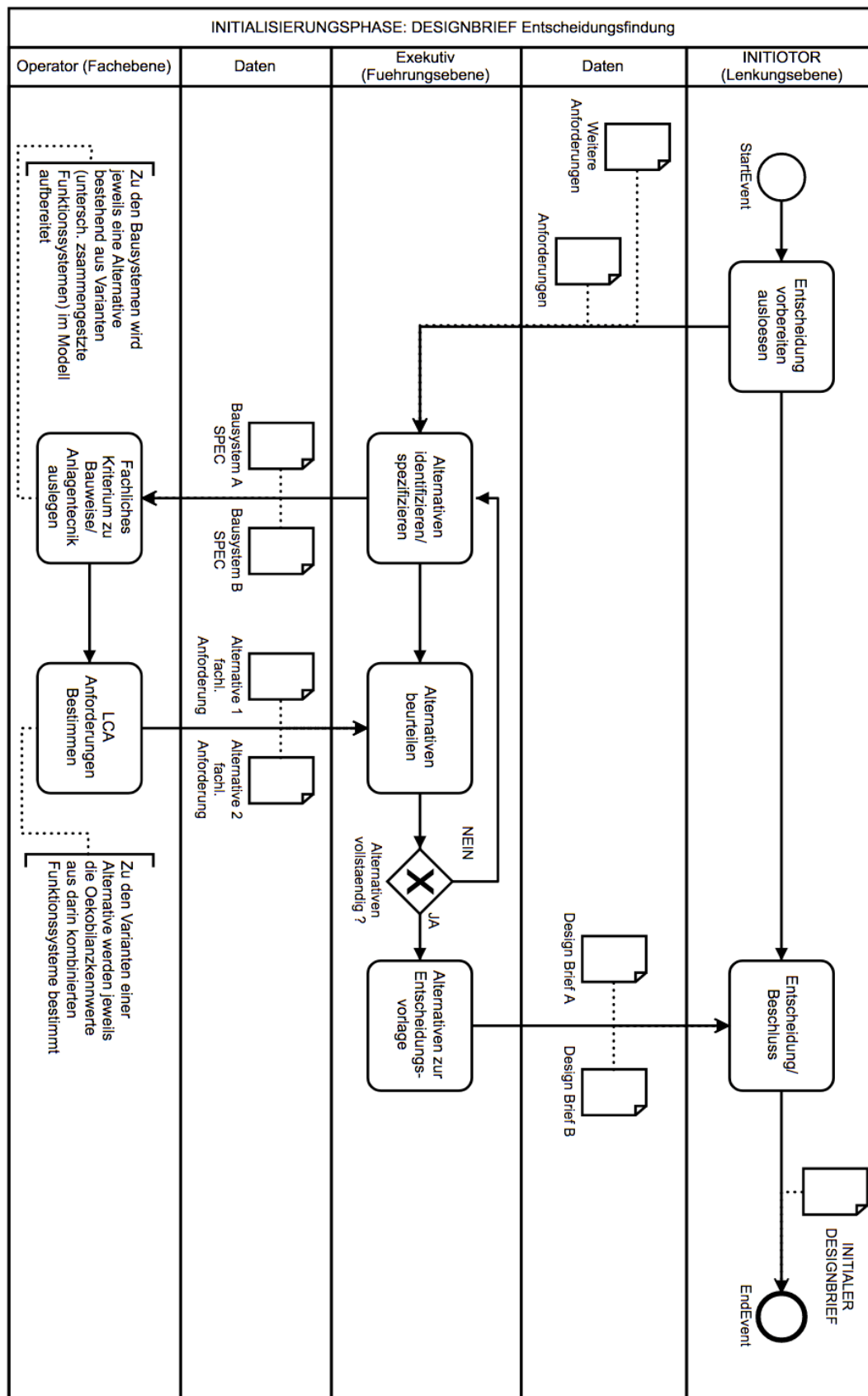


Abbildung 23 Anwendungsfall Beurteilung Phase 01 – „Initialer Designbrief“

## Prozessdiagramm [Arbeitstitel] „Anwendungsfall Beurteilung Phase 02“

### Übersicht (vgl. generelle Übersicht aller Prozessdiagramm IDM-Komponenten)

Erläuterung: Die folgende Übersicht zeigt eine generalisierte Anbindung der LCA bzw. Bewertungs(sub)prozesse an die übergeordnete Phasenstruktur. Der dabei in der Phase Projektentwicklung angesetzte, detaillierte Prozesskasten, beschreibt prinzipielle, iterative Schritte in der Planungsebene, denen ein zusätzlicher Prozessschritt zur Optimierung der Planungslösung angegliedert ist. Vom zentralen, fortlaufenden Prozessschritt der „Koordination“ kann dieser angefügte Schritt dann – zu noch zu spezifizierenden Zeitpunkten – angeschoben werden.

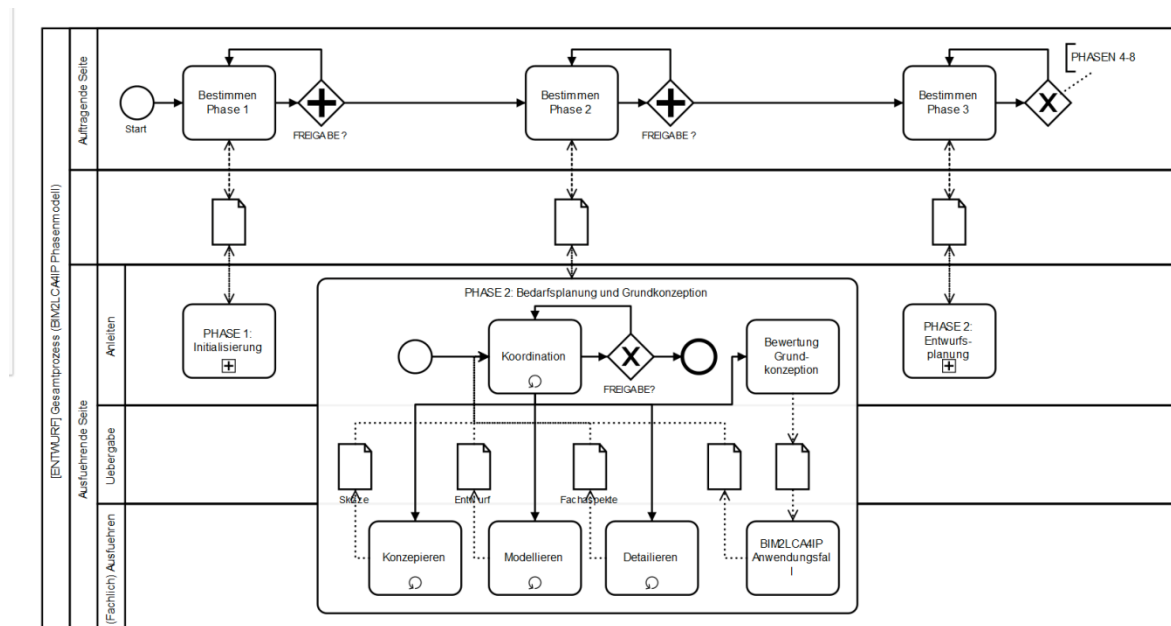


Abbildung 24 [Platzhalter] Anknüpfung AF Beurteilung Phase 02

### Kopfdaten

Erläuterung: Name oder Titel nach den normierter Namenskonvention Tabelle 1 (siehe Tabelle 1, ISO, 2016, S. 15)

Name	Prozessdiagramm Anwendungsfall Beurteilung Phase 02
------	---

Erläuterung: Eindeutiges Zuordnungsmerkmal

Identifikation	BP-02
----------------	-------

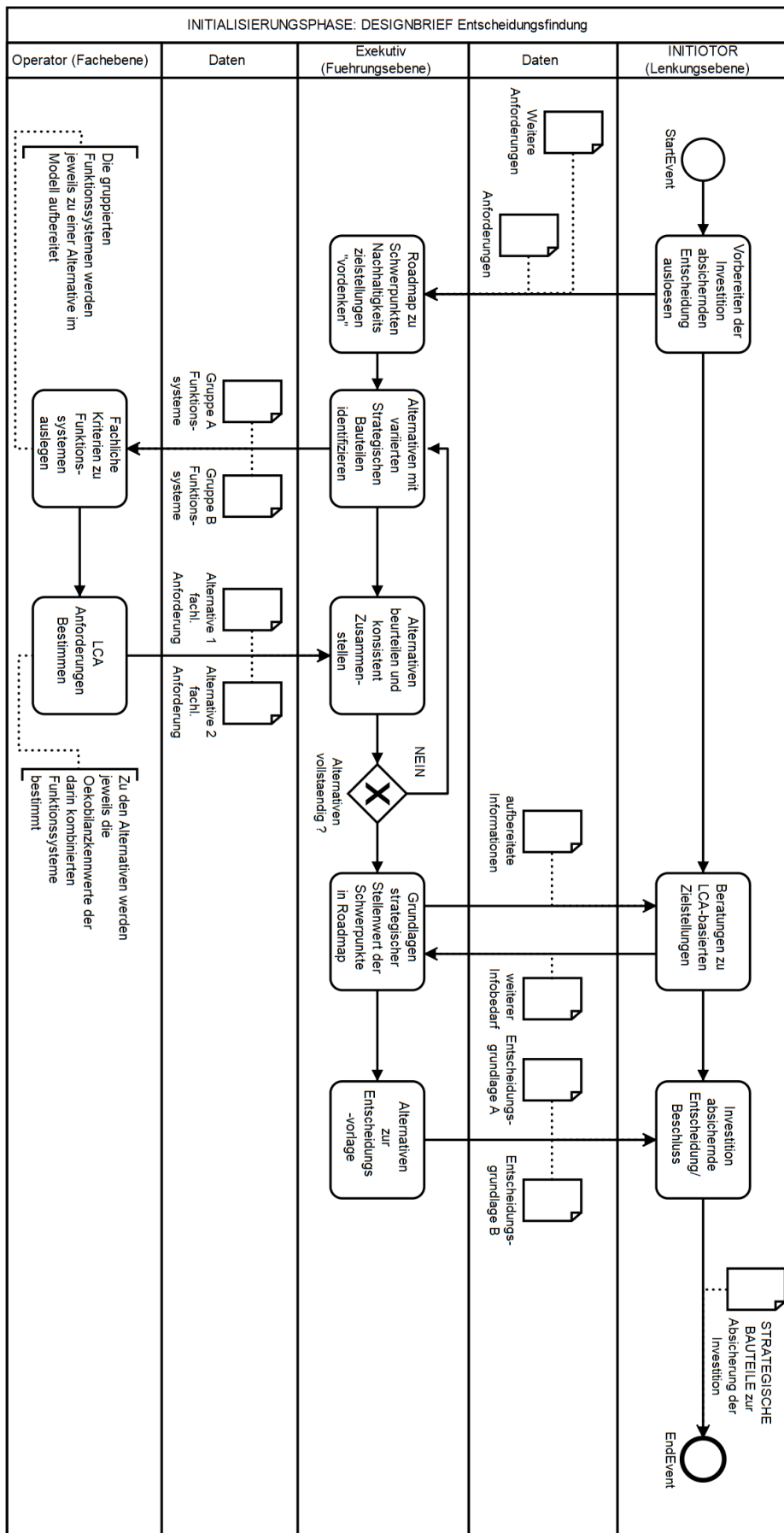
Erläuterung: Die durch die Komponente unterstützte Projektphase

Projektphase	1	Anlass und Initialisierung	
	2	Bedarfsplanung und Grundkonzept	X
	3	Entwurfs- und Genehmigungsplanung	
	4	Ausführungsplanung	
	5	Ausführung / Herstellung	
	6	Inbetriebnahme	
	7	Nutzung / Gebäudebetrieb	
	8	Bedarfsanpassung	

Änderungsprotokoll		
2017-08-10	Grundlage: Datenbedarfe zu verschiedenen Zeitpunkten	JG
2017-09-04	Erstellt (Platzhalter Diagramm)	SE
2018-02-10	Prozessdiagramm Anwendungsfall Phase 2	SE

**Beschreibung beteiligter Rollen (im Prozessdiagramms jeweils in eigener BPMN „Schwimmbahn“)**

- Initiator (Leitungsebene – Auftragende Seite) – eine fachliche Beratung anfordernde Rolle / Entscheidungsträger (Projekt initialisieren: ja? nein?) im primären Prozess
- *(Daten-) Übergabe*
- Exekutiv (Führungsebene – Auftragnehmer Seite) – beratende Rolle mit Expertise im Nachhaltigen Bauen (fachliche Beratung)
- *(Daten-) Übergabe*
- Operative (Fachebene – ausführende Seite) anwendende Rolle von LCA Methoden für Entscheidungsgrundlagen (Fachplanung)



## „Anwendungsfall Beurteilung Phase 03“

### Übersicht

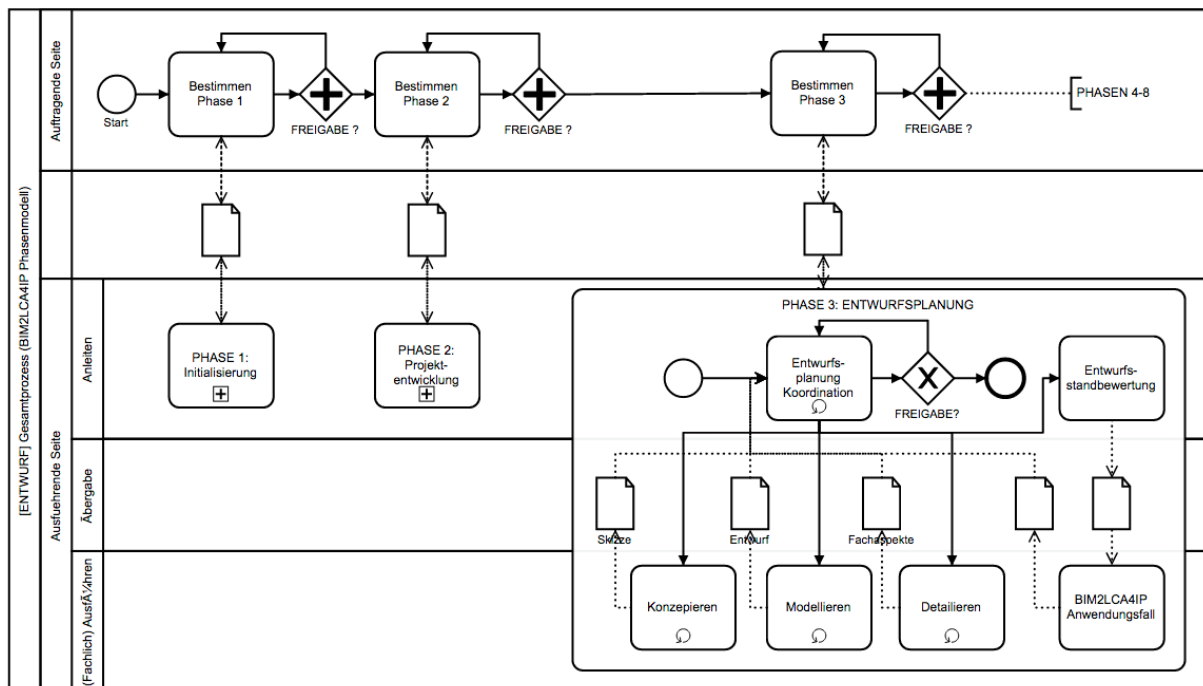


Abbildung 26 [Platzhalter] Anknüpfung AF Beurteilung Phase 03

### Kopfdaten

Name	Prozessdiagramm Anwendungsfall Beurteilung Phase 03
------	---

Identifikation	BP-03
----------------	-------

Projektphase	1	Anlass und Initialisierung	
	2	Bedarfsplanung und Grundkonzept	
	3	Entwurfs- und Genehmigungsplanung	X
	4	Ausführungsplanung	
	5	Ausführung / Herstellung	
	6	Inbetriebnahme	
	7	Nutzung / Gebäudebetrieb	
	8	Bedarfsanpassung	

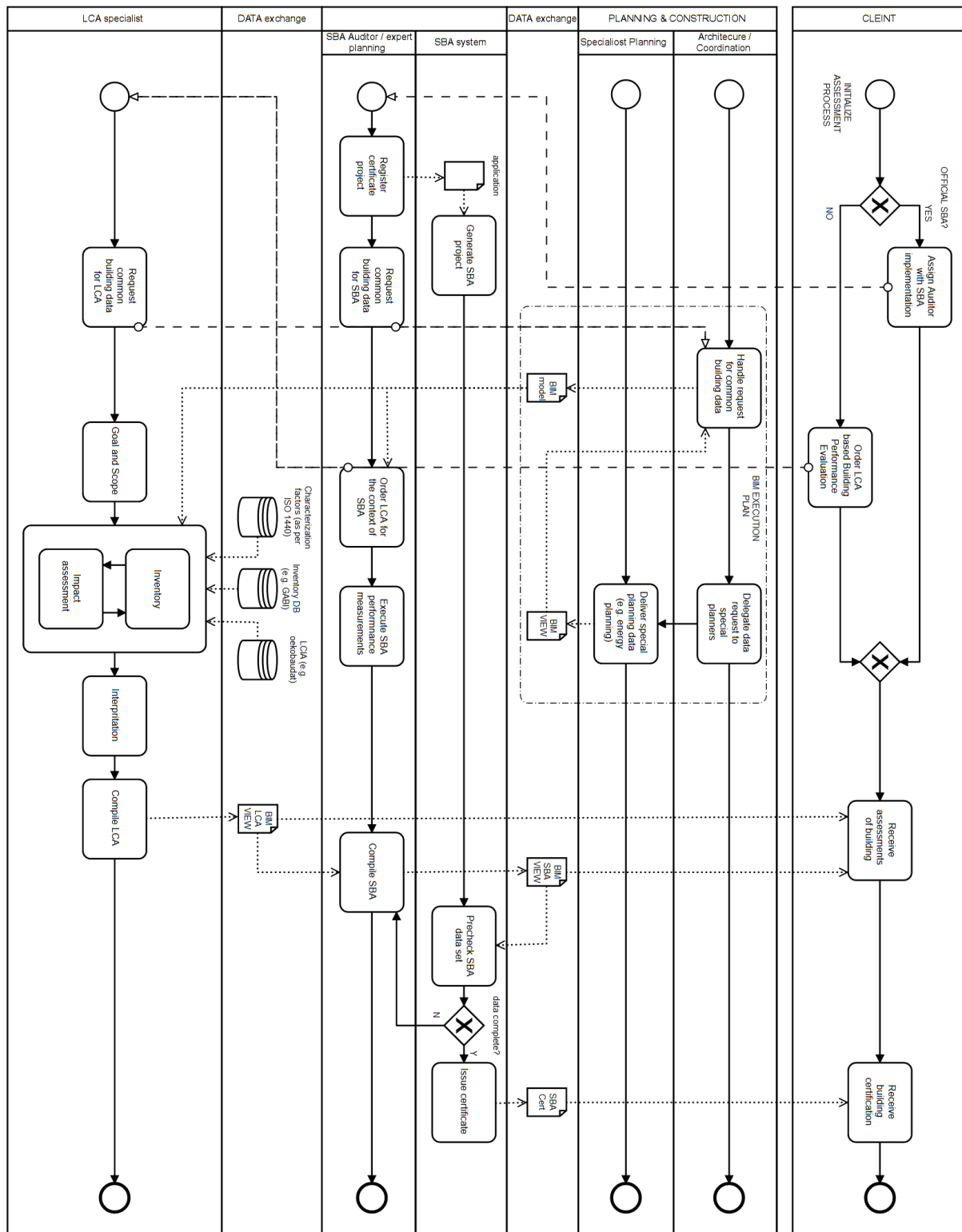
### Beschreibung beteiligter Rollen (im Prozessdiagramms jeweils in eigener BPMN „Schwimmbahn“)

- Auftraggeber (Bauherr bzw. Eigentümer)
  - Gegenstand 1 letzter Planungsstand soll gegenüber dem (vorrausgegangen nachgeführten, e.g. durch HAOI Grundleistung „Objektüberwachung“) Gegenstand 2 einer modellbasierten AS-BUILD Dokumentation der für die Ökobilanz relevanten Informationen evaluiert werden
- (Daten-) Übergabe 1 (Auftraggeber <-> Evaluation)
- Evaluation (Führungsebene)

## Umsetzung

- Ebene mit den (gezielten) Schritten zur Evaluation des letzten Planungsstandes (Werkplanung) mit dem tatsächlich (alle für die Ökobilanzierung relevanten Informationen nachgeführten) AS-BUILD Modell
- Darin werden sowohl die Schritte zur „direkten“ Beurteilung des umgesetzten Bauwerks bezüglich der Ökobilanz-basierten Zielstellung als auch ein „erweiterter“ Rahmen, wie dies als Teil der Zertifizierung (DGNB) bzw. Bewertung (BNB) zusammenspielt, dargestellt
- (Daten-) Übergabe 2 (Evaluation <-> Operative Fachebenen)
- Operative Fachebenen (Nachhaltigkeitsbewertung)
  - GGF. für die Ökobilanz bedeutsame Informationsverdichtungen im übergeordneten Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung (designiertes Beispiel ist Fragestellung zum Recycling Bauwerk/Bauteil/Material)
- (Daten-) Übergabe 3 (Evaluation <-> Operative Ökobilanz)
- Operative Ökobilanz





## IDM-Komponente Datenaustauschanforderungen

Für die in den Prozessbeschreibungen dargestellten verschiedenen Datenaustauschprozesse im Planungsverlauf zur Nutzung der Daten des sich konkretisierenden Planungsgegenstandes beim planungsbegleitenden Einsatz von LCA Werkzeugen werden im Folgenden Entwicklung entsprechender Informationsbedarfe vorgestellt. Die Idee hinter dieser zweiten umgesetzten Komponente der BIM2LCA IDM in Form einer Tabelle ist, die graduelle Entwicklung der sich konkretisierenden Gebäudedefinition entlang des Planungsprozesses bereitzustellen. Die

## Umsetzung

Bezugsachsen einer solchen Tabelle sind die Zeit, d.h. die verschiedenen Planungsphasen, und die Objektmerkmale, die mit der Entwicklung des (geplanten) Bauwerks mengenmäßig zunehmen. Als Ergebnis wird die IDM-Tabelle während der Entscheidungsfindung den oben genannten Ansatz einer aufeinander aufbauenden Informationssystematik (vgl. Abbildung 13) konsistent beschreiben. Während der Entwurfsphase werden das Bausystem, das Bauteilsystem und das Elementsystem festgelegt. Zuletzt werden alle Schichten vor der Projekteingabe definiert (Abbildung 27).

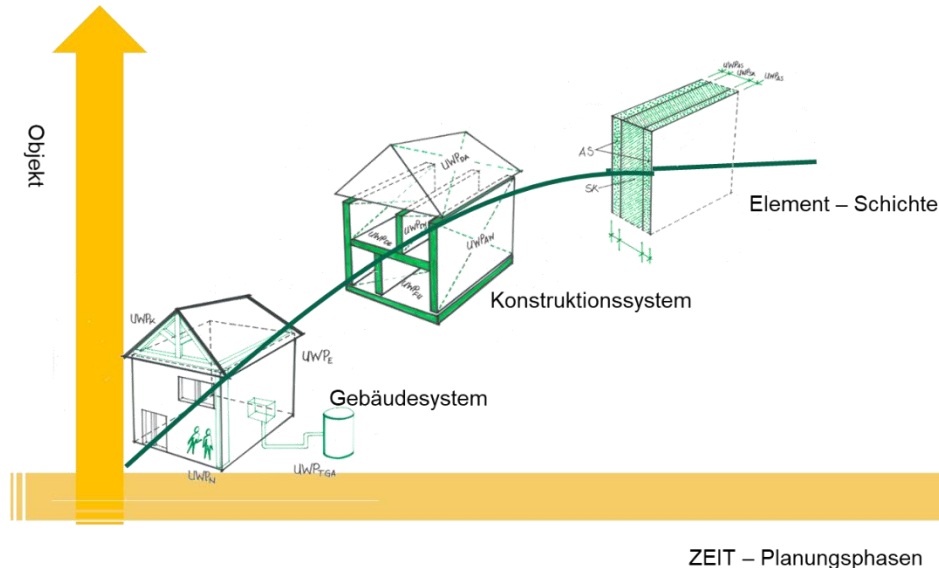


Abbildung 27 Ideelle Entwicklung von IDM von einem Objekt während Planungsprozesses.

Im IDM bezieht sich dann jeder Objekttyp auf einen der genannten Konkretisierungsstufen und weist mehrere Merkmale auf. Wenn die Informationen besonders komplex sind, werden mehrere Spezifikationen (hier Merkmale genannt) zu einem Konzept. Für jedes Merkmal enthält die IDM-Tabelle eine Beschreibung, Beispiele, Quellen und alle erforderliche Dokumentation. Abhängig vom Softwareentwicklungsprozess und vom IFC-Format, kann jedes Objekt weiter spezifiziert und durch Details und damit durch weitere Merkmale angereichert werden (siehe Abbildung 28 Abbildung 29).

				Planungsphasen			
IDM Base Table				U1: Initialization	U2: Project design	U3: Draft/execution planning	
Object type	Definition	Example and further explanation	Description of information specific to the planning phase	Obligatory	Optional	Obligatory	Optional
Project	Periods of the building under assessment		under assessment			assessment	
Contextual information	Alphanumeric data in a property set	General information in the context of evaluation	Alphanumeric data in a property set that comes directly from the .ifc file		A	Alphanumeric data in a property set that comes directly from the .ifc file	
Title	Name of the project used for internal purposes	Project L: MFL_Passive_lightweight_construction_2018_Construction I, Building, non-residential building	Short name describing the project to identify the project in the first phase	x	A	Short name describing the project to identify the project in the first and fourth phase. The identification follows from the initialization phase	
Id	Short name to identify the project during data transfer	MFL_P_LWC_001	Short name to identify the project during data transfer	x	A	Short name to identify the project during data transfer	x
Description	Optional description for the exchange of informative comments	Life cycle assessment of an apartment building that has to meet the energy standard of a passive house and is a lightweight building construction	Short description of the project to exchange comments during the initialization phase	x	A/C	Brief description of the project to exchange comments during the project development phase	x
Settings	General Settings for the Selected LCA Method		General Settings for the Selected LCA Method		B	General Settings for the Selected LCA Method	
LCA database	Description of the basic database used for the LCA in its own object, defines the database used for all generic data. All data not further specified comes exclusively from this database. REFER TO OWN ELEMENT.	Database Description (p. 10) (see also 2018)	Description of the basic database used for the LCA in its own object, defines the database used for all generic data. All data not further specified comes exclusively from this database. Remains optional	x	B/D	Description of the basic database used for the LCA in its own object, defines the database used for all generic data. All data not further specified comes exclusively from this database. In this phase it is mandatory implemented, since the environmental	x

Abbildung 28 Struktur der IDM-Tabelle

IDM Base Table				UP1_Initialization				UP2_Project design			
Object type  ... concept of a characteristic trait		Definition	Example and further explanation	Description of information specific to the planning phase	Obligatory	Optional	A: direct (FC) B: indirect (Enrichment) C: Information (mandatory) D: Information E: Result of F: Source of information	Description of information specific to the planning phase	Obligatory	Optional	A: direct (FC) B: indirect (Enrichment) C: Information (mandatory) D: Information E: Result of F: Source of information
Project		Metadata of the building under assessment		Metadata of the building under assessment				Metadata of the building under assessment			
Contextual information				Alphanumeric data in a property set that comes directly from the .ilo file.				Alphanumeric data in a property set that comes directly from the .ilo file.			
		Alphanumeric data in a property set	General information in the context of evaluation				A				A
	Table	Name of the project used for referral purposes.	Project 1 MPL_Passive_Lightweight_Construction_2018_Construction 1 Building non-residential building...	Short name describing the project to identify the project in the first phase.	X		A	Short name describing the project to identify the project in the second phase. The identification follows from the initialization phase.	X		A
	id	Short name to identify the project during data transfer	MPL_P_LW_001	Short name to identify the project during data transfer.	X		A	Short name to identify the project during data transfer	X		A
			Life cycle assessment of an apartment building that has to	Short description of the				Short description of the			

Abbildung 29 Beispiel aus IDM Tabelle.

## Umsetzung

Für jede Planungsphase (siehe Abschnitt 5.2) wird das Merkmal als bestehend oder neu klassifiziert, und in dieser Fall, als obligatorisch (muss eingegeben werden) oder fakultativ (kann eingegeben werden, Abbildung 29).

In diesem Sinne erfolgt eine Klassifizierung der Merkmale. Ein Merkmal kann klassifiziert werden als

- Direkt in die IFC eingegeben (A);
- Indirekt als weitere Bereicherung der IFC (B);

Wenn das Merkmal nicht in der IFC gefunden werden kann und weitere Informationen darstellt, wird es klassifiziert als:

- obligatorisch (C);
- oder fakultativ (D).

Beispiele für direkt eingereichte Informationen sind die geometrischen Merkmale eines Gebäudes, das Bruttovolumen, die Oberflächen und alle architektonischen Merkmale (Klasse A). In der Zwischenzeit können Datenbanken zur Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenrechnung (LCC) die IFC und folglich das realisierte BIM-Modell (Klasse B) bereichern. Merkmale der Lebenszyklusphasen der Ökobilanz, in denen die Umweltauswirkungen der Projektstufen berechnet werden, sind notwendige Informationen (Klasse C), jedoch kann z.B. der Beobachtungszeitraum der Analyse weggelassen werden, während eine Standardbeobachtungszeit von 50 Jahren in Betracht gezogen werden kann. Darüber hinaus werden Ergebnisse aus Ökobilanzen und LCC (E) und ergänzende Informationen ohne direkte Verwendung in der Ökobilanz (F) berücksichtigt (Horn, Ebertshäuser, u.a. 2020). Entsprechend dem realisierten IDM zeigt den steigenden Informationsbedarf gegenüber dem Bauplanungsprozess. Während die obligatorische Zuweisung zunimmt, insbesondere zwischen dem zweiten (Vorentwurf) und der dritten Phase (endgültiger Entwurf) verringert sich die optionale Zuordnung. Insgesamt, der endgültige Entwurf und die Durchführungsplanung (PH4) weisen keine großen Abweichungen auf. Während der Implementierung und Zertifizierung (PH1), die steigende Nachfrage nach Einträgen ist auf LCA-Ergebnisse zurückzuführen und weitere obligatorische Spezifikationen. Die verschiedenen Eingabemöglichkeiten stellen potenzielle Datenquellen dar, sowie verschiedene Ansätze zum Umgang mit den Informationselementen Abbildung 30.

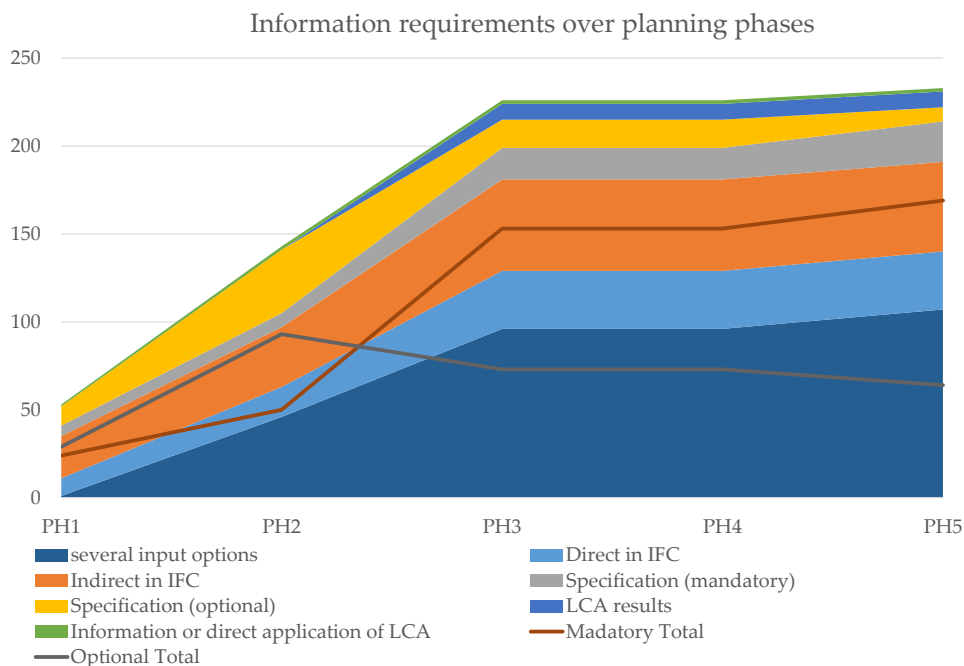


Abbildung 30 Anzahl und Art der Informationselemente während der Planungsphasen, die im vorgestellten IDM angegeben sind (Horn, Ebertshäuser et al., 2020)

### 5.4.2 BIM2LCA XSD – XML

In Rahmen des AP10 würden 2 Anwendungsbeispiele erzeugt: das erste würde angewendet zur Überprüfung und Optimierung des angewendete BIM2LCA XSD Struktur. Das wurde von einem anderen Beispiel verfolgt zur finalen Prüfung und Dissemination in Rahmen einer Publikation. Von letzteren sind zusammen mit dem XML-Instanz auch die MVD anwesend.

#### Beispiel 1: FZK Haus

Als allgemein Beispiel, mit vollständigen Informationen über Gebäudekonstruktionen und technische Anlage würde das „FZH-Haus“ betrachtet. Die Institute für Automatisierung und Angewandte Informatik entworfene das "FZK-Haus" ([http://www.ifcwiki.org/index.php?title=KIT\\_IFC\\_Examples](http://www.ifcwiki.org/index.php?title=KIT_IFC_Examples)). Dabei handelt es sich um ein Wohngebäude, das als IFC-Datei frei verfügbar ist. Das Gebäude hat ein Erdgeschoss mit Büro, Schlafzimmer, Bad und einen offenen Grundriss. Wohn-/Kochbereich, sowie ein offen gestalteter Dachboden.

Die Flächen und Volumina sind in Tabelle aufgeführt und werden nach DIN 277 ermittelt. Die Nettoraumfläche (NRF) setzt sich aus Nutzungsflächen (NUF), Technologiefächen (TF) und Verkehrsflächen (VF) zusammen. Die Bruttogeschossfläche (BGF) setzt sich aus den NRF und den Bauflächen zusammen. Die Bruttogeschossfläche (BRI) wird durch die Bruttogeschossfläche (BGF) und die Geschosshöhen bestimmt. Zusätzlich wird die nutzbare Gebäudefläche AN nach EnEV 2014 ermittelt.

NRF	192,6 m <sup>2</sup>
BGF	224,1 m <sup>2</sup>
BRI	580,7 m <sup>3</sup>
A <sub>N</sub>	185,8 m <sup>2</sup>

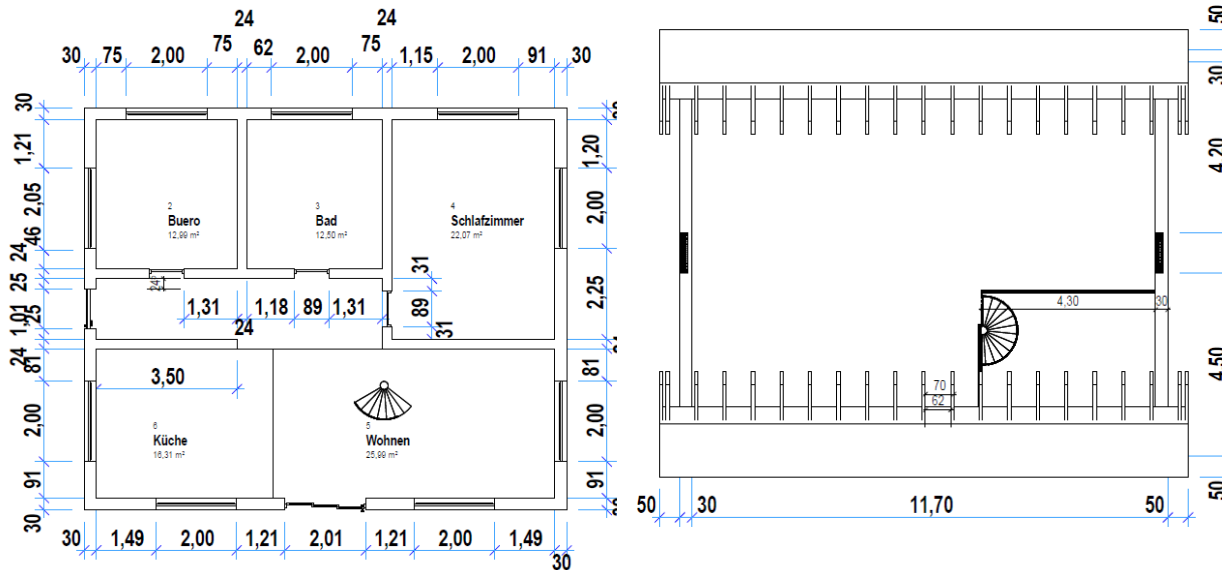
Für Bauteile oder Bauteilschichten werden einige Materialien ausgewählt: So ist beispielsweise als Material für die Außenwände nur Leichtbeton vorgeschrieben, der jedoch die Anforderungen der EnEV 2014 nicht einschichtig erfüllt, wonach Außenwände einen maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,28 W/m<sup>2</sup>K aufweisen dürfen. Daher wird in diesem Fall das bestehende Bauteil in die Schichten Leichtbeton und Dämmung aufgeteilt. An der Geometrie als Ganzes werden keine Änderungen vorgenommen, d.h. die Außenwand behält ihre Gesamtdicke, wird aber in Leichtbetonmauerwerk und Dämmschicht unterteilt. Es werden auch andere Bauteilstrukturen definiert, z.B. der Aufbau der Bodenplatte oder des Daches.

Darüber hinaus werden bauphysikalische Eigenschaften, z.B. die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile, ermittelt bzw. berechnet. Für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Fenster und Türen werden die Richtwerte nach EnEV 2014 gewählt. Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände, der Bodenplatte und des Daches werden ermittelt, indem Annahmen für die Rohdichten der Materialien getroffen und die entsprechenden Wärmeleitfähigkeiten aus DIN 4108-4 bzw. DIN EN ISO 10456 entnommen werden.

Für das Dach als inhomogenes Bauteil, d.h. Bauteil mit "unterschiedlichen Wärmedurchgangskoeffizienten", wird der Wärmedurchgangskoeffizient nach DIN EN ISO 6946 berechnet.

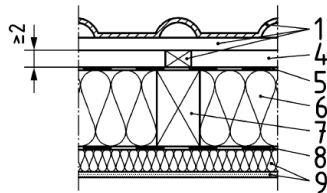
Alle die Informationen würden in den Tabellen hier zusammengefasst.

## Umsetzung



**Abbildung 31** Floor plans: a) First Floor, b) Roof

Dachstratigraphie nach DIN 4108-3: 1) belüftete Dacheindeckung (Trag- und Konterlattung); 2) unbelüftete Dacheindeckung mit zusätzlicher belüfteter Schicht (Konterlattung, Schalung und Abdeckfolie); 3) Dachabdichtung mit zusätzlicher Luftschicht; 4) Luftschicht; 5) Zusatzmaßnahme zur Abdichtung; 6) Zwischensparrendämmung; 7) Sparren; 8) Damppfiffusionsschicht; 9) Inneneindeckung mit Unterkonstruktion und Dämmung.



### Legende

- 1 belüftete Dachdeckung (Dachdeckung auf Trag- und Konterlattung)
- 2 nicht belüftete Dachdeckung mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht (Deckung auf Konterlattung, Schalung und Vordeckung)
- 3 Dachabdichtung mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht (Dachabdichtung auf Konterlattung und Schalung)
- 4 belüftete Luftschicht
- 5 regensichernde Zusatzmaßnahme, Unterdeckbahn
- 6 Zwischensparrendämmung
- 7 Sparren
- 8 Schicht zur Begrenzung des Diffusionsstroms
- 9 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

**Abbildung 32**

Fußbodenstratigraphie: 1) Zementestrich (60mm); 2) EPS 045 (20mm); 3) Hartschaum, PUR, folienkaschiert (80 mm); 4); 5) Beton (250 mm); 6) XPS-Schicht (160 mm); 7) PE-Folie (0,2 mm); 8) körniger Untergrund (10 mm); 9) Boden.

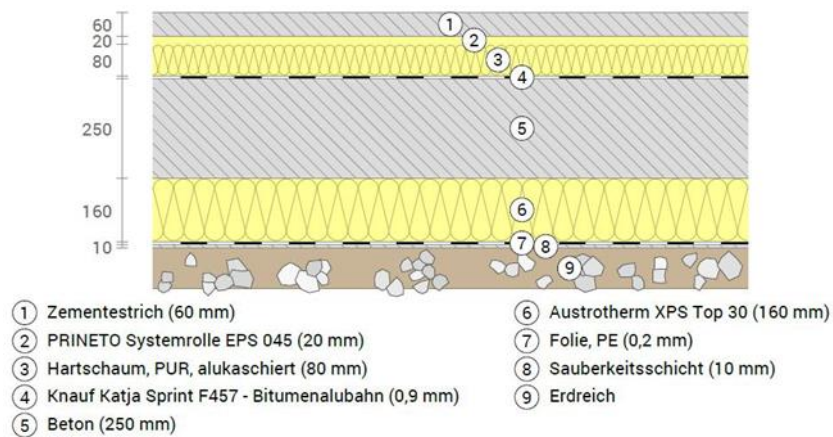


Abbildung 33

	Bauteil/ Schicht	Fläche [m²]	Volumen [m³]	Material	Getroffene Annahmen/ Ergänzungen der IFC:
KG 320	Decke an Erdreich		49,44*		Annahme Aufbau Bodenplatte
	Estrich*		6,0	Zement	
	Trittschalldämmung*		1,2	EPS-Hartschaum	
	Dampfbremse*		0,12	Polyethylen	
	Betonplatte*		24,0	C20/25	Inkl. Bewehrung
	Abdichtung*		0,12	Polyethylen/ Propyläen	
	Dämmung*		12,0	XPS	
	Sauberkeitsschicht*		6,0	Kies	
KG 330	Außenwand	144,26	41,52		Ergänzung einer Dämm- und Außen-/ Innenputzschicht
	Mauerwerk	113,89	32,78	Leichtbeton	
	Wärmedämmung*	28,47	8,19	Polyurethan	
	Außenputz*	1,42	0,41	Leichtputz	
	Innenputz*	0,47	0,14	Leichtputz	
	Fenster	115,85*			4m Holzrahmen pro m² Fenster; Annahme Isolierglas
	Holzrahmen	92,68		Holz	

# Umsetzung

	Glas*	23,17		2-Scheiben Isolierglas	
	Haustür	2,03		Stahl*	Annahme Material Haustür
	Terrassentür	4,76		Holzrahmen, 2-Scheiben-Isolierglas*	4m Holzrahmen pro m² Fenster; Annahme Isolierglas
KG 340	Innenwand	54,81	13,16	Leichtbeton	
	Innentüren	5,31		Holz	
KG 350	Geschossdecke	99,84			Annahme Aufbau Geschossdecke
	Zementestrich*	99,84		Zement	47 kg pro m²
	Dämmung*	99,84		Mineralwolle	
	Innenputz*	99,84		Kalk-Gips	
	Betondecke*	99,84		Porenbeton	Inkl. Bewehrung
	Treppe	1,54*	0,14*	Holz	
KG 360	Steildach	165,08			Annahme Aufbau Dach
	Dachziegel*		1,65		
	Lattung*		0,36	Kiefer	
	Konterlattung*		0,23	Konstruktionsvollholz	
	Unterspannbahn*		0,17	Polyethylen	
	Dämmung*		26,41	Mineralwolle	
	Sparren	3,402		Kiefer	
	Pfetten	0,498		Konstruktionsvollholz	
	Dampfbremse*		0,17	Polyethylen	
	Glas*	23,17		2-Scheiben Isolierglas	



	Haustür	2,03		Stahl*	Annahme Material Haustür
	Terrassentür	4,76		Holzrahmen, 2-Scheiben-Isolierglas*	4m Holzrahmen pro m² Fenster; Annahme Isolierglas
KG 340	Innenwand	54,81	13,16	Leichtbeton	
	Innentüren	5,31		Holz	
KG 350	Geschossdecke	99,84			Annahme Aufbau Geschossdecke
	Zementestrich*	99,84		Zement	47 kg pro m²
	Dämmung*	99,84		Mineralwolle	
	Innenputz*	99,84		Kalk-Gips	
	Betondecke*	99,84		Porenbeton	Inkl. Bewehrung
	Treppe	1,54*	0,14*	Holz	
KG 360	Steildach	165,08			Annahme Aufbau Dach
	Dachziegel*		1,65		
	Lattung*		0,36	Kiefer	
	Konterlattung*		0,23	Konstruktionsvollholz	
	Unterspannbahn*		0,17	Polyethylen	
	Dämmung*		26,41	Mineralwolle	
	Sparren	3,402		Kiefer	
	Pfetten	0,498		Konstruktionsvollholz	
	Dampfbremse*		0,17	Polyethylen	
	Holzschalung*	131,64		Konstruktionsvollholz	
	Verkleidung*	131,64		Gipskarton	

## Umsetzung

<b>KG 420</b>	Pufferspeicher*				Annahme Pufferspeicher
	Dämmung*		0,38	XPS	
	Pufferspeicher*			Edelstahl	1 m³ Tankvolumen = 144,1 kg
	Strom-Wärmepumpe (Luft-Wasser)				Annahme Wärmepumpe mit 10 kW
	Rohre*			Stahl	
	Dämmung Rohre*		0,001	XPS	
	Heizkörper*			Stahl	495,26 kg
	Strom-Wärmepumpe*				

**Tabelle 4 Bauteile und ihre Wärmedurchgangskoeffizienten**

	Bauteil	U-Wert [W/m²K]	Anmerkung
<b>KG 320</b>	Decke an Erdreich	0,23	
<b>KG 330</b>	Außenwand	0,25	
<b>KG 330</b>	Fenster	1,3	Entspricht Referenzwert aus EnEV 2014
<b>KG 330</b>	Haustür	1,8	Entspricht Referenzwert aus EnEV 2014
<b>KG 330</b>	Terrassentür	1,3	Entspricht Referenzwert aus EnEV 2014
<b>KG 360</b>	Steildach	0,22	

**Tabelle 5 Bauteile und ihre Wärmedurchgangskoeffizienten (2)**

	Gesamt	Heizen	Trinkwarmwasser	Kühlung	Beleuchtung	Lüftung *	Hilfsenergie **	Ausstattung
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
großes Einfamilienhaus	152,10	117,60	11,10	0,00	2,61	0,00	2,55	18,25
Strom	74,38	39,88	11,10	0,00	2,61	0,00	2,55	18,25
Geothermische Energie	77,72	77,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gesamt</b>	<b>152,10</b>	<b>117,60</b>	<b>11,10</b>	<b>0,00</b>	<b>2,61</b>	<b>0,00</b>	<b>2,55</b>	<b>18,25</b>

	Gesamt	Heizen	Trinkwarmwasser	Kühlung	Beleuchtung	Lüftung *	Hilfsenergie **	Ausstattung
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
großes Einfamilienhaus	173,65	126,13	20,38	0,00	2,61	3,40	2,88	18,25
Strom	27,14	0,00	0,00	0,00	2,61	3,40	2,88	18,25
Öl	146,51	126,13	20,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Gesamt</b>	<b>173,65</b>	<b>126,13</b>	<b>20,38</b>	<b>0,00</b>	<b>2,61</b>	<b>3,40</b>	<b>2,88</b>	<b>18,25</b>

**Abbildung 34 Energiebedarf von Fallbeispiel Gebäude (links) und EnEV 2014-Referenzgebäude (rechts) durch Verbraucher**

Die gesammelten Informationen würden in einer XML-Instanz von element <projekt> element abgebildet.

Die Optimierung des finalen Schemas hat die Feedbacks aus DGNB befolgt (siehe Abschnitt 0). Das finale XSD und XML Instanz beinhaltet daher eine <DGNBdata> Element.

### 5.4.3 BIM2LCA MVD

Die vorgestellten Entitäten des LCA-fokussierten XML-Schemas bilden die Basis für die Normalisierung in den offenen BIM-Standard-IFC. Für das Verbindungselement <Lebenszyklus> (vgl. Abbildung 10) im Kern des Schemas sowie das technische Konzept zur (optionalen) Externalisierung bestimmter ausgetauschter Daten in der definierten Schnittstelle in ein webbasiertes Datenwörterbuch werden die jeweiligen Entwicklungen beispielhaft dargestellt.

In Abbildung 11 sind die verschiedenen informativen Teile dargestellt, die innerhalb eines Bewertungsrahmens zur Analyse eines Gebäudes oder eines seiner Teile erforderlich sind. Neben den eher Ökobilanz-spezifischen Bereichen der Festlegung der jeweiligen Ziele und der Bewertung der Auswirkungen sowie der Interpretation wird im Schritt der Bestandsanalyse eine große Gemeinsamkeit des Informationsbedarfs mit der Planungsseite geteilt. Der gleiche Informationsbedarf wie der LCA-Eingang kann beim Prozess des Mengenabzugs gefunden werden, z.B. im Rahmen der Kostenschätzung oder Materialisierung. Daher kann die Abbildung von Mengen über das <lifecycle> -Element mit dem entsprechenden IfcQuantity-Konzept vollständig realisiert werden. Nach diesem ersten Schritt der Normalisierung werden alle Teile des strukturierten Datenobjekts neu berücksichtigt und wenn möglich direkt mit den jeweiligen Darstellungskonzepten in IFC abgeglichen. Dieser Abgleich wird erreicht, indem die oben beschriebene neutrale Sammlung von Informationsanforderungen im Rahmen eines IDM um weitere Spalten erweitert wird, um die entsprechenden IFC-Entitäten anzugeben. Aufgrund der Flexibilität der IFC kann der allgemeine Teil des <lifecycle> -Elements entsprechend seiner angestrebten Aggregationsebene innerhalb der Topologie eines Gebäudes relativ einfach ausgeführt werden. Somit können alle räumlichen IFC-Elemente (IfcSite, IfcBuilding, IfcSpace usw.) sowie die physischen Elemente (IfcBuildingElement und Ableitungen davon) mit dem in diesem LCA-spezifischen Objekt gekapselten Datensatz erweitert werden. Durch Platzieren des Datensatzes in der Bauwerkstopologie (e.g. an das Gebäudeobjekt oder an das Raumobjekt) werden auch die zuvor genannten Mengen bereits in diesem gegebenen Kontext angegeben. Wenn beispielsweise ein Lebenszyklusdatensatz auf einem zerlegten Wandelement (z. B. einem Schichtobjekt anstelle des Wandobjekts selbst) platziert wird, bedeutet dies, dass die ebenfalls benötigten Mengen aus dem geometrischen Darstellungsobjekt oder der alphanumerischen Eigenschaft (z. B. Material) erfasst werden müssen Layer Set) Daten der Wandebene. Für die Kapselung des verbleibenden Datensatzes, der nicht nativ in IFC ausgedrückt

werden kann, das im LIFECYCLE-Objekt gebunden ist, wurden zwei alternative IFC-Integrationsansätze im Rahmen der Schnittstellennormalisierungsbemühungen realisiert. Die erste Möglichkeit besteht darin, ein IfcLifecyle-Element als neue Entität im IFC-Schema zu definieren, die jeweils erforderlichen Features hinzuzufügen und den oben genannten Elementen zu ermöglichen, dieses Element zu enthalten. Die Integration von Lebenszyklusdaten in die IFC als Grundlage für den Umgang mit LCA-spezifischen Daten bietet mehr Flexibilität. Um den aktuellen enormen Aufwand, der neben der Datenerfassung erforderlich ist, um eine Ökobilanz für eine SBA zu erstellen und Daten für die Zertifizierung zu aggregieren, sofort zu vereinfachen, wurde neben dem allgemeinen Ansatz ein derzeit bereits umsetzbarer vorläufiger Ansatz auf der Grundlage der Muttersprache IFC 4 bereitgestellt. Hier kann durch Definieren eines strukturierten Satzes von Eigenschaften und Erleichtern des gegebenen IFC-Konzepts komplexer Eigenschaftssätze der benötigte LCA-spezifische Datensatz unter Verwendung von Darstellungsmethoden dargestellt werden, die bereits von heutigen Autorensystemen unterstützt werden. Dieser Ansatz kann allerdings nicht die Flexibilität bieten, die sich aus der zugrundeliegenden Konzeption der Lebenszykluselemente ergibt, diese (alternativen) IfcPropertySet-Objekte mit den verschiedenen topologischen Elementen zu verbinden, um Informationen zur Ökobilanz eines Elements anzugeben, wird ein ähnlicher Ansatz verfolgt, der statische Ökobilanz-Eigenschaftssätze für Gebäudeelemente definiert von Wastiels und Decuypere (Wastiels 2019). Die IfcComplexProperties, wie sie in der in diesem Dokument als alternative Darstellung vorgestellten Schnittstelle verwendet werden, bieten den Vorteil, dass sie die gleichen strukturellen Einrichtungen bieten, die für die Blaupause der entwickelten Lebenszykluselemente erforderlich sind, und ermöglichen daher eine einfache Konvertierung zwischen der Zwischendarstellung als Eigenschaftssatz und der vorgeschlagenen Erweiterung der IFC-Sprache mit einem (ähnlich strukturierten) IfcLifecyle-Objekt. Um den IFC-Standard für den Zweck der integrierten Ökobilanz sowie für die direkt anwendbare Zwischenform fit zu machen, werden zwei alternative Integrationspfade bereitgestellt, um das <Lifecycle>-Objekt zu normalisieren, wie es aus Sicht der Ökobilanz auf der Grundlage des IFC-Standards entwickelt wurde. Die beispielhaft dargestellte Normalisierung der LCA-spezifischen Datenanforderungen als Teil des IFC-Standards ist in ein Prinzip optional verteilter (webbasierter) Daten eingebettet, um die Benutzerfreundlichkeit in allgegenwärtigen realen Planungssituationen zu verbessern. Hier wurde der von buildingSMART auf der Grundlage des Datenwörterbuchstandards (ISO 12006-3) entwickelte Webdienst als Grundlage herangezogen, auf dessen Grundlage zwei Dienste realisiert wurden, um die Verbindung von Ökobilanz- und Planungsdaten mit dem offenen BIM-Modell zu unterstützen. Hierbei wurde das in der IFC angegebene externe Referenzobjekt (Ableitung des IfcReference-Objekts) verwendet, um einen Link zur Klassifizierungsreferenz anzugeben, der auf einem im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelten Server gehostet wird. Die Klassifizierung wurde aus dem Rahmen des österreichischen FreeClass-Ansatzes übernommen, um dem deutschsprachigen Raum besser gerecht zu werden. Neben der Synchronisation mit der bereits produktiven Gebrauchtmaterialklassifizierung können die entwickelten standardbasierten Inhalte des Servers auf das vorhandene Service Building SMART Data Dictionary (bsDD) verschoben werden. Anstelle jedes Authoring-Systems, das ein IFC-Materialobjekt mit seiner eigenen webbasierten Klassifizierung verknüpft, ermöglicht diese gemeinsame Funktion ein einheitliches „referentielles Backbone“ zum Verbinden der LCA-spezifischen Daten mit dem BIM-Modell. Das IFC-Referenzobjekt auf der anderen Seite kann über dem Materialklassifizierungslink verwendet werden, um außerdem Lebenszyklusobjekte wie oben beschrieben zu verbinden, die in einem Katalog als bedarfsorientierte vorkonfigurierte Datensätze bereitgestellt werden. Trotz des Hinzufügens aller LCA-Informationen - insbesondere während der dynamischen frühen Entwurfsphasen - ermöglicht eine entsprechende Referenz im BIM-Modell bereits eine umfassende LCA-Detaillierung, z.B. durch Zeigen auf die Aufpralldaten einer bestimmten Bauart. Während die konkreten Mengen aus dem Architekturmodell abgeleitet werden, werden die zusätzlichen LCA-spezifischen Informationen auf einem einheitlichen Server bereitgestellt, der von Experten überprüft wird und an die neuesten Methoden- und Umweltverträglichkeitsdaten angepasst werden kann, ohne die Instanz des lokalen

BIM-Modells zu ändern, das darauf verweist . Der Prozess zum Definieren des Inhalts der Schnittstelle folgt den oben erwähnten normbasierten Richtlinien, und daher können alle definierten Informationsanforderungen, die im erweiterten IDM gesammelt werden, in einem MVD übertragen werden. Dabei wird beispielsweise das im Zusatzmaterial angegebene IDM bezüglich des Teils des Lebenszykluselements mit zwei alternativen IFC-Darstellungskonzepten abgeglichen, wie oben beschrieben. Diese Zuweisungen von IFC-Entitäten für die IDM-Tabelle bilden den Ausgangspunkt für die Formalisierung der beabsichtigten standardbasierten Schnittstelle. Durch Verwendung des MVD-Standards zum Spezifizieren von IFC-Modellansichten in einem zweiten Schritt könnten dann die LCA-Informationsanforderungen formal als Teil des IFC-Standards beschrieben werden. Als Vorschlag für die Schaffung eines offiziellen buildingSMART freigegebenen MVD wird das im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte BIM2LCA-MVD in die Normungsarbeit für dieses Themenfeld in der Fachgruppe BIM und Wartung innerhalb der deutschen Arbeitsgruppe BIM und Nachhaltigkeit einbezogen buildingSMART Kapitel.

#### 5.4.4 DGNB Bewertung / Import

##### Ist Situation

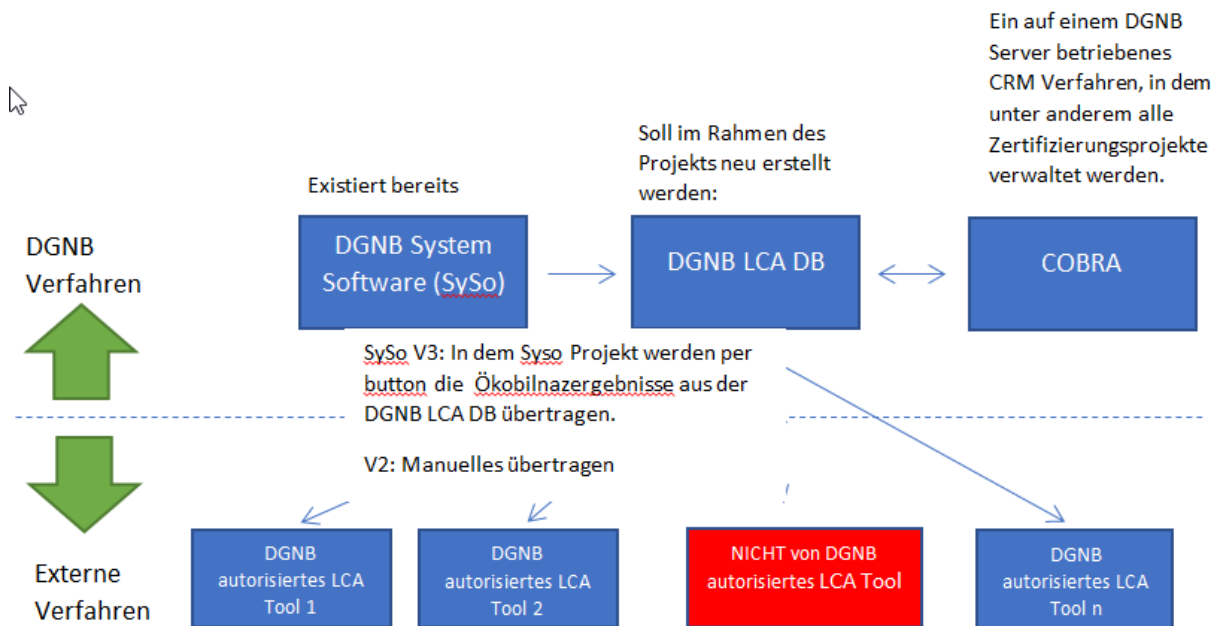
Im Rahmen eines Zertifizierungsprojekts werden 1-n Ökobilanzen für die Kriterien ENV1.1 und ENV2.1 (Ab dem Zertifizierungssystems der Version 2018 ist die Ökobilanz in einem Kriterium ENV1.1 zusammengefasst) gerechnet und ein finaler Bericht an die DGNB als Nachweis bei der Einreichung eines Zertifizierungsprojekts zur Verfügung gestellt.

Die Beschreibung des Ökobilanzverfahrens in den DGNB Kriterien ist relativ umfangreich und in Auszügen wissenschaftlich gehalten. Die Beschreibung legt nur grob fest mit welchen Inhalten der Ökobilanzbericht zu erstellen ist und zu dem Format des Berichts existieren keine Vorgaben. Von der DGNB wird kein Berechnungstool zur Verfügung gestellt. Deswegen muss auf frei auf dem Markt verfügbare Verfahren oder Eigenentwicklungen zurückgegriffen werden.

Das hat zu folgender Situation geführt:

Die Ökobilanzberechnung wird in diversen externen Tools (teilweise Webanwendungen, aber auch eine Vielzahl von Excel Anwendungen) gerechnet. Der Nachweis der Ökobilanzergebnisse wird der DGNB im Regelfall in den Formaten pdf oder Excel übergeben. Die Art der Aufbereitung der Dokumentation und Detailtiefe der Informationen variieren je nach Verfahren. Die Offenlegung des Rechenvorgangs ist nicht immer gegeben und variiert auch je nach Verfahren. Der Punktberechnungsalgorithmus wird in jedem Verfahren eigens programmiert. Seit der Version 2015 gibt es ein DGNB Ökobilanz-Formblatt, in dem die Ergebnisdaten dokumentiert werden müssen. Mit der Veröffentlichung der Version 2018 wurde in dem DGNB Ökobilanz-Formblatt die Punktberechnung integriert.

## Schematische Infrastruktur mit Schnittstellen



## Grobe Erläuterung

1. Die DGNB LCA DB mit denen in diesem Requirement geschilderten Funktionen und Schnittstellen ist Bestandteil dieses Requirements.
2. Ein xml Request von einem Ökobilanzverfahren wird über einen Webservice an die DGNB LCA DB versendet. Xml Eingang wird dem Ökobilanzverfahren quittiert inklusive einem xml-Validierungsergebnis.
3. Abhängig vom Validierungsergebnis und xml-Request Typ laufen dedizierte Folgeaktionen ab und über die Schnittstelle zwischen der DGNB LCA DB und der DGNB System Software werden je nach xml-Request Typ Daten ausgetauscht (siehe Kapitel Anwendungsfälle)
4. Falls die Ökobilanzdaten über das DGNB LCA Formblatt eingereicht wird: Import von Ökobilanzdaten in die DGNB LCA DB und Generierung eines xsd konformen xml.

## XML-Protokollierung

1. Auf der DGNB LCA DB wird jeder xml Request mit folgenden Daten protokolliert:
  - a. ProjektID (siehe Kapitel „Projekt ID“)
  - b. DGNB Projektnummer
  - c. XML Request:
    - i. Request-Art
    - ii. Datum und Uhrzeit des Requests
  - d. Requestor: VerfahrensID und Verfahrensname (siehe Kapitel „Projekt ID“)
  - e. DGNB Rückmeldung:
    - i. Datum und Uhrzeit der Rückmeldung
    - ii. Fehlermeldung oder ok.
2. Ist ein Wert nicht verfügbar für die Punkte a-d wird der xml-Request zurückgewiesen mit Fehlermeldung.
3. Bei den Request-Arten 1.Prüfung, 2.Prüfung, etc werden zusätzliche Informationen aus dem xml in der DGNB LCA DB und das xml selbst abgespeichert.
4. Eine einmal in der DGNB LCA DB abgespeicherte Protokollierung darf nicht mehr verändert werden. Neue xml Requests erzeugen immer einen neuen Protokolleintrag in der DGNB LCA DB.

## **Fehlerhandling, Meldungen**

1. Es soll 2 Rückmeldungstypen geben: Fehler (der request konnte nicht oder nur teilweise abgearbeitet werden) und Meldungen (Abarbeitungsnotiz)
2. Fehler und Meldungen bestehen aus Code (z.B. Error1, Error2, Notification1, Notifikation2) und Text (z.B. Text zu Error1: „Unzulässige Wiederverwendung einer ProjektID“)
3. Fehlercode und Fehlertext müssen im Vorfeld festgelegt werden (erweiterbar) und werden mit einer Vorlaufzeit vor Aktivschaltung von der DGNB jedem Owner des LCA Tools mitgeteilt, damit dieser möglichst automatisiert auf Fehler reagieren kann.
4. Entstehen während der xml Abarbeitung in der DGNB LCA DB Fehler, die zu keinem Abbruch führen, werden alle Fehler und Meldungen dem Requestor/Auditor/software@dgnb.de nach dem letzten Prozessschritt gesammelt zugeschickt

## **XML-Validierung**

1. Das xsd ist einer Versionierung unterworfen. Ein XML Request wird nur auf Basis der aktuell gültigen xsd Version zugelassen. Die XML-Validierung wird bei jedem Request an die DGNB LCA DB durchgeführt. Nur wenn die Validierung erfolgreich ist, wird der Request abgearbeitet. (Fehler: Abbruch)
2. Vor Umstellung auf eine neue xsd Version wird eine DGNB-LCA-DB-Testumgebung mit der neuen Version bereitgestellt. Die von der DGNB anerkannten Ökobilanztools haben damit die Möglichkeit Ihre Umstellung auf die neue Version besser zu planen.
3. Zum Zeitpunkt x wird das neue xsd auf die Live Umgebung migriert. Ab diesem Zeitpunkt werden nur XMLs auf Basis dieser aktualisierten xsd Version akzeptiert.

## **Autorisierungsprozess**

Der Hersteller eines Ökobilanzverfahren meldet an die DGNB, dass das Verfahren einen DGNB konformen Export (DGNB xsd) erstellen kann. Nach Prüfung der Konformität durch die DGNB und ggf. Korrekturen, wird das Tool offiziell mit dem Versand einer eindeutigen VerfahrensID zugelassen. Diese VerfahrensID wird zusammen mit dem Namen des LCA Tools in der DGNB LCA DB gespeichert.

1. Jeder xml request an die DGNB LCA DB muss die VerfahrensID und Verfahrensname enthalten.
2. Eine Bearbeitung des xml requests kann nur erfolgen, wenn exakt das Schlüsselpaar VerfahrensID und Verfahrensname mit einem Eintrag in der DGNB LCA DB gemapped werden kann (Authentifizierung des LCA Tools). (Fehler: Abbruch)

## **Sichere Datenvermittlung**

Die Verbindung zwischen dem autorisierten LCA Verfahren und der DGNB LCA DB muss sicher sein:

1. Die Datenübermittlung muss verschlüsselt sein
2. Das LCA Tool muss sich authentifizieren

## **Projekt ID**

1. Jedem erzeugten LCA Projekt wird innerhalb des LCA Tool zusätzlich eine Projekt ID vergeben, die innerhalb des LCA Tools eindeutig ist. Eine einmal vergebene Projekt ID kann im LCA Tool kein zweites Mal vergeben werden.
2. Ein xml Request an die DGNB LCA DB beinhaltet neben VerfahrensID und Verfahrensname zusätzlich die Projekt ID und – falls vorhanden – auch die DGNB Projektnummer und ist damit immer eindeutig.
3. Über diese Projekt ID kann der xml Request immer eindeutig einem Projekt zugeordnet werden, auch wenn das LCA Projekt noch kein offiziell bei der DGNB eingereichtes Projekt ist.

## Typen von xml Requests (siehe Kapitel „Anwendungsfälle“)

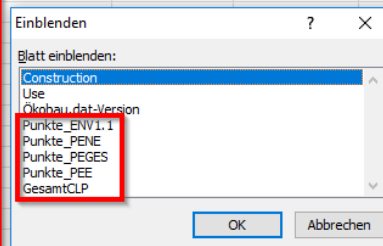
1. Punkteberechnung (Punkte-Request)
2. Konformitätsprüfung (Einreiche-Request)

### Anwendungsfälle

#### Punkteberechnung

1. Die DGNB Punkteberechnung aus den Ökobilanzergebnisdaten soll zentral in der DGNB LCA DB erfolgen, um sicherzustellen, dass die Punkteberechnung korrekt erfolgt.
2. Der Algorithmus für die Punkteberechnung existiert aktuell im Ökobilanz Formblatt (Excel Tool) und wird webix zur Implementierung zur Verfügung gestellt und erläutert.
  - a. Der Berechnungsalgorithmus des Ökobilanz Formblatts kann den Formeln in den Zeilen 92ff unter „Punkte-IST“ entnommen werden. Die Werte, die zur Punkteberechnung notwendig sind, variieren je nach Nutzungsprofil und sind in den ausgeblendeten Tabellenblättern „Punkte\_xxx“ und „GesamtCLP“ (siehe 2.rot umrandeter Kasten unten im Bild) enthalten.

89								
90		IST-Wert:	0,00		IST-Wert:	0,00E+00		
		Punkte	GWP-Punktwerte	GWPIst	Punkte-IST	Punkte	ODP-Punktwerte	ODPIst
91								
92		0				0		
93		10				10		
94		20				20		
95		30						
96		40						
97		50						
98		60						
99		70						
100		75						
101		80						
102		90						
103		100						
104		110						
105		120						
106				0,00				0,00



3. Alle Werte gemäß DGNB Formblatt müssen in der DGNB LCA DB abgespeichert werden.
4. Bei der Punkteberechnung müssen 2 unterschiedliche Szenarien berücksichtigt werden.
5. Das vollständige „DGNB Schema“ wird von einem DGNB konformen LCA Tool an die DGNB LCA DB geschickt. Request-Art: Punkteberechnung.
6. Bei erfolgreicher Punkteermittlung, wird das XML mit den ermittelten Punkten angereichert und an den Requestor zurückgesandt. (Fehler: Abbruch)
7. Die Inhalte des Ökobilanz xml inkl. der ermittelten Punkte, sofern möglich, werden auf der DGNB LCA DB **abgespeichert**.

#### Konformitätsprüfung

1. In der aktuellen System Software Version V2 soll keine Schnittstelle zur DGNB LCA DB realisiert werden. Die in dem XML Rückantwort der DGNB LCA DB enthaltenen Punkte müssen manuell in das System Software Projekt eingegeben werden.
2. Die Prüfung der Ökobilanzdaten soll im Ökobilanztool Generis erfolgen. Dazu ist ein DGNB Bereich in Entwicklung um die notwendigen Funktionalitäten zur Verfügung zu stellen.



### **Ausblick und nächste Schritte**

Anhand von bereits in Generis vorliegenden Projekten wird aktuell die Anwendbarkeit des Schemas bei konkreten Projekten überprüft.

Im nächsten Schritt werden weitere Hersteller von Ökobilanztools kontaktiert mit dem Ziel das Schema dort zu implementieren.

Im Live Einsatz des Schemas ist zu erwarten, dass weitere Anpassungen und ggf. Erweiterungen erforderlich werden. Dazu ist ein Release Management Prozess zu etablieren um die Änderungen geordnet ablaufen zu lassen, die Hersteller über die Änderungen zu informieren und Ihnen Zeit zu geben die geplanten Anpassungen vorzunehmen.

Darüber hinaus wäre es wünschenswert das Schema auch für den Einsatz in Quartieren einsetzen zu können. Dazu sind aber umfangreiche Erweiterungen notwendig, die die DGNB alleine nicht stemmen kann. Dies wäre in einem weiteren Forschungsvorhaben zu erarbeiten.

## **5.5. Planungshilfsmittel**

### **5.5.1 IP Informationssammlung**

Die Informationssammlung BIM2LCA4IP (<https://info.bim2lca.org>) bündelt die im Rahmen des Forschungsprojektes auf Seiten der Prozesse analysierten Inhalte und stellt diese in strukturierter Weise in einer Webseite zusammen. Nach Beendigung des Forschungsprojektes werden damit die Untersuchungsergebnisse zu dem planungsmethodischen „Mantel“ der im Projekt entwickelten technischen Schnittstelle der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Insbesondere werden Empfehlungen und Best Practices beim Anwenden einer Integralen Planung (IP) zur Verfolgung der Zielstellung des Nachhaltigen Bauens (NB) für sowohl Planern als auch Bauherren entlang des entwickelten Phasenmodells der IP aufbereitet. Dabei werden auch fachliche Aspekte und Kriterien mit jeweiligem Bezug zur Originalquelle (e.g. BNB, DGNB) zum Nachhaltigen Bauens werden mit einem Fokus auf die Lebenszyklusanalyse (LCA) in der Informationssammlung den Planern zum Zusammenstellen einer eigenen Auswahl bereitgestellt.

#### **5.5.1 Konzeption der Benutzeroberfläche**

Dieser Abschnitt beinhaltet die Beschreibung des Konzeptes der Benutzeroberfläche, das in der Informationssammlung umgesetzt wurde. Die webbasierte Informationssammlung ist in einem allgemeinen Teil und einem phasenbezogenen Teil untergliedert. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung der Website mit einer Zusammenfassung der Inhaltsstruktur der Informationssammlung. Auf der Startseite erhält der Benutzer zunächst eine Übersicht über die Webseite, z.B. bezüglich der Navigation mit der kreisförmigen Abbildung des Phasenmodells (vgl. Abbildung 19). Dieses repräsentiert das Hauptsteuerelement auf der Webseite und dient als Orientierungshilfe für den Benutzer, in dem es für jede ausgewählte Phase die entsprechende Phase auf allen Unterseiten hervorgehoben wird. Die anderen Kategorien, in die die Informationen auf der Webseite unterteilt sind, werden ebenfalls auf der Startseite angezeigt. Die Kategorien leiten sich aus dem im Forschungsprojekt verfolgten Ziel ab, Erarbeitung phasenbezogener, vielschichtiger Inhalte zur Planung,

Umsetzung und Betriebs im Rahmen von nachhaltigem Bauen. Im Wesentlichen sind dies relevante thematische Aspekte und Fragen zur Nachhaltigkeit, die phasenorientierte Darstellung Nachhaltigkeitskriterien sowie Methoden und Instrumente. Inhalts- und Modellierungsreferenzen. Allgemeine Vorschläge für Gebäudeanforderungen und -kriterien sind ergänzende Kategorien, die den Benutzer nicht nur mit allgemeinen Informationen versorgen, sondern ihn auch bei seiner Projektarbeit mit konkreten Referenzen zum nachhaltigen Bauen unterstützen können.

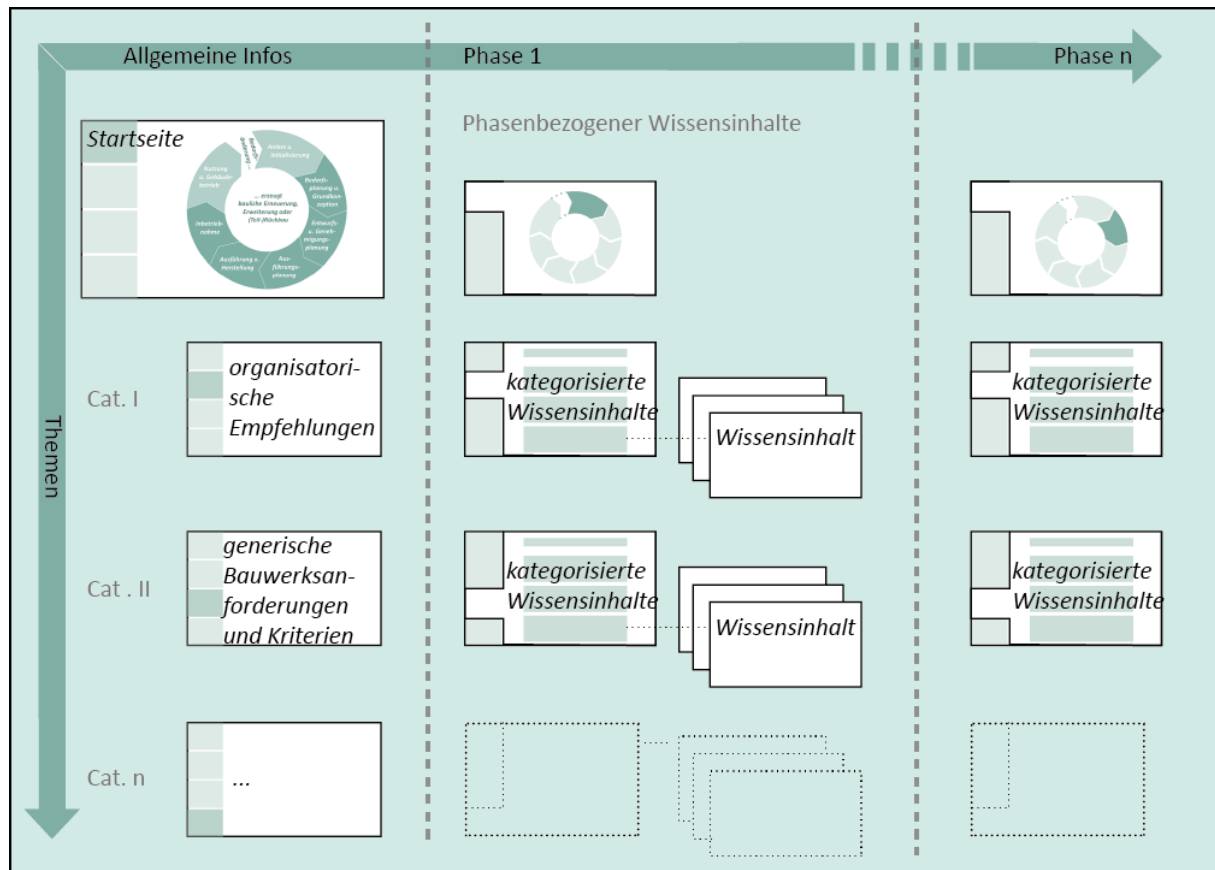
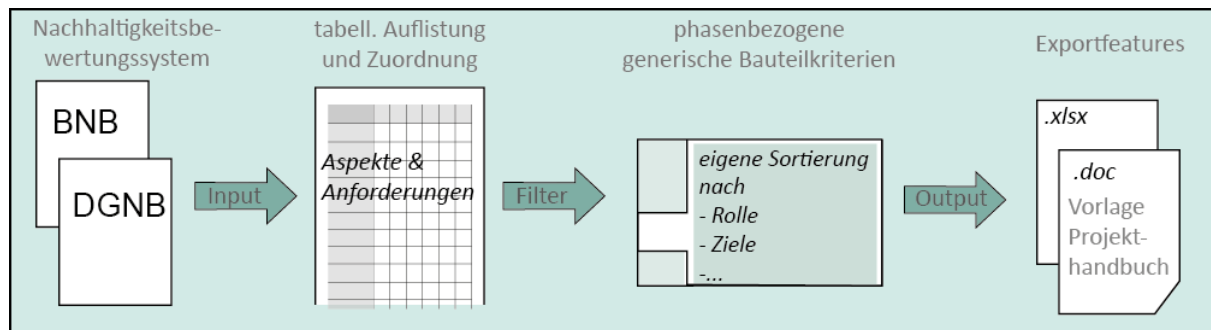


Abbildung 35: Inhaltsstruktur der Informationssammlung

Jede dieser Kategorien kann über die entsprechenden Steuerelemente aufgerufen werden. Das Hauptsteuerelement bietet dem Benutzer einen problemorientierten Zugriff auf die Inhalte der Informationssammlung, beispielsweise im Rahmen eines Bauvorhabens. Darüber hinaus kann er direkt zu den Nachhaltigkeitsthemen springen, die für die Phase relevant sind, in der sein Projekt derzeit umgesetzt wird. Dazu klickt er auf die entsprechende Phase des runden Hauptsteuerelements der Startseite. Da die phasenbezogenen Wissensinhalte der einzelnen Kategorien genau einer Phase zugeordnet ist, kann durch die Auflistung der Kategorien in der Navigationsleiste auch für eine bestimmte Kategorie einer bestimmten Phase, eine entsprechende Gruppe von Wissensinhalten aufgerufen und auf der Webseite angezeigt werden (vgl. Abbildung 35). Zum Beispiel möchte ein Bauunternehmer, der noch keine Erfahrung mit nachhaltigem Bauen hat, herausfinden, wie man im Rahmen einer Projektidee den Bau eines nachhaltigen Gebäudes initiiert. Über das Steuerelement wechselt er in den Phasenbereich "01 Anlass- und Initialisierungsphase". Die Kategorie "Organisatorische Empfehlungen" richtet sich an die Zielgruppe der Akteure, die den Prozess organisieren. Über das entsprechende Steuerelement in der linken Spaltenleiste kann der Bauherr den jeweiligen Wissensinhalt als Hinweis für sein konkretes Projekt anzeigen. Hier wird ihm beispielsweise empfohlen, einen Nachhaltigkeitsberater für eine koordinierte Integration von Nachhaltigkeitsthemen und deren zielgerichtete Umsetzung in sein Projekt zu konsultieren. Zudem werden auch Wissensinhalte für erfahrene Benutzergruppen der Informationssammlung bereitgestellt, z.B. ein Nachhaltigkeitsberater, der eine erste Konsultation mit einem potenziellen Bauherrn vorbereiten möchte, kann ebenfalls in diesen Phasenbereich wechseln und sich mit Wissensinhalten der Kategorie „Anforderungen und Kriterien“ als mögliche Beratungsgesprächspunkte anzeigen lassen. Da Nachhaltigkeitsberatern oftmals praktisch umgesetzte Best-Practices fehlen um Bauherren illustrieren zu können, wie in den einzelnen Phasen der Bauwerksplanung, -erstellung und -nutzung ganzheitlich und integral durch zielführende Planungsentscheidungen ein nachhaltiger Gebäudeentwurf umgesetzt werden kann, stellt die Informationssammlung Experten diese Kategorie mit den generischen Vorschlägen für Bauwerksanforderungen und Kriterien zu Verfügung. Die Datengrundlage zu den Wissensinhalten dieser Kategorie wird schematisch in Abbildung 36 abgebildet. Ausgangspunkt bildet eine tabellarische Auflistung und Zuordnung einzelner Aspekte und Anforderungen. Dabei wurden Kriterien der beiden Bewertungssysteme für Nachhaltigkeit BNB und DGNB aus idealtypischer Sicht sowie abgeglichen zu den integralen Praxiserfahrungen der

Projektpartner jeweils den Phasen zugeordnet in denen sie zum ersten Mal für einen optimierten nachhaltigen Planungsgegenstand relevant erscheinen. Somit bildet eine Liste an Anforderungen und Aspekten der ersten Phase den entsprechend angezeigten Wissensinhalt für diese vom Experten ausgewählte Kategorie. Neben dem vorgefertigten, phasenbezogenen Filter bietet die Webseite des Weiteren dem erfahrenen Nutzer die Möglichkeit sich durch hinterlegte weitere Sortierungen eigene, rollen- oder zielstellungsbezogene Kriterienlisten zusammenstellen zu können. Diese weiter gefilterten Listen kann sich der Nutzer durch das Betätigen einer Schaltfläche mit hinterlegter Exportfunktion als Gesprächsgrundlage im Tabellenformat .xlsx herunterladen.



**Abbildung 36: Merkmalsblöcke Tabelle „Generische Bauwerksanforderungen“**

Für diese beiden exemplarisch an der ersten Phase vorgestellten Kategorien sowie die Weiteren stehen für alle Phasen in der Informationssammlung Empfehlungen, Hinweise sowie Best-Practises bereit und bilden ein umfangreiches Repositorium zur Unterstützung des Nachhaltigen Bauens. Die im Sinne der Integralen Planung aufbereiteten und phasenbezogenen Wissensinhalte können dabei Nachhaltigkeitsberater vom ersten Gespräch bis hin zur Nutzung des Gebäudes begleiten und ihnen einen Überblick über (auch in den Bewertungssystemen qualifizierte) relevante Nachhaltigkeitsthemen geben.

## 5.5.2 Technische Umsetzung

Mit der BIM-basierte Integrale Planung für Nachhaltiges Bauen - Informationssammlung werden die oben vorgestellten Konzepte der Benutzeroberflächen als navigierbare Teile einer Webseite in eine dynamische Webapplikation implementiert und umgesetzt. Sie soll einfach bedienbar sein, plattformunabhängig und prinzipiell über jeden Webbrowser des Benutzers gestartet werden können ohne weitere Software installieren zu müssen (Thin-Client-Prinzip).

Der Markt bietet eine große Auswahl an Technologien, Implementierungs-/Skriptsprachen bzw. Programmierumgebungen zur Umsetzung einer Webapplikation. Anhand von Anforderungen und Kriterien lässt sich diese Auswahl für eine am geeignetsten für das Vorhaben erscheinende Technologie begrenzen. Im Folgenden werden die wichtigsten Auswahlkriterien für die Umsetzung und Implementierung kurz vorgestellt.

### 5.5.2.1 Technologie Konzepte zur Erstellung von dynamischen Webseiten und Technologie Entscheidung

Prinzipiell werden dynamische Webapplikationen zur besseren Skalierbarkeit in einer 3-Schichten-Architektur realisiert (siehe Kapitel Grundlagen-Web-Technologie-). Es wird zunächst unterschieden zwischen dem „Frontend“ und dem „Backend“ der Softwareentwicklung. Die Schicht des Frontend, die *Präsentationsschicht*, ist die Benutzeroberfläche und repräsentiert die erste Schicht, die die Interaktion mit dem Benutzer unterstützt. Darin implementierte Inhalte sollen einfach ein Webbrowser mit einer graphischen Anwenderschnittstelle darstellt und bedient werden können. Für die Realisierung dieser Schicht werden durch zahlreiche Möglichkeiten und Technologien in der Regel eine Präsentation mittels HTML, CSS und Javascript zur Ausführung im Browser des Nutzers umgesetzt.

## Umsetzung

Zum „Backend“ werden eine zweite und dritte Schicht der dreischichtigen Architektur gezählt. Die *Applikationslogikschicht* läuft auf dem Applikationsserver zur Ausführung der Anwendungsprogramme und implementiert die webbasierte Kommunikationslogik zwischen dem Browser der Nutzer und den in der *Datenbankschicht* gespeicherten Informationsinhalten. Unter Zuhilfenahme eines Webservers werden die von der Applikationsschicht aufbereiteten Inhalte „netzwerkfähig“ gemacht und sind vom Anwender mittels seines Browsers über eine Internetverbindung abrufbar. Eine wesentliche Anforderung an das Backend besteht darin, dass sowohl die Geschäftslogik einfach zu warten als die (Daten-) Inhalte stets einfach zu ergänzen und zu aktualisieren sind. Zudem soll der redaktionelle Anwender während der (Weiter-) Entwicklung der Software immer auf die aktuellste Version Zugriff beim Einpflegen der Inhalte haben. Dazu sollen die Endanwender Ansichten der Wissensinhalte für die Redaktion ergänzte Zugriffe auf die Datenbank ermöglichen und somit das Erstellen der (weiteren) Inhalte direkt in der letztendlichen Ansicht unterstützen.

Die serverseitige Softwareentwicklung der Applikation erfordert somit die Auswahl eines leistungsstarken, frei verfügbaren Baukastensystems als Aufsatz auf eine objektorientierte Programmiersprache sowie eine freiverfügbare Entwicklungsumgebung. Zur zweckdienlichen Unterstützung der Programmierarbeit. Diesbezüglich wird nachfolgend eine Gegenüberstellung von verschiedenen Webtechnologien dargestellt, um der Auswahl der Implementierungssprache und Implementierungsumgebung darzustellen.

Auch eignet sich PHP sehr gut damit als Programmiersprache für einen ersten Einstieg in die Webentwicklung, da man für nahezu jede Entwicklungsfragestellung schnell Hilfe bekommt. Außerdem gibt es viele interessante Frameworks als Baukastensystem für die Geschäftslogik bzw. Content Management Systeme zur Realisierung der Datenebene, die diese Sprache unterstützen und die Entwicklung damit vereinfachen.

Für die Entwicklungsaufgabe wurde der Einsatz eines Rahmenwerks, das einfach zu erlernen ist und die neueste (Web-) Technologien unterstützt vorausgesetzt. Das geforderte Rahmenwerk sollte über verschiedene Komponente für sowohl das Frontend als auch das Backend verfügen auf denen die Entwicklung aufgebaut werden konnte.

Das PHP-basierte Rahmenwerk Laravel ist freiverfügbar und bietet eine gute Vorlage für das Erstellen einer strukturierten Web-Architektur. Das für die Entwicklung der Informationssammlung im Projekt verwendete Laravel bietet den Entwicklern ein dreischichtiges Grundkonzept für die Erstellung einer unabhängige Web-Applikation an und nimmt ihnen somit viel Vorbereitungsarbeit ab. Das Framework unterstützt viele Bibliotheken und kann durch Abrufen von zahlreichen Paketen mittels des für PHP zur Verfügung stehenden Paketierungssystems COMPOSER sehr einfach um weitere Funktionsblöcke ergänzt werden. Laravel ist zeitgemäß und wird durch eine große Entwicklungsgemeinde (Community) immer weiter verbessert und ergänzt. Dies zeigt sich auch im kontinuierlichen Erscheinen neuer Versionen, die sowohl rückwärts- als auch vorwärtskompatibel sind. Da zudem auch die für Laravel vorhandenen Erweiterungspakete durch die Autoren stetig weiterentwickelt und auf Stand gehalten werden, bildet dies einen großen Vorteil der Umgebung bezüglich der sich schnell ändernden Rahmenbedingungen einer Webentwicklung, z.B. Datenschutz betreffend. Die aktuelle Larvel-Version ist die Laravel 7 Version, die im Jahr 2020 erschien und wurde auch für die Entwicklung verwendet.

Das Laravel Framework basiert auf dem Model-View-Controller Entwurfsmuster (MVC), in den drei wesentlichen Komponenten gemäß dem oben beschriebenen Schichtenarchitekturprinzip zusammenspielen. Es gibt die Modelle, die Views und des Controllers. Dieses Entwurfsmuster erleichtert die künftige Erweiterung und Änderung der Applikation. Es bietet die Möglichkeit nur Teile der Software Anforderungsgemäß zu erweitern oder zu wechseln, wie z.B. die Datenbanktechnologie, ohne den Rest der Applikation anpassen zu müssen.

Im Zentrum der Geschäftslogik der Applikation stehen dabei die Controller, sie kapseln den Hauptteil der Anwendung und erledigen die meiste Arbeit. Controller stellen im Wesentlichen dabei die

zweckorientierte Verbindung zwischen Views (Datenansichten) und den Modellen her. Wobei die Modelle es anforderungsorientiert ermöglichen die Daten abzurufen, zu verwalten, zu bearbeiten, zu aktualisieren bzw. zu speichern. Indem Ansichtsschablonen für die Modelle in den Views vorgehalten werden, die in der Regel in HTML strukturiert sind, können diese mit dem Einfügen der Modelldaten durch den Controller dem Anwender in der Benutzeroberfläche präsentiert werden. In Controllern werden außerdem, alle (Web-) Anfragen (Requests) der webbasierten Nutzerinteraktion zusammengestellt. Dabei werden diejenigen, die eine gleiche Logik behandeln oder das gleiche Verhalten besitzen, jeweils gemäß dem objektorientierten Prinzip in einem Controller gekapselt und können durch dessen entsprechende Ansteuerung von verschiedenen Anfragen aus dann mehrfach wiederverwendet werden.

Ein Datenbankzugriff durch die Modell Komponenten wird mit den nativ im Rahmenwerk integrierten SQL Anfragen unterstützt. Indem die Instanz eines Modells von einem Basismodell, das diese Zugriffslogik implementiert, abgeleitet wird, können diese geerbten Datenbankabfragefunktionen für die individuell gestalteten Inhalte angepasst und umgesetzt werden. Das Rahmenwerk macht es damit erheblich einfacher die Datenbankverbindungen zu erstellen und verwalten. Die Struktur der Inhalte in den Mysql-Datenbank-Tabellen kann beliebig und einfach benutzerspezifisch definiert und ergänzt werden. Durch das Feature „Migrations“ zur automatisierten Handhabung von Datenbankschemata von Laravel kann die Struktur in der Datenbank einfach und kontinuierlich angepasst werden. Die „CRUD“-Operationen (Create, Read, Update und Delete) erfolgen in Laravel durch das Aufrufen einer entsprechenden Modellinstanz durch die Controller. Diese beim Erstellen der Datenstrukturen entsprechend zu definierenden Modellklassen verwalten mit den geerbten Bearbeitungsfunktionen dann die Daten in der Datenbank. Der Controller beinhaltet dann allein die Logik zur Verknüpfung der Modelldaten an die entsprechenden Stellen in den Schablonen. Über die Laravel-Basisklasse zum Datenbankzugriff und zur effizienten Datenverarbeitung ermöglicht zudem eine automatisierte und leichte Verknüpfung zwischen Datenbanktabellen für eine komplexe Datenstruktur. Somit konnten mit dem Implementieren entsprechender Laravel-Komponenten alle Anforderungen an die Webapplikation im Projekt umgesetzt werden.

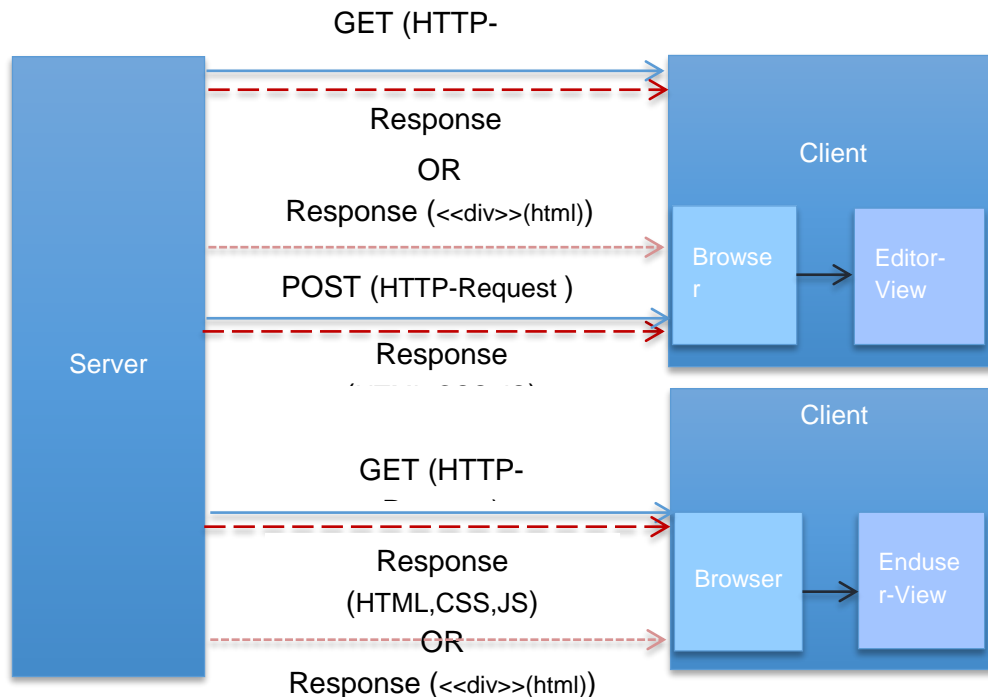
#### **5.5.2.2 Verwaltung der Kommunikation in der Informationssammlung**

Die in dieser Arbeitspaket entwickelte Web-Anwendung basiert auf dem gleichen Prinzip der Client-Server-Architekt (Abbildung 9). D.h. mehrere Nutzer bedienen sich aus demselben Server aus der im Mittelpunkt zur Bearbeitung der ankommenden Anfragen steht. Der Nutzer baut eine Verbindung zum Server auf und kann entweder nur lesend drauf zugreifen, wird in diesem Kontext als Endnutzer, betrachtet oder lesend und schreibend und wird als Editor-Nutzer, bezeichnet.

Es gibt unterschiedliche Übertragungsmethoden, die dem Client zur Verfügung stehen, und ermöglichen es Dateien abzurufen oder zu übertragen. Die Übertragungsmethode wird zusammen mit der URL Adresse in einem HTTP-Request im Netz Übertragen zum Server. Parameter können auch per URL im Request mitgeschickt werden. Im Kontext der entwickelten Anwendung wird es zwischen zwei Anfragemethoden bzw. Übertragungsmethoden unterschieden; die GET-Methode und die POST-Methode. Mit der GET-Methode werden Ressourcen, z.B. Dateien oder Datenbankeinträgen abgerufen sowie die Antwort selbst in Form vom HTML Code angefordert. Die POST-Methode hingegen ermöglicht es umfangreiche Daten auf dem Server zu Übertragen oder zu verändern. Die Posts-Methoden werden nur während der Entwicklung und der Aufstellung der Seite benötigt.

Das Hinzufügen von Wissensinhalten (vgl. Kapitel x) erfolgte begleitend zur Implementierung, eine detailliertere Beschreibung wie der Prozess hierfür läuft ist im nachfolgenden Kapitel vorgestellt. Für den Editor wurden separat, zuständige Textfelder in die Übersicht (View) hinzugefügt. Diese sollen es ihm ermöglichen Wissensinhalte kategorisiert in die Datenbank hinzuzufügen und einzupflegen. Es kommt immer drauf an wer welche Rolle der aufrufende besitzt. Ist der Benutzer ein End-Nutzer so wird nur die Schnittstelle für einen lesenden Zugriff aufgerufen. Ist der Benutzer ein Editor-Nutzer so wird zusätzlich die Benutzeroberfläche um einen Editor-Button ergänzt und der Editor-Nutzer kann zwischen Editieren und lesen auf der Seite zugreifen.

Eine geladene Seite muss nicht immer neu aufgebaut sein. Nur bestimmte Sequenzen/Teile der Seite werden neu geladen bzw. aktualisiert. Dieses dynamische Verhalten lässt sich besser gut erklären in Kombination mit der Navigation im Nächsten Abschnitt. Die Navigationsleiste sowie das Steuerrad und die Zusatznavigation sind feststehend und werden nur das erste Mal, beim ersten Aufruf aufgebaut. Wählt der User ein Element aus der Navigation aus, so wird nur der Body der Seite aktualisiert bzw. neu geladen. In HTML Sprache sind es neue `<<div>>` die aufgebaut werden sollen und der bestehenden Seite hinzugefügt werden, siehe die untenstehende Abbildung xyz.



**Abbildung 37: 3-Schichten-Architektur der Informationssammlung**

Ein lesender Endnutzer öffnet sich die Seite der Informationssammlung und wählt sich eine Phase und/oder eine Kategorie aus. Der Client schickt eine HTTP-Anfrage mit einer GET-Methode, die Informationen und/oder Daten beispielsweise Bilder, über den ausgewählten Menüelement anfordert. Der Server erfasst die Anfrage und gibt sie dem Laravel-Framework zur Behandlung weiter. Laravel leitet die Anfrage dann über eine bestimmte PHP-Routing-Klasse, die "web.php", an die zuständige Methode, in dem "Controller", zur Bearbeitung weiter. Hier wird dann die entsprechende blade-Template Datei, die hauptsächlich aus HTML-code besteht, aufgerufen und je nachdem wird dann entschieden ob eine neue HTML-Seite erzeugt werden soll oder nur ein Teil zurücksenden. Die Antwort beinhaltet das HTML-Code sowie das Programmstück, das, vom Browser des Clients verstanden und bearbeitet wird (CSS, JavaScript beispielsweise).

### 5.5.2.3 Vorgehensweise bei der Implementierung

Die Backend-Architektur entspricht der MVC Entwurfsmuster. Da die Entwicklung der Applikation und das Einpflegen der Inhalte und Informationen für die Webseite parallel laufen, wurden der Einfachheit halber zwei Ansichten entwickelt. Eine Ansicht für den Endnutzer, diese liefert ihm nur Informationen bezüglich des BIM-Basierten integrale Planung nach dem Prinzip des Nachhaltiges Bauen und lässt keine Benutzer Interaktionen zu. Die Zweite Ansicht ist für den Bearbeiter der Webseite, also der Planer nach BIM und/oder der Nachhaltigkeitsexperte damit sie die Seite während der Entwicklung mit genauere Informationen befüllen und einpflegen. In Laravel gibt es die Möglichkeit zwischen „Production“- Modus und „Edit“- Modus zu wechseln. hierfür wurde eine Vorgehensweise Konzipiert zum Wechseln zwischen den zwei Ansichten. Das Laravel bietet die Möglichkeit in der

Konfiguration, in der „env“-Datei schon der Entwicklungsmodus auszuwählen (Produktiv- oder in Edit-/Live- Modus). In der Composer-Datei werden die Anforderungen für das Projekt definiert und beim ersten Start des Servers all die definierten Anforderungen installiert. Um Redundanzen zu vermeiden und das Installieren von unnötigen Paketen auf dem einen oder den anderen Server zu vermeiden, kann der Entwickler bestimmen, welche Pakete nur während der Entwicklung heruntergeladen und installiert werden müssen und welche nur für das Einstellen der Applikation auf dem Produktiv-Server benötigt sind.

### Umsetzung der Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche ist einfach mit der Blade-Templating-Engine zu erstellen in Laravel. Die wird standardmäßig mit Laravel installiert und vereinfacht das Erstellen und Implementierung von den Views in der Anwendung. Die Blade-Templates ermöglichen es Views in einzelne wiederverwendbare Blöcke zu erstellen, sodass einzelne Teile einmal implementiert werden und innerhalb anderer Views integriert werden. Die wiederverwendbaren Blöcke werden in Blade in sogenannten „Sections“ definiert und werden an die entsprechenden Sektionen in den Views unter Verwendung der Blade-direktiven „@yield“ ausgegeben. Views in andere Views werden mit der Blade-Direktive „@include“ aufgerufen. Somit entstehen mit Blade gut lesbare und strukturierte Views, sodass die Weiterentwicklung einfacher und leichter für die neuen Einsteiger in dem Projekt wird.

Die Views in der Wissenssammlung wurden in HTML unter Einsatz von CSS und Javascript erstellt. Zunächst wurden zwei Basis-Views entwickelt. Eine Kachelansicht, die „contentCollection“-View, für die kategorisierten Wissensinhalte pro Phase. Diese Ansicht wird in der „Body“-View integriert, wenn der Benutzer eine Kategorie innerhalb einer Phase auswählt, und liefert eine Sammlung aller Wissensinhalte, die in Beziehung mit der ausgewählten Phase und Kategorie stehen in Form einer Kachel, gekennzeichnet mit Titel und Zielgruppe (siehe Abbildung 38). Im Editor-Modus wird in der Ansicht dem Editor-Nutzer noch die Möglichkeit gegeben, einen neuen Wissensinhalt hinzuzufügen, oder es einen Status und eine Position zugeben. Generell hat ein Wissensinhalt im Editor-Modus 3 Statusarten; es kann „in Bearbeitung“ sein und wird in diesem Zustand nicht in der End-Nutzer-Ansicht angezeigt, es kann „Veröffentlicht“ werden und wird somit auch in der End-Nutzer-Ansicht angezeigt, oder es kann „Gelöscht“ werden und wird in der Datenbank als gelöscht markiert, aber endgültig gelöscht wird er nur vom Datenbank-Administrator.

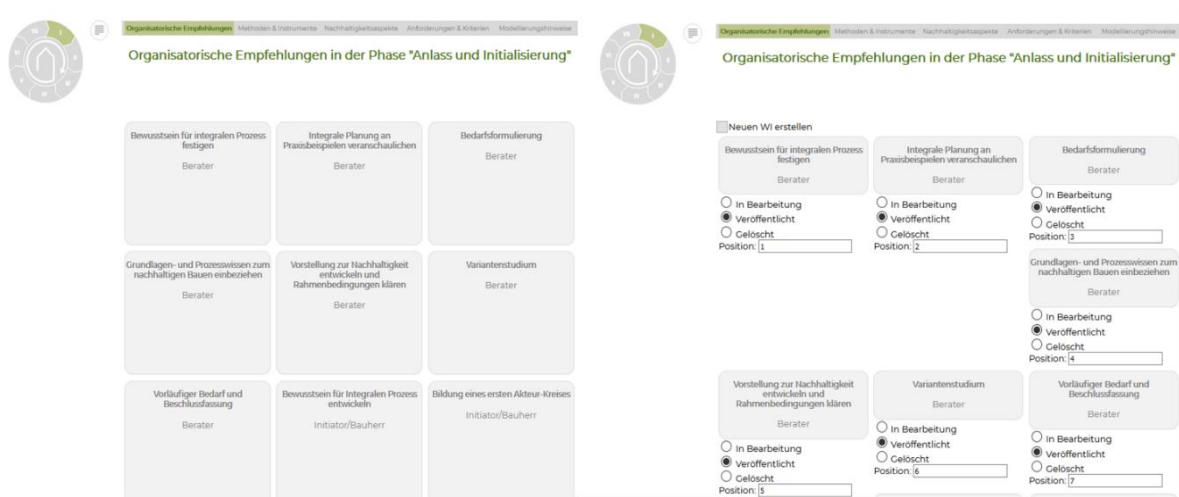


Abbildung 38: Kachelansicht in der End- und Editor-Nutzer Ansicht

Die Beschreibung von jedem Wissensinhalt wird separat in einer getrennten Ansicht behandelt. Wenn der Benutzer ein Wissensinhalt, um Einzelheiten zu durchsuchen anklickt, oder wenn er die Beschreibung von den einzelnen Phasen und Kategorien sich anschauen möchte, so wird die zweite Basis-Ansicht, die „contentDetail“-View angezeigt. In dieser Ansicht werden die Beschreibung in



## Umsetzung

Textblöcke und Abschnitte dargestellt. Möchte der Nutzer Änderungen am Text durchführen, so wechselt er in die Editor-Ansicht in dem das Rich-Text Editor, CK-Editor integriert ist. Abbildung 39 zeigt, dass außer den Änderungen am Text kann der Editor-Nutzer weitere Einstellungen für den Wissensinhalt auswählen. Ein Anlauftext, ein Autor/Editor, und Quellen zum Text können hinzugefügt werden.

Die Navigation in der Plattform wurde gesondert behandelt in einer separaten „navigation-Blade-View“. In dieser Ansicht wird das Layout für die Hauptnavigation, das Steuerrad und die Navigationsleiste definiert, zusätzlich dazu enthält die Ansicht die Logik des Zusammenspiels zwischen dem Steuerrad und die Navigationsleiste.



**Abbildung 39: Editor Ansicht eines Wissensinhaltes**

Eine Grundgerüst-Ansicht, in der die Navigation-Ansicht und die contentCollection-. bzw. die contentDetail-Ansicht gesteuert durch den Controller (mehr dazu im nächsten Abschnitt) werden, ist „Body“-Ansicht, die wiederum in der Main-Ansicht der Applikation integriert wird und vom Controller gesteuert.



## Backend-Architektur und Kommunikation

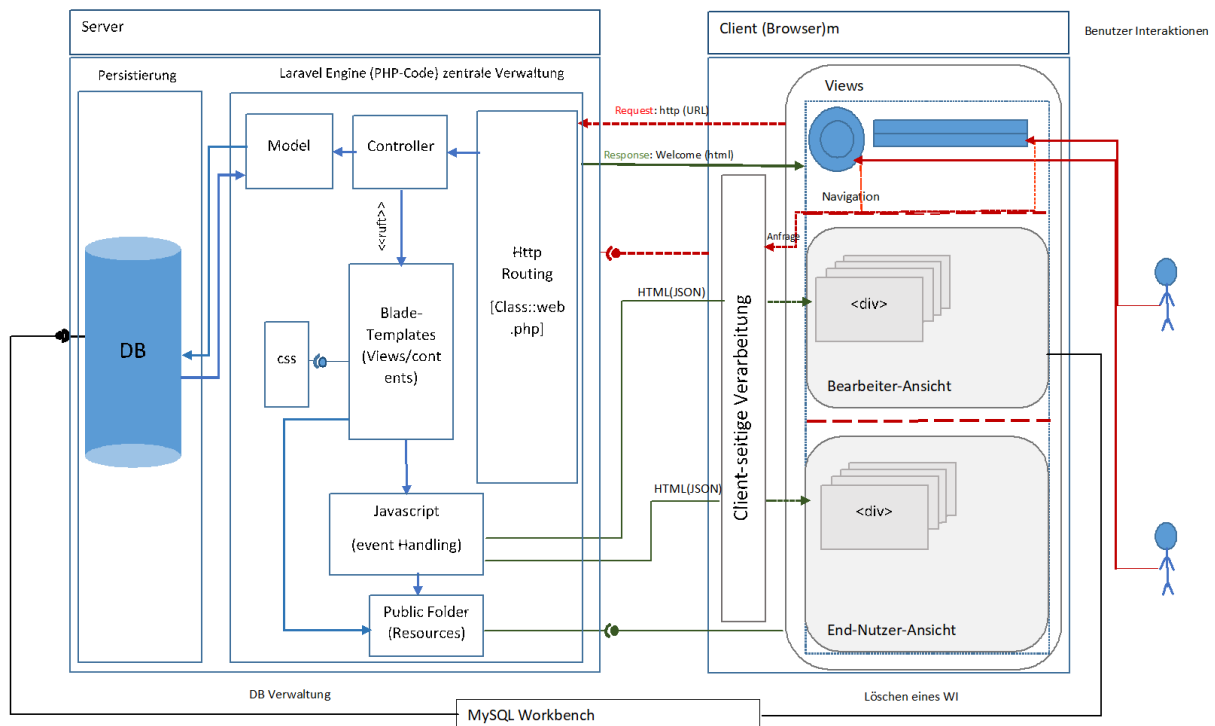


Abbildung 40: Architektur der Informationssammlung

Der Benutzer gibt die URL der Seite in seinem Browser an. Die URL enthält beim ersten Aufruf der Seite zunächst keinen Parametern. Der Client nimmt die angegebenen URL in dem Browser entgegen und sucht im Netz nach der entsprechenden Adresse. Dafür wird zunächst ein einfaches normales http- Request gesendet. Der Server empfängt die Anfrage und entscheidet über das Routing welche View Angezeigt wird und schickt die Antwort über einen HTTP-Response zurück. Der Client entnimmt die Antwort entgegen und darstellt die Rückgaben auf dem Browser. So bekommt der Benutzer die Startseite die Startseite (die Willkommenseite) beim ersten Aufruf angezeigt und kann damit interagieren und Navigieren.

Der Benutzer wählt ein Element (einen Verweis) aus dem Navigationsbereich aus beispielsweise eine Phase aus dem Steuerrad oder eine Kategorie aus der Navigationsleiste, (siehe Abbildung 40) und löst seine neue URL-Adresse aus. Der Client sendet erneut, über das http-Übertragungsprotokoll eine GET-Anfrage an den Server und fordert z.B. Ressourcen. Die Anfrage enthält z.B. Textdaten, Bilder, Dokumente oder Teile von einer Ansicht etc. Der Server nimmt die Anfrage entgegen und startet sein Serverprogramm (Die Backen-Software). Über das Routing, werden die URLs mit der entsprechenden Methode verknüpft. D.h. in Laravel wird in der „web.php“ klasse, entschieden welche Aktion, also welches Controller bzw. welche Methode aus dem Controller für die Bearbeitung der Anfrage (GET oder auch POST) ausgeführt werden soll und leitet somit die Bearbeitung in dem Controller weiter. Die Variablen aus der URL werden in der Route Automatisch als Parameter in der Methode mit übergeben. In der Anwendung der Informationssammlung wurde bewusst entschieden nur einen Controller zu entwickeln. Die ganze Logik der Navigation hängt eng miteinander zusammen und die entwickelten Views sind mit einander verbunden. Controllers in Laravel führen die Verbindung zwischen der View und das Model durch. Es wurden im Controller verschiedene Funktionen entwickelt, die jeweils zuständig sind die angeforderte View zurück zu geben. Der erste Aufruf aus dem Controller bestimmt initialisiert die Navigation Daten und die Startseite. Die zentrale Rolle im Controller übernimmt die „Resolve“, Funktion. In Dieser Methode wird die Berechnung der Parameter durchgeführt und es wird entschieden welche Navigation-View also ob contentCollection-View oder contentDetail-view aufgerufen werden soll.

## Umsetzung

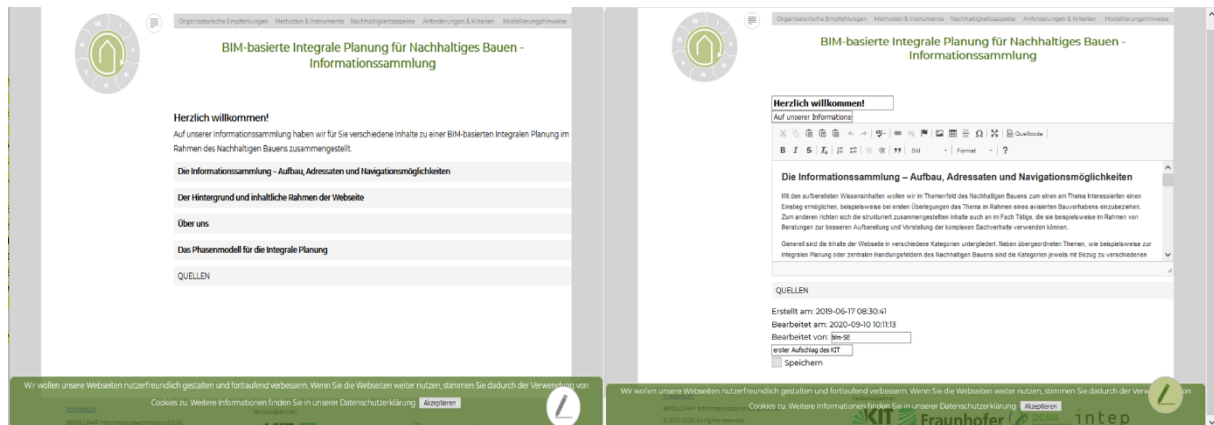
Die Bearbeitung der Anfrage führt dazu, dass Teile der Seite aktualisiert oder neu geladen werden. Über das Hinzufügen von Schnittstellen bietet Laravel die Möglichkeit, dass Stylesheets (css) oder Ressourcen beispielsweise aus dem „Public-Ordner“ geladen und hinzugefügt werden. Mittels der Skriptsprache, javascript, ist es möglich das nur Teile der Seite neu geladen werden und nicht das Ganze. Möchte ein Endnutzer sich Inhalt oder Informationen über eine Phase, eine Kategorie (oder einen phasenorientiert kategorisierten Wissensinhalt) anschauen, so wird die Inhaltsansicht (contentView) angefordert. Die Ansicht befüllt die geladene Seite auf dem Client mit Inhalt im Body der Seite. Der Navigationsbereich wird nicht neu geladen es werden nur neue Inhalte, auf der Sprache von HTML neue <<div>> zum Beispiel, hinzugefügt bzw. getauscht. Da der Controller die Verbindung zwischen den Views und das Model erstellt, werden im Controller ebenfalls die Datensätze für das Erstellen der View aus der Datenbank angefragt sowie es werden über den Controller in die Datenbank gespeichert. Wie die Daten in der Datenbank abgelegt sind und wie sieht das Datenbank Model werden im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

## Datenbank und Migrations

Bedingt durch die Struktur und die Relationen zwischen die Wissensinhalte, wurde ein Relationales Datenbankmodell aufgesetzt. Wegen den neuen Anforderungen die während der Entwicklung wieder vorkommen, bedarf es eine Lösung, die es dem Entwickler ermöglicht das Datenbankschema flexibler zu gestalten und einfach zu halten für die weitere Entwicklung und Wartbarkeit. Migrations in Laravel ermöglichen es dem Entwickler seine Datenbankstruktur einmal zu definieren und weiter zu verwalten. Die Datenbanktabellen werden in Laravel einfach in Migrate-Klassen definiert. Das Aufsetzen und wiederherstellen der Struktur kann dann beliebig auf unterschiedlichen Datenbanken erfolgen. Dafür wird nur der Artisan Befehl - *@php artisan migrate* – benötigt. Jede weitere Änderung an die Struktur bzw. Rollback, wird ebenso in Klassen definiert und mit dem entsprechenden Migration Befehl einfach in die Datenbank aktualisiert. Änderungen in der Datenbankstruktur kann beispielsweise ein neues Attribut bzw. eine neue Spalte in einer Tabelle hinzufügen oder eine Spalte löschen. Genau wegen dem Grund, dass die Datenbankstruktur frei für die weitere Entwicklung oder für die Wiederverwendung in anderen Projekte oder Software mit anderen Datenbanksysteme, haben wir in diesem Projekt das Konzept des Migrations von Laravel. Zur Vereinfachung der Wiederverwendbarkeit wurde zusätzlich den gesamten Zusammenhang zwischen die Wissensinhalte nur in einer Datenbanktabelle abgebildet. Relationen zwischen die Wissensinhalte wurden mithilfe einem Spezialisierungs-Tag abgebildet. Der Spezialisierungs-Eintrag ist einfach eine Zahl von 0 bis 7, dass die Kategorien durchnummeriert. Jeder Wissensinhalt ist einzigartig (unique) durch eine Kombination zwischen Phasen-Nummer, und Kategorie-Nummer (Spezialisierungseintrag). Zum Beispiel die Kombination; Ph.Nr.0/Spe.Eintrag1 steht für die erste Kategorie Übergeordnete Grundlagen usw.

## Live vs. Redaktions Modus

Während der technische-Entwicklung, mussten die Projektbeteiligten parallel die Webseite mit Inhalte und Informationen befüllen. Daher wurde zunächst ein Konzept/Mechanismus, für die Unterstützung der Redaktion während der Entwicklung integriert. Dafür wurde die Ansicht für den Redakteur/Editor einfach um ein Edit-Button ergänzt (ausschnitt xyz).



**Abbildung 41: Auszug aus dem Editor-Ansicht in der Informationssammlung**

Diese Ansicht wird nur für den Editor freigeschaltet. Der End-Nutzer dagegen darf nur auf die normale Ansicht zugreifen ohne die Option des Editierens. Das Edit-Button erscheint nur im Edit-Modus und gibt dem Editor die Möglichkeit von der normalen Informativen Ansicht, die von ihm hinzugefügte Texte und Inhalte anzupassen sowie neue hinzuzufügen. (siehe Ausschnitt xyz). Sobald der Editor das Edit-Button betätigt wird das Button Grün und er kommt in die nächste Ansicht zum Editieren.

Technisch gesehen, wurde im Code ein Edit-Tag benutzt, dass es ermöglicht einfach mittels einer IF-Anweisung zwischen den zwei Modi zu wechseln. ergänzend dazu soll es in der „env“-Datei, die Environment variable APP-ENV auf „Editorial“ gesetzt für den Editor-Modus und dazu bedarf es eine neue Composer-Datei zu definieren mit bestimmten Konfigurationen. Die neue Composer Datei beinhaltet befehle für das herunterladen und installieren von zusätzlichen Pakete, die nur für den Edit-modus notwendig sind, wie beispielsweise die Pakete für die Benutzung von einem Text Editor (ck-Editor, <https://ckeditor.com/>). Diese Composer-Datei wird nur auf dem Live-Server installiert. Für den Produktiv-Server wird eine andere Composer-Datei benötigt.

### Kontinuierliche Integration (CI-System)

Damit die Projektbeteiligten auch während der Entwicklung die neuen implementierten und hinzugefügten Features in der Web-Applikation sehen und verwenden können, wurde ein „continuous Integration“ kurz CI Vorgehen verfolgt.

Auf der technischen Seite wurde ein Jenkins CI-System (<https://www.jenkins.io/>) aufgesetzt. Somit können fortlaufend die neu- bzw. weiterentwickelten Komponenten zu der Software zusammengefügt und gleichzeitig „live“ getestet und durch die Redaktionsbenutzer angewendet werden. Das CI-System ist so konfiguriert, dass es auf den Entwicklungsast (engl. Branch) des Versionierungsservers lauscht, in unserem Fall wurde dieser durch eine verteilte GIT-Versionsverwaltung realisiert. sobald eine neue Änderung im GIT eing检echeckt wird, startet ein automatisierter Kompilierungsprozess (engl. build) der Software. Das gesamte System wird neu gebaut und somit auch werden neue Hinzugefügte Pakete, Anforderungen, Anpassungen und Datenbank- Einträge auch aktualisiert.

Das hochladen und neu Bauen einer neuen Version der Seite kann zu Konflikte und Probleme führen. Das Problem taucht auf wenn das System eine neue Version neu Baut während gleichzeitig der Editor seine Inhalte einpflegt. So kann die eingebrachte Arbeit des Editors verloren gehen. Außerdem kann die Arbeit von einem Editor die Arbeit von einem anderen beeinträchtigen falls sie gleichzeitig am gleichen Wissensinhalt was ändern. Deswegen wurden den Partnern Zeitslots verteilt und somit können Überlappungen zunächst vermieden werden. Außerdem können die beteiligten, durch die herkömmlichen Kommunikations-Kanäle (Telefon, Emails...) sich spontan abstimmen wann wer was bearbeitet. Das Bauen des Systems kann einige Minuten dauern (während des Bauens wird alles neu initialisiert und installiert), es wurde deswegen auch ein Mechanismus eingebaut um jegliche Zugriffe

auf der Webseite währenddessen zu vermeiden (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Die Struktur der Daten in die Datenbank wird ebenfalls immer aktualisiert. Bei der Aktualisierung bleiben die Inhalte bleiben auf den unterschiedlichen Servern erhalten, nur das Datenbankschema und die Tabellen werden angepasst. Ein „Migration „(vgl. Oben) Befehl wurde aus diesem Grund im Composer hinzugefügt und wird immer beim Updaten einer neuen Version durchgeführt.

### 5.5.2 Werkzeuge zur Modellhandhabung

Der Projektpartner KIT konnte im Rahmen des Vorhabens für die entwickelte Schnittstelle verschiedene in das Projekt eingebrachte prototypische Werkzeuge weiterentwickeln bzw. ergänzende Prototypen umsetzen. Im Folgenden werden diese Werkzeuge zur BIM Modellhandhabung für eine Planungsunterstützung auf Seiten der BIM-basierten Integralen Planung vorgestellt.

#### BIM2LCA Lexikonserver – einheitliche externe Datenvorhaltung

Im Rahmen des Projekts wurde die Notwendigkeit zur Entwicklung einer einheitlichen Datenhandhabung von verteilten Informationen als Baustein der Schnittstelle erkannt. Hierzu wurde der Ansatz des buildingSMART Datadictionary sowie vorhandener Materialklassifikationen aufgegriffen und eine bedarfsgerechte Lösung für das Projekt prototypisch umgesetzt.

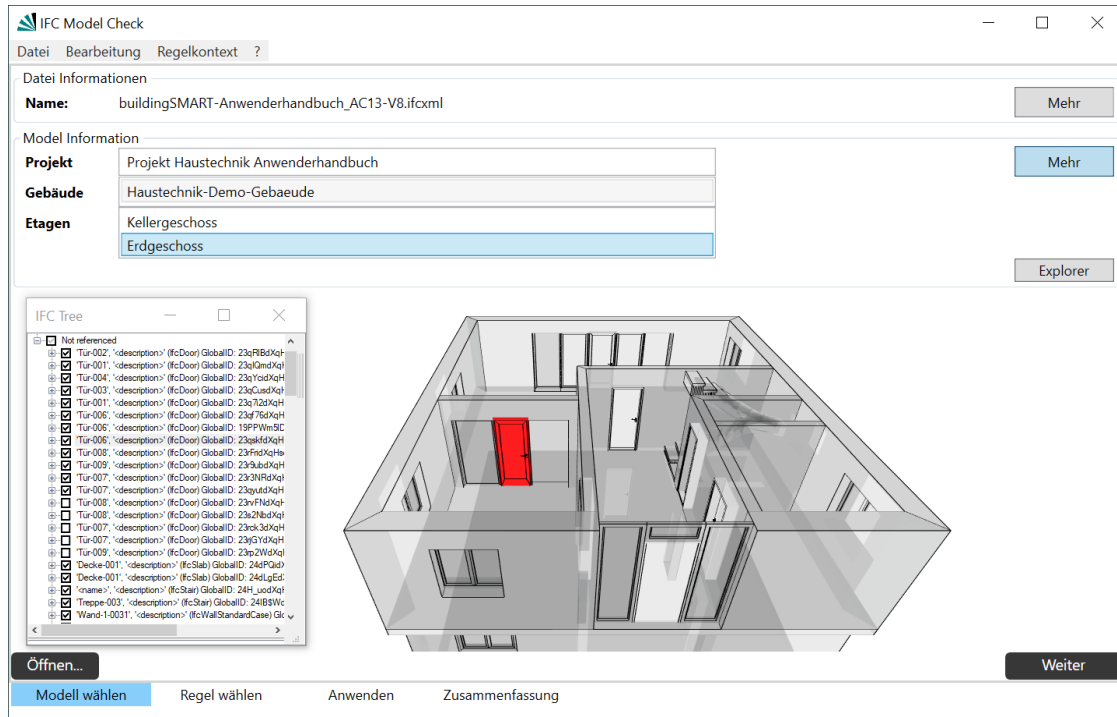
- Materialklassifikation – buildingSMART data dictionary Ansatz bsDD für die bestehende Klassifikation aus dem österreichischen Ansatz der FreeClass umgesetzt in einem prototypischen Server. Webservice kann zur Auszeichnung von IFC Referenzen im BIM Modell verwendet werden. URI: [material.bim2lca.org/\[concept\]/\[ID\]](http://material.bim2lca.org/[concept]/[ID])
- lifecycleDB – Vorkonfigurierte LCA Datensätze gemäß des entwickelten LIFECYCLE Elements vorgehalten. Per Webservice kann der LCA-spezifische Datensatz entweder, gleichsam die Materialinformation der Klassifikation, als Referenz im Modell extern verwiesen werden oder mittels XSLT Transformation direkt als 1.) natives IfcLifecycle Element bzw. 2.) intermediates IfcComplexProperty Psba\_Lifecycle in das BIM Modell importiert werden. URI: [lifecycleDB.bim2lca.org/\[concept\]/\[ID\]](http://lifecycleDB.bim2lca.org/[concept]/[ID])

#### Regelbasierte Softwareanwendung IFC Model Check

Mit insgesamt vier Arbeitsschritten, zusammen mit der Auswahl des Modells, befähigt das Model Check Werkzeug, das auch als Hauptwerkzeug der gesamten Software den Namen gibt, den Anwendenden zur regelbasierten Modellprüfung und -analyse. Die Schritte sind durch die vier nacheinander freigeschalteten Schaltflächen am unteren Fensterrand ansteuerbar:

- Modell wählen
- Regel wählen
- Anwenden
- Zusammenfassen

Nach der Modellauswahl werden die im Werkzeug hinterlegten Regeln zur Prüfung bzw. Analyse des Modells in einer Regelbibliothek präsentiert. Wie in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben stehen dabei zwei unterschiedliche Regelarten zur Verfügung.



**Abbildung 42 Prototyp IFC ModeCheck – Modellansichtsfenster (RDF IfcEngine DLL Viewerkomponente)**

Mit der Auswahl einer oder mehrerer Regeln wird der dritte Arbeitsschritt freigeschaltet, in dem die Regeln auf das Modell angewendet werden. Während des Vorganges informieren Ereignisnachrichten in einem Konsolenfenster den Anwendenden in Echtzeit über den Ablauf der einzelnen Regeln. Nach der Durchführung wird mit der Berichtsansicht der vierte und letzte Arbeitsschritt im Model Check zu der aktuellen Modellprüfung freigeschaltet. In einer der übersichtshalber mittels Baumdarstellung präsentierten Liste werden alle Ereignisse jeweils unterhalb des entsprechenden Bezeichners der Regel verschachtelt aufbereitet. Den Anwendenden wird es ermöglicht zu jedem Eintrag im Ergebnisbericht entsprechende Kommentare hinzuzufügen. Über eine Schaltfläche kann der Bericht in Form eines Tabellendokuments zur Weiterverarbeitung im Planungsprozess exportiert werden.

Alle Schritte des Werkzeugs können beliebig iteriert werden, wobei jeweils dem Anwenden mit Warnhinweisen mitgeteilt wird, falls bereits abhängig (Teil-) Ergebnisse durch die Änderungen ungültig würden. So wird beispielsweise bei Auswahl einer weiteren Regel ein bereits zusammengestellter Ergebnisbericht gelöscht und das Berichtsfenster gesperrt bis die neue Regelauswahl auf das Modell angewendet wurde und eine entsprechend aktualisierter Bericht verfügbar ist.

### Formal und strukturelle Prüfregeln

Formal strukturelle Prüfregeln bilden dabei zu den in der IFC Modellsicht definierten obligatorischen Beschreibungskonzepten entsprechende Existenzkontrollen ab. Fundamental für die Abbildung der Randbedingungen der LCA sind beispielsweise der Bezug zu im Modell verwendeten Einheiten und Bezugsgrößen. Da diese in IFC im Projektelement abgebildet werden, muss dieses vorhanden sein. Erst nach dieser grundlegenden Existenzprüfung werden die Inhalte geprüft, wie im Beispiel die weiteren im Modell vorhandenen Bezugsgrößen. Neben den fundamentalen und gemäß dem IFC Schema einheitlich in der Modellinstanz abzubildenden Elementen ermöglicht das flexible objektorientierte Modellformat auch verschiedene Abbildungsarten. Mit Blick auf die Praxistauglichkeit der definierten MVD wurde diese Flexibilität weitestgehend erhalten. So ist beispielsweise möglich

sowohl die einzelnen Schichten eines Wandbauteils als eigenständige Objekte mit eigenen Geometrien und Mengen- bzw. Maßangaben zu modellieren oder die Schichtinformation aggregiert dem Wandobjekt als alphanumerisches Attribut in einer Wandeigenschaft anzuhängen. Bezüglich der für die LCA relevanten Materialinformationen bedeuten diese beiden alternativen Beschreibungsverfahren, dass sie an unterschiedlichen Stellen im Modell verortet werden. Zum einen sind jeweils einzelne Materialobjekte den eigenständigen Schichten zugeordnet, zum anderen werden mit einem speziellen Aggregatselement die verschiedenen Materialien an das Wandobjekt selbst verknüpft. Das Beispiel verdeutlicht, dass die Prüfregeln, um alternative Abbildungen der Information in der Modellstruktur berücksichtigen zu können, jeweils mit den entsprechenden Existenzprüfungen zusammen ausgeführt werden müssen. Hierfür sind alle Prüfregeln in sogenannten Regelsätzen gruppiert. Indem dabei mit einer Referenz auf die in eigenständigen Dateien gekapselten Regeln verwiesen wird, kann eine Regel in verschiedenen Sätzen beinhalten sein. Damit können Prüfungen für alle in der MVD festgelegten Modellierungsfälle mit entsprechend zusammengestellten Regelsätzen abgebildet werden die den Anwendenden über ihre Bezeichner bedarfsorientiert zur Auswahl dargestellt werden.

### **Fachlich inhaltliche Analyseregeln**

Diese bereits innerhalb der Regelsätze aufeinander aufbauenden Prüfregeln bilden auch die Grundlage an Prüflogik für die Inhalte der Planungsmodelle, an denen Analyseregeln angesetzt werden können, wie beispielsweise zur Prüfung baufachlicher Sachverhalte. Da im Projektkontext durch einen Praxispartner für den Anwendungsfall der Gebäudebewertung bereits ein SBA-Werkzeug durch Implementierung der MVD-basierten Schnittstelle den Mehrwert des Schnittstellenansatzes im Zertifizierungsprozess am Ende der Planungsphase demonstriert, konzentrieren sich die für das IFC Model Check Werkzeug im Projekt avisierten Analyseregeln auf die fachlichen Fragestellungen in den frühen Planungsphasen. Um beispielsweise im Rahmen eines Variantenvergleiches die von Seiten LCA im Planungsmodell angereicherten Umweltwirkungen zu den Varianten entsprechend vergleichend auswerten zu können. Diese ebenfalls durch ihre Bezeichner dem Anwendenden aufbereiteten Analyseregeln stehen in der Regelbibliothek der Auswahlansicht zur bedarfsorientierten Zusammenstellung einer Modellprüfung und/oder Analyse zur Verfügung.

### **Modelleditierung – IFC Anpassungsregeln und XML Datenbank**

Zur Ergänzung der nicht mit den derzeit verfügbaren CAD-Systemen erzeugbaren Elemente der entwickelten MVD Schnittstelle im IFC-Modell wurde im Rahmen des Projektes ein weiteres Werkzeug entwickelt. Aufgrund der oftmals sehr umfangreichen BIM-Modelle, wurde dabei im Gegensatz zum Einlesen des gesamten Modells in den Speicher des Rechners, wie es beim Model Check Werkzeug realisiert worden ist, eine Zwischenspeicherung in einer nativen XML-Datenbank als Bearbeitungsspeicher umgesetzt. Dies ermöglicht es große Datenmodelle nach einmaliger aufwändiger Ablage in der Datenbank sehr performant zu bearbeiten. Die hinterlegte Manipulationslogik ist dabei im offenen Abfrageskriptstandard XQuery verfasst. Mittels der Update Komponente in diesem Standard können die Datenmanipulationen beschrieben werden. Da es sich im Rahmen des Forschungsprojekts bei den Editierungsmöglichkeiten um ergänzende, randständige Eingriffe in ansonsten im BIM-Autorensystem modellierten BIM-Modell handelt, wurde die Eingabemaske in der Benutzeroberfläche für die einzelnen Anpassungsfälle, wie das Hinzufügen einer Katalogreferenz, sehr schlicht und formularartig gehalten. Zu besserer Orientierung ist die Oberfläche des Werkzeuges in die ebenfalls im Modellansichtsfenster befindlichen Modellexplorer integriert (vgl. Schaltfläche *Explorer* in Abbildung 42). Damit wird dem Anwendenden ein schnelles Ein- und Ausblenden der Modellvisualisierung zu ggf. erforderlichen Orientierung im Modell ermöglicht. Der Modellexplorer selbst ermöglicht das Typbezogene Abfragen der Modellelemente sowie deren Abbildung in einer Baumdarstellung. Nachdem der Anwendende mit dem Explorer zu einem bestimmten Modellelement navigiert hat, können spezifische Manipulationsfunktionen für das

Element im Model Editor Werkzeug mit dem Wechsel in den Editiermodus eingeschaltet werden. Wenn beispielsweise auf ein Materialobjekt navigiert wurde, kann diesem über die entsprechende Schaltfläche eine Katalogreferenz zur Materialklassifikation hinzugefügt werden bzw. diese abgeändert werden. Die mit dem Werkzeug ermöglichten Anpassungen befähigen die Planenden ihre Modelle für die Verwertung in den Werkzeugen der LCA bzw. SBA vorzubereiten. Es bildet derzeit noch einen wichtigen Baustein in der Werkzeugkette, dessen Aufgabe langfristig durch eine intendierte Implementierung der MVD Schnittstelle im Zuge ihrer Standardisierung in weiteren Autorenwerkzeugen, von diesen übernommen werden könnte.

### 5.5.3 Ökobilanzwerkzeuge

#### GENERIS

Zur Auswertung von Umweltwirkungen und Aufbau von Datenbanken mit Umweltinformationen würde das Tool GENERIS® angewendet.

Generis® (ehemalig SBS-Tool oder GaBi3 Tool) ist ein Nachhaltigkeitsbewertungstool, das auf der Struktur des ehemaligen SBS-Webtools des Fraunhofer IBP entwickelt wurde. Der Nutzer hat die Möglichkeit, auf Basis der deutschen Umweltdatenbank Ökobau.dat und der europäischen Datenbank ESUCO Gebäude und Gebäudeelemente zu modellieren.

Es wird ein dreistufiger hierarchischer Rahmen festgelegt und drei Detaillierungsebenen (Level of Details, LoD) unterschieden (siehe Abbildung 43).

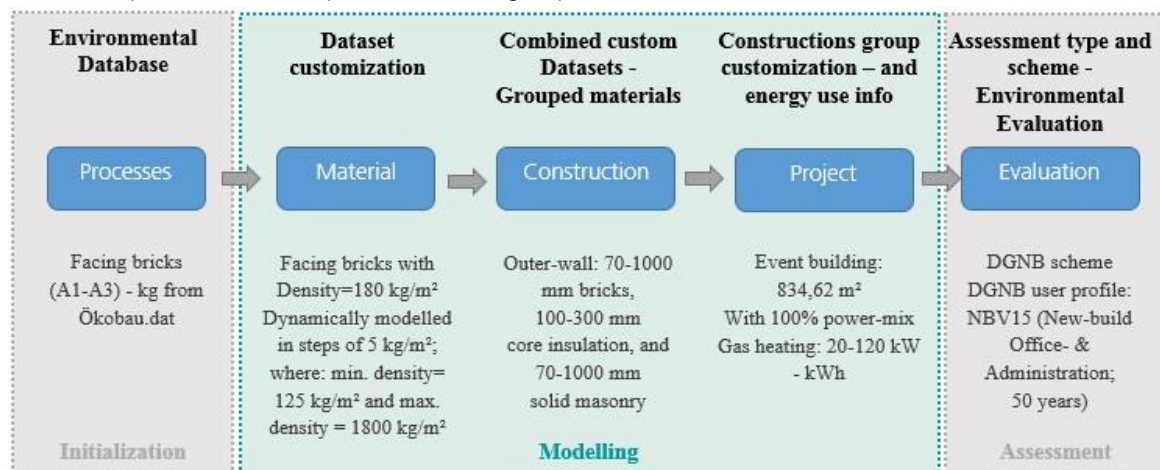


Abbildung 43: Architektur von GENERIS® (Jorgji u.a., 2020)

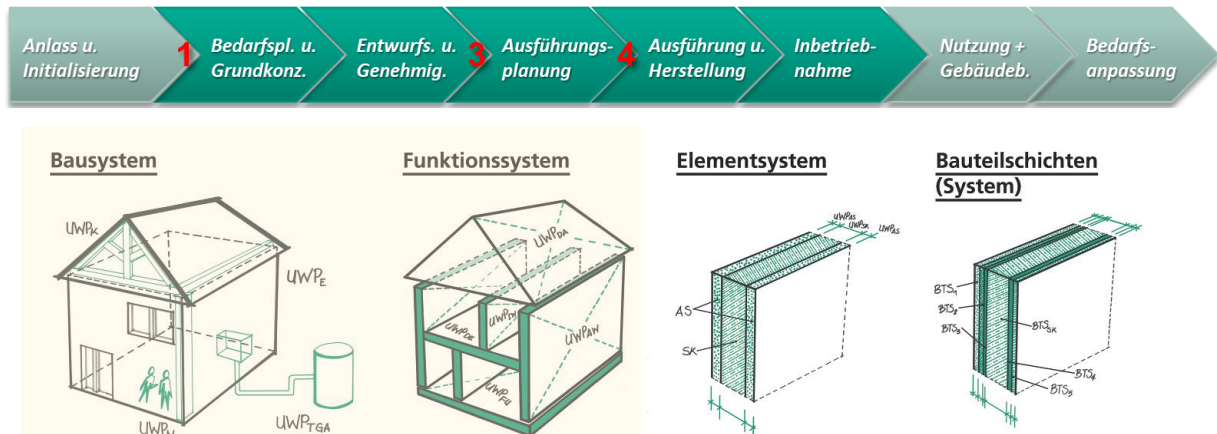
- **Prozesse** sind Datenbankeinträge und die Grundlage für Auswertungen bestehend aus Baustoffen, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen.
- **Konstruktionen** bestehen aus verschiedenen Schichten, nämlich Prozesse, und definiert nach DIN 276 Kostengruppen die und entsprechende Bezugseinheiten (z.B.: m<sup>2</sup> für Außenwände).
- **Projekte:** hergestellt durch unterschiedliche Konstruktionen und weitere Angaben zur Betriebsphase, (Strom- und Wärmeverbrauch, Energiequelle und Photovoltaik-Gutschrift).

Vorteil von dem angewendeten Tool ist die Darstellung der Ergebnisse. Die Ergebnisse der Umweltanalyse können unabhängig vom Modellierungsprozess in verschiedenen Bewertungsschemata in derselben Qualität dargestellt werden. Datenformate sind XLSX- oder HTML-Dateiformat, die können direkt vom Nutzer heruntergeladen werden. Das Tool bietet auch den direkten Export von Excel in die DGNB-Einreichung.



## Tabellentool (Benchmark)

Das in Kapitel 5.1 und Kap. 5.2 dargestellte Phasenmodell zeigte, dass sich Ökobilanzinformationen in einem schrittweisen Prozess in definierten Baudetailstufen entsprechend den Phasen des integralen Planungsprozesses der HOAI ableiten lassen. Die Ausführlichkeit solcher Informationen hängt hauptsächlich von den betrachteten Gebäudeebenen ab: Gesamtgebäude, Funktionssystem, Elementsystem und Bauteilschichten (Abbildung 44).



**Abbildung 44:** Schematische Darstellung der Konkretisierungsstufen der Gebäudeplanung und Planungsprozesses

Basierend auf diesem Konkretisierungsmodell von Gantner (Gantner u.a., 2018), ist in Di Bari u.a. (Di Bari u.a., 2019) eine Methodik dargestellt, die zu der Vergleichbarkeit von Ökobilanz-Informationen auf den frühen Planungsphasen (Phase 1-2 aus der Abbildung) der Gebäudeplanung dient.

Die Informationen werden schrittweise fragmentiert, auf den detailliertesten Wert reduziert und je nach ihrer Eigenschaft (deskriptiv, quantitativ und boolean) konvertiert, um eine vollständige Automatisierung durch informatische Instrumente einzurichten.

In den ersten Phasen des Planungsprozesses (Anlass und Initialisierung (1) und Bedarfsplanung und Grundkonzeption (2)) werden die allgemeinen Merkmale des Gebäudes wie Nutzungsart, Kategorie (Ein- oder Mehrfamilienhaus, Schule etc.) sowie erste quantitative Vorgaben, nämlich Anzahl der Wohnungen, Räume, minimale Nutzungsflächen und Volume, von der etablierten Projektleitergruppe festgelegt (ISO9837 oder DIN277 Standards). Auf dieser Ebene sind wesentliche Informationen bereits verfügbar und eine erste Umweltauswertung des gesamten Gebäudesystems kann abgeschätzt werden. Tatsächlich geschieht dies indirekt, aufgrund einer noch geringes Bewusstsein für die Nachhaltigkeitsproblematik in dieser Anfangsphase der Planung. Nachhaltigkeitsexpertise wie auch Instrumente können genutzt werden, um die Entscheidungsfindung während des gesamten Projektmanagements auf der Grundlage von Umweltzielen zu unterstützen (Rexroth K., 2018). Auf deren Grundlage können Alternativen bewertet und ihre Auswahl mit Hilfe von Umwelt-Benchmarks die von einem Instrument abgeleitet werden, unterstützt werden. Dieses Tool beinhaltet in seiner Datenbank entweder verfügbare andere LCA-Ergebnisse aus vergangenen Projekten (Bottom-Up) oder normative Vorschriften (Top-Down).

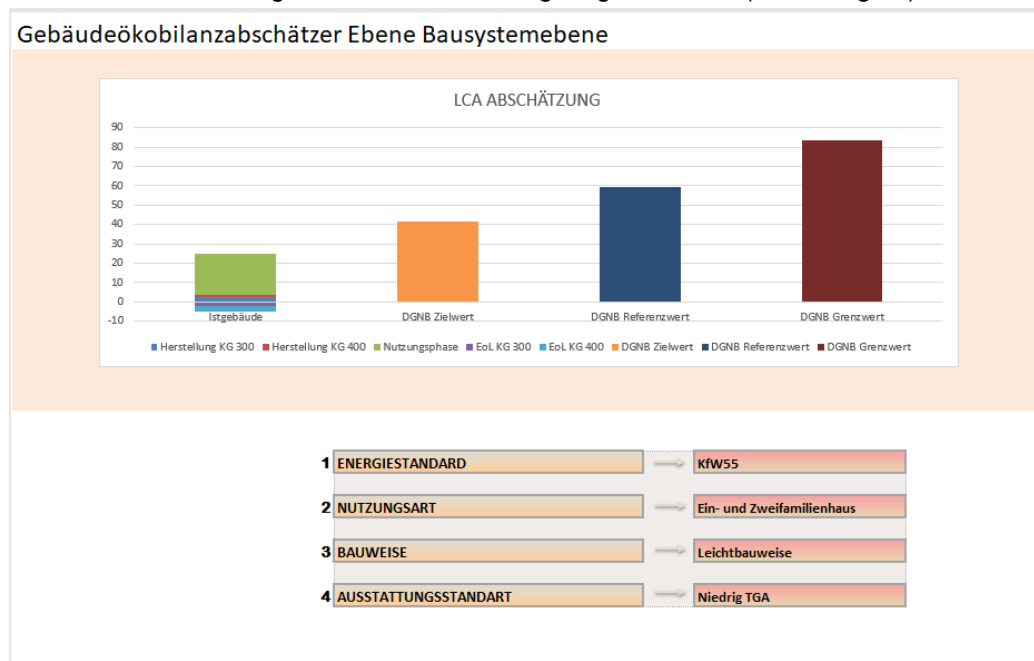
Die verfügbaren Projekte wurden in GENERIS ® modelliert und ausgewertet und kommen aus publizierten Projekt- und Konstruktionskatalogen (Fraunhofer IBP, Open House u.a.). Die berücksichtigten Vorschriften sind die gültige im deutschen Kontext, nämlich DGNB Benchmarks (Referenzwerten, Zielwerte und Grenzwerte).

Auf die Basis auch von solchen Informationen in der zweiten Phase stehen bei der Entscheidungsfindung die finanziellen Ressourcen und die Bewertung des Investitionsrisikos im Mittelpunkt. Hier werden Informationen aus der ersten Phase verarbeitet, wie z.B.



Grundstückspezifikation, Infrastrukturangebot, zulässige Hauptnutzung, vorgesehener Immobilienmarkt und Nutzer sowie weitere technische Spezifikationen (Gebäudestruktur, Geschosse, Gebäudeausrichtung) aufbereitet. Im Vergleich zur vorherigen Stufe können Alternativen auf der Ebene des Funktionssystems bewertet werden. Folglich wird das gesamte Gebäude in funktionale Systeme wie Außenwände, Böden oder Dach differenziert und für jedes dieser Systeme werden qualitative technische Anforderungen gestellt und mit der bereits vorgegebenen Geometrie. Für die Vergleichung von Ökobilanzergebnissen zwischen den zwei ersten Phasen des Phasenmodells, wurde ein aus dem Fraunhofer IBP Excel-Tool (Abbildung 45) und das Webtool Generis angewendet.

Das Excel-Tool wurde für die Erhebung von Ergebnissen aus früheren Bauprojekten und die Berechnung von Benchmarks für den Vergleich von Alternativen eingerichtet. Die Beispiele für Gebäude- und Funktionssysteme wurden aus früheren Projekten abgeleitet, die in der Datenbank Generis® (SBS-Onlinetool) verfügbar sind, und als statistische Werte genutzt, um Benchmarks auf der Grundlage typologischer Standards abzuleiten. Für die Initialisierung auf dem Bausystem, umfassen die ausgewählten Informationen allgemeine Ökobilanz-relevante Gebäudemerkmale wie Gebäudetyp, Nutzungsart, Energiestandard und Technische-Ausstattungsstandard. Die Variation der Hauptmerkmale führt zu unterschiedlichen GWP-Ergebnissen. Durch die Festlegung von z.B. einem oder zwei der Merkmale (Gebäudenutzungsart und Energiestandard) können für die übrigen Merkmale (Installationsstandard und Bautypen) unterschiedliche Konfigurationen in Betracht gezogen werden (Abbildung 45).



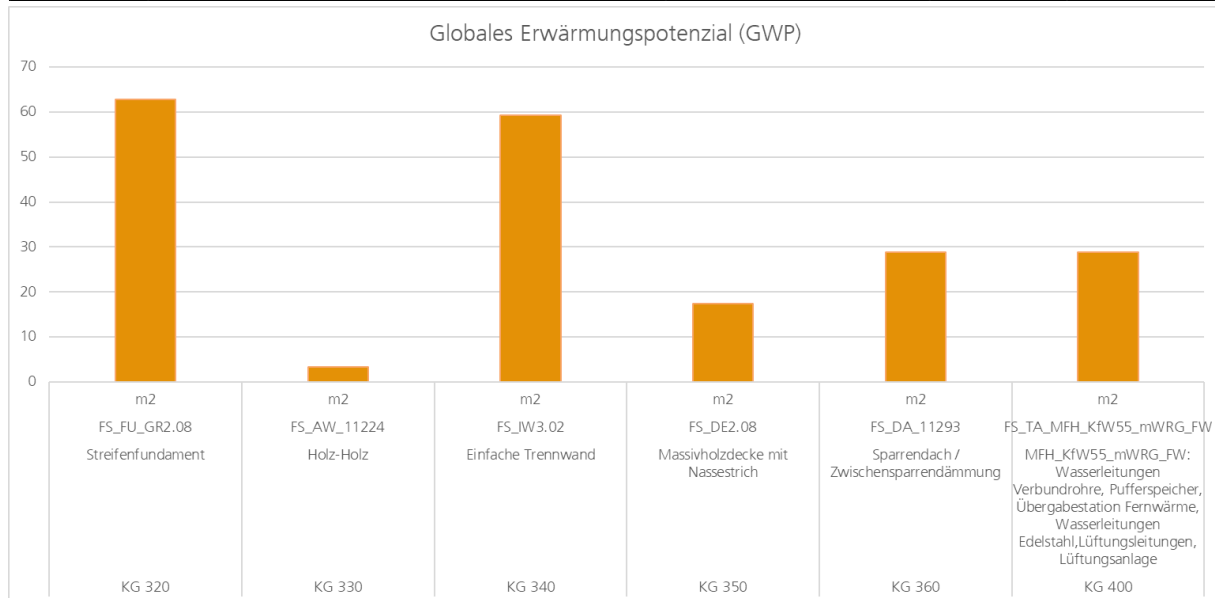
**Abbildung 45: Gebäudeabschätzungstool (Screenshot)**

Für die Definition eines funktionalen Systems können verschiedene Standardlösungen von Außen- und Innenwänden, Böden, Dächern und Installationssätzen durch vereinfachte BIM-Modelle aus der Generis-Datenbank abgeleitet werden. Im Unterschied zur der Analyse der ersten Phase (Bausystem) sind auf dieser Ebene die Installationssätze relevanter für die Endergebnisse, die nun in einer umfassenderen Form zur Verfügung gestellt werden.

Die Ergebnisse der LCA-Analyse, die aus der Modellierung des Funktionssystems im Web-Tool Generis® stammen, können mit dem Benchmark-Werten verglichen werden, die im Excel-Tool bereitgestellt und aus einem Pool vorheriger Projekte abgeleitet wurden (Abbildung 46).

## Umsetzung

KOSTENGRUPPE	KONSTRUKTIONSTYP	FUNKTIONSSYSTEM	BEZUGSGRÖßE	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)
KG 320	Streifenfundament	FS_FU_GR2.08	m2	62.88055695
KG 330	Holz-Holz	FS_AW_11224	m2	3.375089473
KG 340	Einfache Trennwand	FS_JW3.02	m2	59.28372848
KG 350	Massivholzdecke mit Nassestrich	FS_DE2.08	m2	17.44286182
KG 360	Sparrendach / Zwischensparrendämmung	FS_DA_11293	m2	28.79613965
KG 400	MFH_KfW55_mWRG_FW: Wasserleitungen Verbundrohre, Pufferspeicher, Übergabestation Fernwärme, Wasserleitungen Edelstahl, Lüftungsleitungen, Lüftungsanlage	FS_TA_MFH_KfW55_mWRG_FW	m2	28.77923185



**Abbildung 46 Beispiel Funktionssystemabschätzung- Tool. Numerische und graphische Ergebnisse für Globales Erwärmungspotenzial (GWP, Screenshot)**

Die Fallstudie von Di Bari u.a. (Di Bari u.a., 2019). zeigte, dass für die Anwendung der DGNB-Referenzwert NWO15-Profil für Wohngebäude (IWU 2005), Genauigkeit der von der Generis-webtool gelieferten Ergebnisse steht. Nichtsdestotrotz, müssen solche Tools Probleme aufgrund von Datenanforderungen und Unsicherheiten bewältigen. Die Meisten Unsicherheiten werden durch fehlende Informationen über spezifische Energieverbräuche sowie Sanierungs- oder Renovierungsmaßnahmen verursacht, die von den Gewohnheiten und Entscheidungen des Nutzers abhängen und allesamt erhebliche Unsicherheitsquellen für LCIA-Analysen darstellen. Selbst nach Fertigstellung des endgültigen Bauentwurfs und der Datenerfassung lassen sich die Umweltauswirkungen nicht mehr durch einen einzigen vertrauenswürdigen Wert darstellen, sondern besser durch eine Reihe von Werten, deren Breite oder Verteilung stark von Unsicherheiten abhängt. Die Lösungsfindung zur Verringerung der Unsicherheiten, die sich aus dem Umweltbewertungsprozess von Gebäuden in allen Phasen ergeben, wurde in diesem Projekt durch die LCA-Integration in BIM angestrebt.

### 5.5.4 Datenaustausch in der Werkzeugkette

Modellierung und den folgenden Datenaustausch in Generis® würden angeboten durch zwei Workflows (Jorgji u.a., 2020):

- **Szenario A (Full BIM):** Es werden Informationen über Gebäudegeometrie und -konstruktionen, Energiestandard und Gebäudetyp bereitgestellt. Der Benutzer hat das Ziel, eine abschließende Bewertung durchzuführen, die für die Einreichung der Zertifizierung bereit ist.

- **Szenario B (Frühe Phase):** Die Ergebnisse der Umweltverträglichkeit potentieller Lösungen müssen zur Entscheidungshilfe in verschiedenen Entwurfsstadien bewertet werden. Bestehende Konstruktionen aus Katalogen können in diesem Fall verwendet werden.

In beiden Fällen beginnt die Modellierung mit der Auswahl der Umweltdatenbank. Danach, im Falle von Szenario A, wurde ein Projekt durch die Zuweisung von Prozessen eingerichtet. Ausgewählten Prozesse wurden in einer Konstruktion bearbeitet, damit sie den angestrebten Dimensionen, Funktionseinheiten und End-of-Life-Wegen entsprechen.

Zur Suche nach umweltbezogenen Rückmeldungen für die Entscheidungsfindung (Szenario B), wurden vordefinierter Konstruktionen auf eine Liste von Gebäudekomponenten zugegriffen.

Ausgewählte Verfahren aus der Datenbank entsprechen dem für die Konstruktion relevanten Material oder technischen Bauteil. Die Prozesse sind direkt mit den Datensätzen von Ökobau.dat verknüpft. Konstruktionen wurden aus den verfügbaren Katalogen (Fraunhofer IBP, Open House, eigene Daten) in der Datenbank Generis® ausgewählt oder in eigenen Softwares modelliert werden. Jede Konstruktion ist der jeweiligen Kostengruppe (DIN 276) zugeordnet. Die Ebene der Konstruktionen umfasst sowohl Bauelemente, die die Struktur des Gebäudes prägen (Wände, Decken, etc.), als auch technische Komponenten (Wärmepumpe, PV-Kollektoren, etc.) Dynamische Funktionen haben die Analyse der Variationen der Umweltbelastung durch verschiedene Dickenkonfigurationen ermöglicht. Kundenspezifische Konstruktionen werden dann als Liste auf der Projektebene gruppiert und mit Informationen zum Strom- und Wärmebedarf sowie zum Energieerzeugungs- und -Versorgungssystem versehen (siehe Abschnitt Modelleditor Benchmarks).

## 6. Evaluation/ Dissemination und Reflexion

Wie in Kapitel 4.4 dargelegt wurde der Lösungsansatz des Projekts keinem praxisbezogenen Feldversuch unterzogen sondern mittels einer szenariobasierten Evaluation anhand von einem Fallbeispiel abschließend bezüglich seiner Lösungsqualität bewertet.

### 6.1. Fallbeispiel

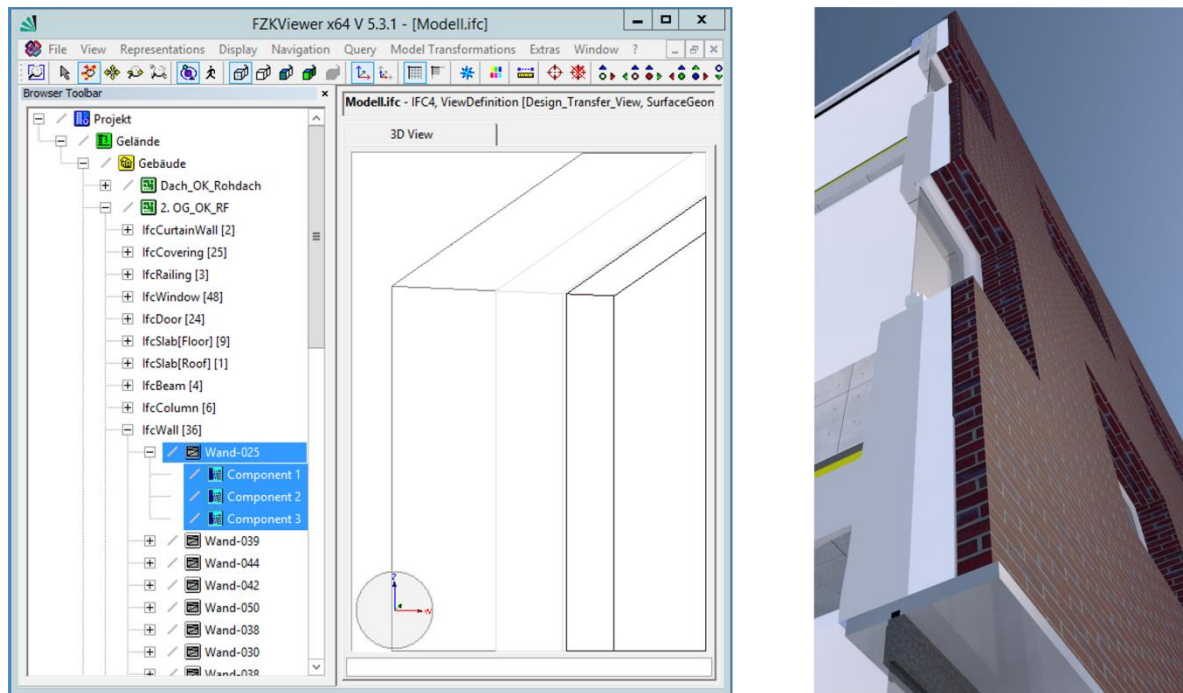
Um die entwickelte Schnittstelle durch Übertragung modellbasierter Daten von der Planungsseite an das LCA-Tool GENERIS und weiter an die SBA zu demonstrieren, wurde ein BIM-Modell des Lernzentrums auf dem KIT-Campus modelliert (Abbildung 47). Das Gebäude des Landes Baden-Württemberg wurde im Rahmen des Zukunft Campus-Projekts zur Modernisierung des KIT vom Landesamt für Immobilien und Bauwesen in Baden-Württemberg (Vermögen und Bau Baden-Württemberg, VBW) auf dem Universitätscampus errichtet. Neben der Hauptfunktion der Bereitstellung von Studienplätzen für Studenten in dem repräsentativen Glaswürfel, der ein Atrium umgibt, befinden sich hier auch Mehrzweck-Auditorien und Seminarräume sowie Labors.



**Abbildung 47** Aufbauend auf dem Campus des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) als Bewertungsmodell.

Das BIM-Modell wurde in einer gängigen Autorensoftware erstellt und aus dieser in den offenen BIM-Standard ifcXML 4 exportiert. Die räumliche Gesamtstruktur (Grundstück, Gebäude, Stockwerk und Raum) sowie gemeinsame Gebäudeelemente (Vorhangsfassade / Wand, Decke, Bodenplatte, Stütze usw.) konnte damit bereits modelliert werden. Darüber hinaus konnten durch die Modellierung spezialisierter zerlegter Bauteile bzw. -elemente und die Verwendung konfigurierter IFC-Profile auch die detaillierten Topologien in das IFC-Modell exportiert werden, z. B. das im FZK-Viewer dargestellte Wandelement (vgl. Abbildung 48). Dennoch mussten einige Unzulänglichkeiten behoben werden, um die Modellierungsqualität zu erreichen, die als Grundlage für die LCA-spezifischen Erweiterungen, die in der oben erwähnten Modellansicht definiert sind, benötigt wird.

Für die Wand mit den entsprechenden Materialien, beispielsweise in Abbildung 48, wurden die redundanten Materialobjekte für jede einzelne Schicht, die das CAD-System für jedes Wandvorkommnisses einzeln erstellt hatte, zu einem einzigen Typobjekt vereinheitlicht. Daher kann nur ein IfcWallType verwendet werden, um die gemeinsamen Eigenschaften aller tragenden Außenwände mit denselben Schichten darzustellen. Dadurch konnte die Modellredundanz und -größe signifikant reduziert werden. Diese Typobjekte, die auch Kostengruppen darstellten (gemäß DIN276), werden von den Einzelwandinstanzen im Modell referenziert. Zu dieser weiter verbesserten Gebäudeinformationsstruktur konnten die Datenanforderungen als Eingabe für die LCA-Tools hinzugefügt werden. Beispielsweise wurden die weiter zerlegten einzelnen Bauteiltypen des Wandelementtyps mit einer Verknüpfung zu einem Materialobjekt hergestellt, welches das Klassifizierungsreferenzobjekt enthielt, das auf ein bestimmtes Material (z. B. Beton) im externen Datenwörterbuch (vgl. Kapitel 0.) verwies. Zusätzlich zu dem Referenzobjekt, das auf einen (verallgemeinerten) Typ und damit auf diese gemeinsame Materialeigenschaft verweist, enthält die Instanz dieser Betonwandschicht (siehe Abbildung 48) einen bestimmten Modellmengensatz (eng. quantity set), der den alphanumerischen Wert des Volumens enthielt. Dieser Wert entspricht dabei dem in der Geometrie der Schicht dargestellten Volumen. Diese beiden Basiswerte könnten dann für die Ökobilanz verwendet werden, um das Gewicht der Schicht unter Berücksichtigung der Materialdichteigenschaft zu bestimmen, die auch mit dem Material verbunden war.



**Abbildung 48 Datenstruktur und BIM-Modell eines Abschnitts der tragenden Außenwand.**

In Tabelle 6 ist ein aggregierter Satz von Berechnungswerten für die äußeren tragenden Wände im ersten Stock des beispielhaft modellierten Gebäudes aufgeführt. In Bezug auf diese Werte ermöglichen CAD-Plattformen entsprechende Berechnungsfunktionen, wie sie auch für gängige modellbasierte Arbeitsabläufe, wie z.B. eine (normbasierte) Mengenermittlung (e.g. im Rahmen einer AVA) erforderlich sind. Die Möglichkeit, diese Werte im Rahmen des BIM2LCA MVD bei Bedarf direkt in eigens definierte IFC-Mengensätze (IfcQuantitySet) zu exportieren, ist eine innovative Funktion, die bisher nur von sehr wenigen Systemen unterstützt wird.

Construction Material	Layer (m)	Thickness	Layer (m³)	Volume	Layer Area (m²)
Facing brick masonry	0.115		28.087		244.24
Vertical air layer	0.01		2.499		249.89
Insulation, expanded polystyrene (EPS) rigid foam	0.16		39.7805		248.86
Concrete, ferroconcrete C20/25	0.25		59.5095		238.04

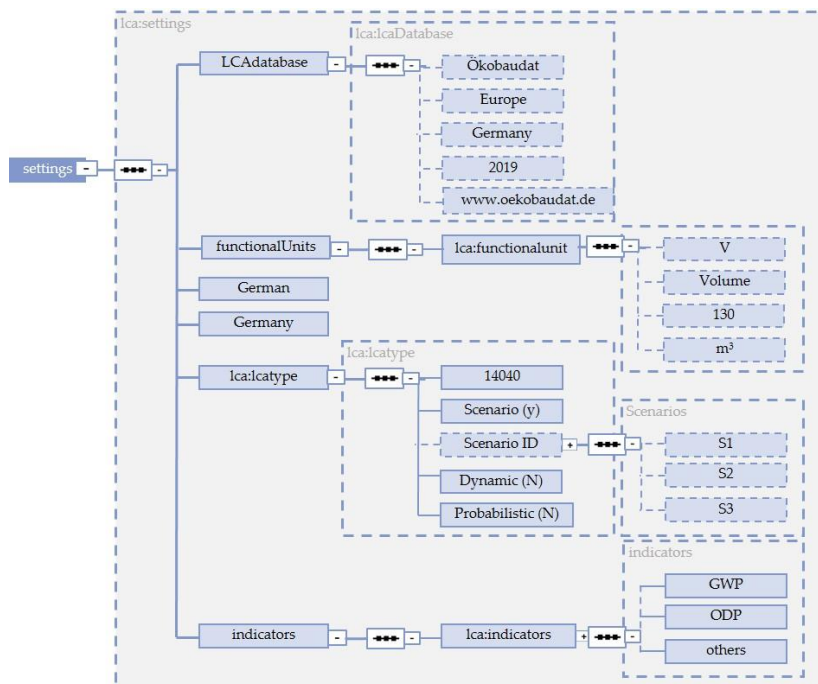
**Tabelle 6 Mengenummenge beispielhafter Elemente tragender Außenwände auf der ersten Ebene.**

Um eine breitere Palette derzeit verfügbarer Software zu unterstützen, können neben der erweiterten Möglichkeit in der MVD die alphanumerischen Aggregate, die aus den entworfenen Geometrien berechnet werden, in Mengenelementen darzustellen, diese auch in sogenannten Schichtensatzelementen (engl. layer set) gespeichert werden. Diese anstelle der Abbildung einzelner Schichten alle Schichtinformationen alphanumerisch in einem Element kapselnden Abbildungskonzeption stellt eine gängige IFC-Exportfunktion vieler CAD-Systeme dar. Hier muss vor der Berechnung des Gewichts, wie oben angegeben, das Volumen einer Schicht mit ihrer jeweils angegebenen Dicke und Fläche berechnet werden (Tabelle 6).

Im folgenden Beispiel wurde die Ökobilanzberechnung mittels eines modellbasierten Datenaustauschs von der Planungsseite durchgeführt, d.h. - BIM-basierte (Re-)Modellierung eines realen Gebäudes sowie dessen Optimierung zur vollständigen Einhaltung der in der MVD definierten Vorgaben - zum Ökobilanz-Tool GENERIS durchgeführt. Die Berechnung basiert dabei auf den Hauptschichten der (massiven) Betonaußenwand, der Dämmung und des Verblendmauerwerks (Abbildung 48 und Tabelle 6 auf der rechten Seite) mit geringfügigen Änderungen in den Ebenen Untergrund, Boden und

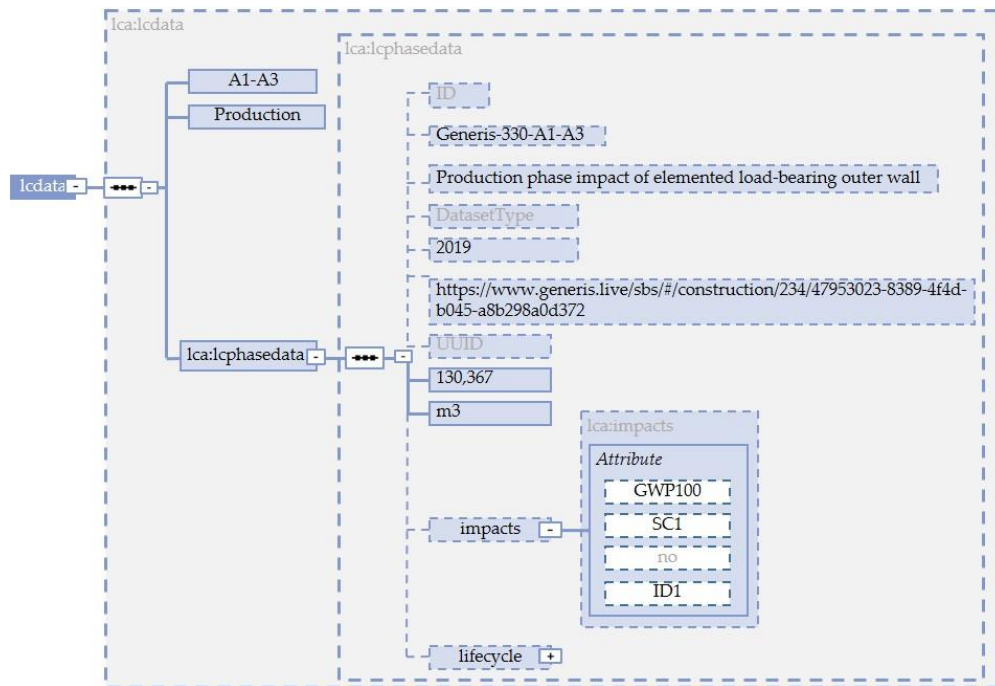
Dach.

Die Ökobilanz des angegebenen Wandbeispiels wird als XML-Schnipsel auf der Grundlage der gegebenen XML-Schema-Struktur bereitgestellt (siehe Anhang I). Abbildung 49 zeigt die zugrunde liegenden Einstellungen einschließlich aller erforderlichen Metainformationen zur Angabe der zugrunde liegenden Ökobilanz. Das in Abbildung 50 dargestellte Lebenszykluselement enthält die Kerninformationen zu den Ökobilanzergebnissen. Angesichts der Materialinformationen in Tabelle 6 gibt es immer noch einige Unklarheiten in den Eingabedaten, die eine Datenanreicherung erfordern. Das bereitgestellte XML veranschaulicht dies anhand von drei spezifizierten Szenarien. Das Basisszenario SC1 verwendet automatisch zugeordnete Datensätze aus Ökobau.dat, die das LCA-Tool GENERIS bereitstellt. In SC2 wird die Wärmeleitfähigkeit der EPS-Isolierung (die im Modell nicht angegeben ist) von  $0,040 \text{ W / m} \cdot \text{K}$  auf  $0,035 \text{ W / m} \cdot \text{K}$  geändert, was zu einem anderen Material und einem anderen Datensatz für Umweltauswirkungen führt. Das dritte Szenario (SC3) setzt die standardmäßigen End-of-Life-Entscheidungen (bei denen es sich um die materialspezifischen Szenarien handelt) durch ein konstruktionsbezogenes End-of-Life außer Kraft, da ein Massentrückbau angenommen wird. Die drei Szenarien verursachen keine Änderungen am Modell, zeigen aber die Spezifikationsoptionen an, die durch die Ökobilanz gegeben sind, selbst wenn die Modelle bereits relativ spezifisch sind. Die Ergebnisse können in Form von IFCXML in das BIM-Modell zurückgeführt werden.



**Abbildung 49** Beispielhafte LCA-Einstellungen in der Struktur des Lebenszykluselements, einschließlich der Spezifikation der LCA-Datenbank, der angewendeten Funktionseinheiten, des LCA-Typs sowie der angewendeten Indikatoren.





**Abbildung 50 Beispielhafte Ergebnisse in der Struktur des Lebenszykluselements für die Produktionsphase, das globale Erwärmungspotential (GWP) und Szenario 1**

## 6.2. Diskussion

Die vorgestellte Lösung zielt darauf ab, einen offenen und hochmodularen Ansatz für die Integration von BIM und LCA zu etablieren. Diese Gesamtstruktur bietet mehrere Vorteile gegenüber aktuellen Ansätzen. Es baut auf den verfügbaren Standards auf und soll in diese integriert werden. Durch den Standardisierungsprozess wird angenommen, dass die vorgeschlagene Lösung kritisch bewertet und somit verbessert wird. Die Standardintegration wird jedoch eine schnelle Anwendung des Ansatzes behindern, da Standardisierungsprozesse oft Jahre dauern.

Beim XSD sind Änderungen und Anreicherungen des IDM je nach SBA-Tool und Gebäudezertifizierung möglich. Die realisierte Datenstruktur ermöglicht automatisiertere Übermittlungsprozesse, die beispielhaft im Rahmen des neuartigen SBA-Tools GENERIS® und des DGNB-Zertifizierungssystems realisiert werden. Aus diesem Grund folgt die technische Spezifikation der Datenstruktur und des Inhalts der Softwarearchitektur und der Definition einer dreistufigen hierarchischen Struktur (Projekt, Konstruktionen und Ebenen). Neben dem LCA-Element sammeln zwei weitere Elemente Daten und Metadaten für eine Zertifizierung der Gebäudeumwelt. In dieser Hinsicht stellt der XSD derzeit eine spezifische Lösung für die deutsche DGNB dar. Dank der Flexibilität des LCA-Projektelements kann die XSD jedoch leicht geändert und für andere Einreichungen bei Zertifizierungssystemen erweitert werden. In Bezug auf das Ökobilanzprojekt zeichnet sich das Lebenszykluselement durch eine offene, flexible und erweiterbare Struktur aus. Selbst auf der detailliertesten Materialebene kann der BIM2LCA-Benutzer unbestimmte Ebenen für die LCA-Analyse definieren, indem er immer detailliertere Informationen zum Lebenszyklus eingibt. Darüber hinaus ist das Lebenszykluselement auf höheren Bau- und Projektebenen vorhanden, was die Analyse einer Gruppierung von Ökobilanzergebnissen ermöglicht. Folglich kann das Objekt leicht für alle SBA-Tools und BIM-Umgebungen angepasst werden.

Zusammen mit seinen Inhalten ist es im XSD möglich, die LCA-Analyseansätze zu erweitern. In der Tat können Mengen zunächst nicht nur in Form von Einzelwerten, sondern auch in Matrizen für eine Szenarioanalyse eingegeben werden. Darüber hinaus können Ökobilanzergebnisse in Form von Wertematrizen dargestellt werden, indem dynamische und sogar probabilistische Analysen ermöglicht werden. Diese letzte Darstellung der Ergebnisse ist besonders vorteilhaft für die Integration von

Umweltbenchmarks, während die Schnittstelle als Instrument zur Unterstützung der Entscheidungsfindung in frühen Planungsphasen verwendet wird. Schließlich kann das Element Prozesse ausführen, die zu verschiedenen Umweltdatenbanken und weiteren Indikatorsystemen gehören, indem die Datenbankspezifikationen und die Ökobilanzmethode zugewiesen werden. Aus technischer Sicht gibt es noch offene Fragen. Die Schnittstelle ist in geschlossenen BIM-Umgebungen aufgrund der verzögerten Implementierung von IFC-Standards noch nicht anwendbar. Darüber hinaus scheint die Implementierung in standardisiertem IFC in offenem BIM immer noch eine Herausforderung zu sein und erfordert weitere Anstrengungen in Bezug auf die Zusammenarbeit zwischen Softwareentwicklern sowie BIM- und LCA-Experten.

Da die Forschung zur Digitalisierung im Bausektor und zur Bewertung des Lebenszyklus mehr Beachtung findet, sollten der etablierte Ansatz und seine jeweilige Schnittstelle weiterentwickelt werden, um eine robuste Ökobilanzintegration zu erreichen. Unter anderem sollte die Schnittstelle angepasst werden, um eine prädiktive Bewertung des Lebenszyklus zu ermöglichen. Infolgedessen sollte die neu abgeleitete Schnittstelle Umweltentscheidungen in Bezug auf Produktentwicklung, Bau- und Konstruktionsprozesse sowie die Baubetriebsphase unterstützen. Diese ermöglichen robusterer Aussagen in der frühen Entwurfsphase unter begrenzten Informationsgrundlagen und unsicheren Randbedingungen, beispielsweise durch Bereitstellung von Benchmarks und statistischen Aufzeichnungen. Schließlich sollte die Interkonnektivität zwischen Gebäudemodellen und SBA-Tools verbessert werden, um explorative Entwurfsberechnungen und Entscheidungsunterstützung in Echtzeit in Bezug auf Umweltaspekte für die kontinuierliche Optimierung von Varianten und Alternativen zu ermöglichen.

### 6.3. Fazit

In dieser Arbeit wird der BIM2LCA-Ansatz mit der technischen Implementierung einer BIM-LCA-Schnittstelle über eine XSD-Datenstruktur für die Kompilierung und Übermittlung eines XML Instanzdokuments vorgestellt. Das IDM ist die Grundlage und Richtlinie für die Entwicklung einer standardisierten BIM-LCA-Schnittstelle, die hier in Form einer Tabelle gemäß ISO 29481-1: 2010 dargestellt wird. Die Spezifikation und die folgende Klassifizierung von Objektmerkmalen definieren einen standardisierten und automatisierten Planungsprozess, in dem Akteure in einer definierten Entwurfsphase spezifische Informationen eingeben. In dieser Arbeit haben wir insbesondere untersucht, wie die Verfügbarkeit und der Bedarf von Informationen während des gesamten Planungsprozesses berücksichtigt werden können. Dies hat Konsequenzen für den Informationsbedarf der Ökobilanz über den Planungs- und Gebäudelebenszyklus. Darüber hinaus wird die Vielzahl der zu verarbeitenden Informationen aufgezeigt. Dies ist ein relevantes Thema der integralen Planung, das zu hohen Anstrengungen bei der technischen Realisierung von IDM führt. Im Allgemeinen bietet der vorgeschlagene Workflow eine Strategie, die über die verfügbaren Ansätze hinausgeht. Er erfordert jedoch ein komplexes Setup, das in vorhandenen BIM-Umgebungen noch nicht direkt anwendbar ist. Die Umsetzung des vorgestellten Ansatzes in einer vollständig ausgereiften Planungsphase mit integriertem offenen Workflow erfordert eine weitere Konsolidierung, umfassende Prüfung und Harmonisierung des vorgeschlagenen Ansatzes sowie die Anpassung standardisierter Methoden wie IFC an die daraus abgeleiteten technischen Anforderungen.

Der vorgestellte Ansatz soll eine Diskussion anregen und mögliche Lösungen und Perspektiven für die Integration der Ökobilanz in die dynamisch digitalisierten integrierten Planungsprozesse in einem Kontext vorschlagen, in dem der Nachhaltigkeit von Gebäuden dringend mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Während es einige spezifische geschlossene BIM-Lösungen gibt, die BIM und LCA verbinden, präsentieren wir den ersten offenen, vollständig modularen und erweiterbaren Ansatz. Daher schlagen wir diesen Ansatz als Diskussions- und Entwicklungsgrundlage vor, die auf Standardintegration abzielt und die Möglichkeit für eine wirklich umfassende Integration von Ökobilanzen in die digitale Planung und Konstruktion schafft.



## 7. Ausblick

Aufgrund des generischen Forschungsansatzes werden die Projektergebnisse die Basis zu einer Übertragung auf weitere Anwendungskontexte der Integralen Planung bilden können. Für den Anwendungsfokus der Ökobilanzierung erscheint aber vor allem eine Übertragung der Erkenntnisse auf die urbane Ebene sinnvoll.

Eine weiterführende Forschungsarbeit wäre somit die Bewertung von größeren Betrachtungsperimetern (z.B. Stadtteile, Quartiere, Areale). Diese großmaßstäbliche Betrachtung öffnet den Blickwinkel und bildet einen Lebensraum ab. Daher kommt der Optimierung der Nachhaltigkeit(sperformance) und der Ressourceneffizienz in diesem Kontext künftig eine große Bedeutung zu, da in Bezug auf Dichte, Nutzungsmischung und induzierte Mobilität noch weitere Aspekte in die Betrachtung ein zu beziehen sind.

Neben der Anpassung an virtuelle Stadtmodelle (bsp. CityGML) bedeutet dies auch Überlegungen zur ebenenübergreifenden Skalierbarkeit der Bewertungs- und Simulationsmodelle. Ein wichtiger Punkt stellt hier die Frage der Informationsdichte dar. Sowohl auf Seiten des Stadtmodells wie auch bei den Berechnungs- und Bewertungsmodellen sind hier aggregierte typologische Ansätze sowie Skalierungskonzepte erforderlich, um trotz der hohen Komplexität der zugrundeliegenden urbanen Informationsbasis effizient kommunale Planungsentscheidungen unterstützen zu können.

Ebenfalls als forschungsrelevant erachten die Antragsteller die Fragestellung, inwieweit Nachhaltigkeitskriterien im Rahmen einer regelbasierten logischen Modellanalyse bereits direkt auf dem BIM-Modell aufbauend überprüft werden können. Dies impliziert auf methodischer Seite die Konzeption von Planungshilfsmitteln zur Erfassung und Modellierung der Nachhaltigkeitsanforderungen und Kriterien. Auf technischer Seite bedeutet dies eine Weiterentwicklung der bestehenden Ansätze zur semantischen regelbasierten Modellprüfung. Langfristiges Ziel wäre somit eine bereits parallel zur Modellierung stattfindende, semantische Evaluierung und Modellprüfung im Sinne eines semantischen planungsbegleitenden Nachhaltigkeitsmonitorings.

Bezugnehmend zu der derzeit hohen Aktualität des Themenfeldes der BIM-basierten Ökobilanz erscheint es zudem wichtig, die in diesem Projekt entwickelten Methoden, Modelle und Werkzeuge im Rahmen eines praxisbezogenen Anwendungsprojektes evaluieren und optimieren zu können. Dabei sollte auch ein Abgleich zu den derzeit über das BBSR initiierten Entwicklungen stattfinden.

# Literaturverzeichnis

- Alda, W.; Hirscher, J. (2016): Projektentwicklung in der Immobilienwirtschaft. 6. Aufl. Wiesbaden : Springer Vieweg
- Beetz, J.; Borrmann, A.; Weise, M. Prozessgestützte Definition von Modellinhalten; Springer Vieweg, Wiesbaden: Wiesbaden, Germany, 2015.
- Building Smart User Manual
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), 13.8.2018, <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/>.
- BMUB Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015): [https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v\\_2015/BNB\\_BN2015\\_512.pdf](https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v_2015/BNB_BN2015_512.pdf) [12.7.2018].
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Stufenplan Digitales Planen und Bauen: Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken, 2015.
- Both, P. v. (2010): Ein systemisches Projektmodell für eine kooperative Planung komplexer Unikate. Dissertation. Karlsruhe : Universitätsverlag, 2006Both, P. v. Aktuelle Ansätze zur Unterstützung interdisziplinärer Zusammenarbeit im Bauwesen. In Wissenschaft im Kontext: Inter- und Transdisziplinarität in Theorie und Praxis, 1st ed; Banse, G., Ed.: trafo-Wiss.-Verl.: Berlin, 2011; Volume 27, pp. 227–242.
- Both, P. v.; Ebertshäuser, S. BIM-basierte Hilfsmittel für eine integrale Planung. In Construction goes digital: Chancen, Risiken, Nutzen: Praxisreport 2017; Achammer, C.M., Kovacic, I., Eds., 2018.
- Both, P. v. Integrale Planung und BIM. In Building Information Modeling | Management: Methoden und Strategien für den Planungsprozess, Beispiele aus der Praxis; Herrmann, E., Westphal, T., Eds.: DETAIL: München, 2015.
- Both, P.v., Koch, V., Kindsvater, A.: BIM - Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan, Analyse der Potentiale und Hemmnisse bei der Umsetzung der integrierten Planungsmethodik Building Information Modeling - BIM - in der deutschen Baubranche und Ableitung eines Handlungsplanes zur Verbesserung der Wettbewerbssituation, Band F 2844, Fraunhofer IRB Verlag, 2013, ISBN 978-3-8167-8941-3
- Cavalliere, A Hollberg, G R Dell'Osso and G Habert Consistent BIM-led LCA during the entire building design process

DGNB System Version 2018 Archive - DGNB Blog

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen GmbH: Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude 2018, 2018.

DIN EN ISO 14040:2009 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen 13.020.10. Berlin: Beuth, 2009

DIN EN ISO 14044:2006 + A1:2018: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen 13.020.10. Berlin: Beuth, 2018.

DIN EN 15804:2012 + A2:2019: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; 91.010.99, Berlin: Beuth, März 2020,

DIN EN 15978:2014 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011 91.040.99, 9.12.2014. Berlin: Beuth Verlag.

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.

Di Bari, R.; Jorgji, O.; Horn, R.; Gantner, J.; Ebertshäuser, S. Step-by-step implementation of BIM-LCA: A case study analysis associating defined construction phases with their respective environmental impacts. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2019, 323, 12105, DOI: 10.1088/1755-1315/323/1/012105.

Dörner, Dietrich (1979): Problemlösen als Informationsverarbeitung. 2. Aufl. Stuttgart : Kohlhammer.

Ebertshäuser, S.; Both, P. v. Standardized Representation Of Typological Data As Common Input For Urban Performance Simulation. In Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA; Corrado, V., Gasparella, A., Eds., 2019.

Ebertshäuser, S.; Both, P. v.; Brüggemann, T.; Ochse, S.; Lauster, M.; Malhotra, A.; Frisch, J.; Remmen, P.; Müller, D.; Treeck, C.v.; et al. Unterstützung kommunalplanerischer Prozesse mit CityGML-basierter Anbindung Modelica-betriebener Quartierssimulation. In BauSIM 2018; Both, P. v., Wagner, A., Eds.: Karlsruhe, 2018.

Frischknecht, R., Wyss, F., Knöpfel, S.B. et al. Life cycle assessment in the building sector: analytical tools, environmental information and labels. Int J Life Cycle Assess 20, 421–425 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0856-0>

- Gantner, J., Lenz, K., Horn, R., von Both, P., & Ebertshäuser, S. (2018). Ökobau.dat 3.0-Quo Vadis? Buildings, 8(9), 129. <https://doi.org/10.3390/buildings8090129>  
Fulltext:: <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/9/129/pdf>
- Gantner, J.; et al. EeBGuide Guidance Document Part A: Products; FRAUNHOFER VERLAG, 2015.
- Gantner, J.; et al. EeBGuide Guidance Document Part B:Buildings; FRAUNHOFER VERLAG, 2015.
- Gantner, J., von Both, P., Rexroth, K., Ebertshäuser, S., Horn, R., Jorgji, O., ... Fischer, M. (2018). Ökobilanz - Integration in den Entwurfsprozess: BIM-basierte entwurfsbegleitende Ökobilanz in frühen Phasen einer Integralen Gebäudeplanung. Bauphysik, 40(5), 286-297. <https://doi.org/10.1002/bapi.201800016>
- Graf, K., Ebertshäuser, S., Both, P. von. (2019). Sustainability Assistant – Supporting Sustainable Building Design In Context Of Integral Planning. In: Corrado, V.; Gasparella, A.; (Hrsg.): Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA. International Building Performance Association (IBPSA). ISBN: 978-1-7750520-1-2.
- Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP, 2019): Generis® v.1.0. [www.generis-solution.eu](http://www.generis-solution.eu), Stuttgart, 2019
- HOAI (2013): Honorarordnung für Architekten und Ingenieure. Bundesgesetzblatt, Nr. 37, Teil I, 16. July 2013
- Alexander Hollberg, Thomas Lützkendorf, Guillaume Habert: Top-down or bottom-up? – How environmental benchmarks can support the design process, Building and Environment, Volume 153, 2019, Pages 148-157, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.026>.
- Hollberg, A.; Genova, G.; Habert, G. Evaluation of BIM-based LCA results for building design. Automation in Construction 2020, 109, 102972, DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102972. Huovila, P., Hyvärinen, J., Palos, S., Rekola, M., Chevalier, J., Fies, B., Lebegue, E.: Linking SBA metrics to IFCS and BIM.: Final Report. Building Information Modelling and Environmental Indicators. SB Alliance, 2012.
- International Energy Agency (IEA). IEA EBC Annex 72, Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings. Energy in Buildings and Communities Programme (EBC). Available online: <http://annex72.iea-ebc.org/> Institut Wohnen und Umwelt IWU 2005 – Deutsche Gebäudetypologie Systematik und Datensätze, [https://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Gebaeudetypologie\\_Deutschland.pdf](https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland.pdf), 2006 ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework

- ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines
- EN 15804:2012+A1:2013 + A2:2019 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products
- ISO 29481-1:2016. Building information models - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format. International Organization for Standardization (ISO). ISO (Hrsg.). 2016.
- Koggelmann, J.: Kurzinterview. In: Ganzheitliches Planen und Bauen, Broschüre Bayerische Ingenieurekammer- Bau, 2012, verfügbar unter: [http://www.bayika.de/de/service/publikationen/pdf/bayika\\_ganzh\\_planen\\_bauen.pdf.p](http://www.bayika.de/de/service/publikationen/pdf/bayika_ganzh_planen_bauen.pdf.p)
- Kohler, N. (2004): Life Cycle Analysis of Buildings, Groups of Buildings and Urban Fragments. In: Deakin, M.; Mitchell, G.; Nijkamp, P.; Vrekeer, R. (Hrsg.): Sustainable Urban Development: The Environmental Assessment Methods. Volume Two. London: E&FN Spon, 2004
- Kovacic, I. et al. Integrale Planung Leitfaden für Public Policy, Planer und Bauherren, Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Forschungsbereich Interdisziplinäre Bauplanung und Industriebau, TU Wien.
- Kreißig, J.: Gebäudeökobilanzen im Zertifizierungsprozess. BAU 2013, Vortrag; online verfügbar unter: [http://www.dgnb.de/fileadmin/de/dgnb\\_ev/Veranstaltungen/DGNB\\_auf\\_Messen/bau/Vortragsprogramm/BAU\\_2013Gebude-kobilanzeninPlanungundZertifizierung.pdf](http://www.dgnb.de/fileadmin/de/dgnb_ev/Veranstaltungen/DGNB_auf_Messen/bau/Vortragsprogramm/BAU_2013Gebude-kobilanzeninPlanungundZertifizierung.pdf)
- Neuberg, F.: Ein Softwarekonzept zur Internet-basierten Simulation des Ressourcen-bedarfs von Bauwerken, Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität München; 2004
- Nilsen, M.; Bohne, R.A. Evaluation of BIM based LCA in early design phase (low LOD) of buildings. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2019, 323, 12119, DOI: 10.1088/1755-1315/323/1/012119
- Potrč Obrecht, T.; Röck, M.; Hoxha, E.; Passer, A. BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review. Sustainability 2020, 12, 5534, DOI: 10.3390/su12145534.
- Randers, J., Rockström, J., Stoknes, P.E., Golüke, U., Collste D., Cornell, S. (2018): Transformation is feasible -How to achieve the Sustainable Development Goals within Planetary Boundaries. Stockholm Resilience Centre, Report, October 2018.
- Remmen, P.; Cao, J.; Ebertshäuser, S.; Frisch, J.; Lauster, M.; Maile, T.; Müller, D.; van Treeck, C. An openframework for integrated BIM-based building performance simulation using Modelica. In Proceedings of the 14th International Conference of the

- International Building Performance Simulation Association (IBPSA), BS2015, no. 2384, Hyderabad, India, 7–9 December 2015; Available online: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2015/p2384.pdf> (accessed on 23 January 2018)
- Rexroth, K., Both, P. V., Gantner, J., & Schmid, C. (2018). Ein Ansatz für die typologiebasierte Vervollständigung von Gebäudeinformationen zur Unterstützung der frühen Planungsphasen am Beispiel LCA. <https://doi.org/10.5445/ir/1000085748>  
Fulltext: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000085748/18712679>
- Rexroth, K.; Both, P.v. Integrale Planung: Merkmale zur Identifizierung und Initialisierung in der kommunalen Praxis. In PANTA RHEI - a world in constant motion: Proceedings of 22nd International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society : Tagungsband : 12-14 September, 2017, Vienna, Austria : REAL CORP 2017; Schrenk, M., Ed.: CORP: Wien, 2017.
- Rexroth, K.; Both, P.v.; Gantner, J.; Schmid, C. Ein Ansatz für die typologiebasierte Vervollständigung von Gebäudeinformationen zur Unterstützung der frühen Planungsphasen am Beispiel LCA; Karlsruhe, 2018.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, Walker B. J., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A. (2009): A safe operating space for humanity. Nature 461
- Schwaninger, M. Integrale Planung: Ein innovatives Konzept? Die Unternehmung 1988, 42, 123–136.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (Hrsg.) (1996): TOP Teamorientiertes Planen mit dem neuen Leistungsmodell 95 des SIA (LM 95).
- Stuhlmacher, K.: BIM-Aktivitäten außerhalb und innerhalb Deutschlands. Vortrag auf dem DIN BIM - Workshop „Normungsarbeiten zu BIM in Deutschland“ 11. September 2014, DIN e. V., Berlin, URL: [http://www.nabau.din.de/sixcms\\_upload/media/2377/DIN\\_BIM\\_Workshop\\_Vortrag\\_zu\\_BIM%20Aktivit%C3%A4ten%20au%C3%9Ferhalb%20und%20innerhalb%20Deutschlands\\_Stuhlmacher\\_2014-09-11.pdf](http://www.nabau.din.de/sixcms_upload/media/2377/DIN_BIM_Workshop_Vortrag_zu_BIM%20Aktivit%C3%A4ten%20au%C3%9Ferhalb%20und%20innerhalb%20Deutschlands_Stuhlmacher_2014-09-11.pdf)
- Stulz, R. (1991): Integrale Planung – mehr als ein Schlagwort? In: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, 1991. FHE Fachtagung ,91. Integrale Planung. SIA-Dokumentation D 083.
- Tritthart W, Staller H, Zabalza I, Malmqvist T, Peuportier B, Wetzel C, Hajpal M, Stoykova E and Krigsvoll G (2010) LoRe-LCA Low Resource consumption buildings and

constructions by use of LCA in design and decision making: State of the art report -  
Use of Life cycle assessment-Methods and tools

UN United Nations (2015): Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1

UNEP: Global Material Flows and Resource Productivity: An Assessment Report for the UNEP International Resource Panel. Paris: United Nations Environment Programme, 2016

Wastiels, L.; Decuypere, R. Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. In Proceedings of the IOP Conference Series Earth and Environmental Science, Graz, Austria, 11–14 September 2019; Volume 323

Zeiler, W.; Savanovic, P.; Quanjel, E.; Harkness, D.: Integral Design Method for Supporting Conceptual Building Design. In: Achten, H.; de Vries, B.; Stappers, P. (Hrsg.): Design Research in the Netherlands 2010. Universität Eindhoven, 2010. S. 167-184

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ablaufschema des Projektes mit Bezug zu den Arbeitspaketen.....	3
Abbildung 2	Integrierter prozessbezogener Ansatz auf zwei Ebenen – technische Ebene und Phasenmodell (von Both, KIT).....	28
Abbildung 3:	Metamodell (eigene Darstellung nach Rexroth und Both, 2017a) .....	32
Abbildung 4	Status Quo der BIM-Nutzung .....	35
Abbildung 5	Beurteilung des Benefit der BIM-Methode durch BIM-Anwender (Planer) .....	36
Abbildung 6	Zustimmungsverteilung 'Die verfügbaren Austauschformate für digitale Gebäudemodelle sind nicht durchgängig nutzbar.' .....	37
Abbildung 7	Zustimmungsverteilung 'Das Austauschformat IFC erfüllt unsere inhaltlichen und formalen Anforderungen für den Austausch der Modelldaten.' .....	37
Abbildung 8	internationale Normierungstätigkeiten und Akteure (Quelle: Raso Steinmann: VDI-BIM-Richtlinien der Nationale BIM-Standard für Deutschland, URL: <a href="http://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=File.download&amp;id=4200&amp;name=Steinmann(buildingSMART)_VDI2552National">http://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=File.download&amp;id=4200&amp;name=Steinmann(buildingSMART)_VDI2552National</a> .....	39
Abbildung 9:	Client-Server-Architektur .....	40
Abbildung 10	Konzeptidee zur generalisierten Schnittstelle BIM-LCA-Bewertung .....	41
Abbildung 11	Phasen einer Ökobilanz (DIN EN ISO 14040) .....	51
Abbildung 12	Allgemeiner Arbeitsablauf des vorgestellten Ansatzes zur Erweiterung der durch Wastiels und Decuypere definierten Strategien: IFC-basierte bidirektionale BIM-LCA-Integration .....	55
Abbildung 13	Multigranulare Informationssystematik der Schnittstelle .....	56
Abbildung 14	Bestandteile einer IDM Prozesskomponente im vereinfachten Beispielprozess Zertifizierung .....	57
Abbildung 15	LCA-Einstellungen in der Struktur des Lebenszyklus-Elements. Elemente mit durchgezogenen Linien gelten als obligatorisch; gestrichelte Linien stellen optionale Eingaben dar. .	60
Abbildung 16	Struktur des Lebenszyklus-Elements. Elemente mit durchgezogenen Linien gelten als obligatorisch; gestrichelte Linien stellen optionale Eingaben dar.....	61
Abbildung 17	Verschiedene LCA-Lösungsphasen des Ansatzes in Verbindung mit Planungsphasen.	62
Abbildung 18	IFC-basierte bidirektionale BIM-LCA-Integrationsstrategie für den angewandten Anwendungsfall .....	64
Abbildung 19	Kreisförmige Darstellung der IP Phasenmodells (Rexroth u.a. 2018) .....	66
Abbildung 20:	Gegenüberstellung von Phasenmodellen im europäischen Kontext (Graphik BLM/Rexroth).....	67
Abbildung 21	Geschäftskontext BIM2LCA4IP .....	76
Abbildung 22	Schematische Verortung Anwendungsfall Beurteilung Phase 01 im Phasenmodell .....	78
Abbildung 23	Anwendungsfall Beurteilung Phase 01 – „Initialer Designbrief“ .....	79
Abbildung 24	[Platzhalter] Anknüpfung AF Beurteilung Phase 02 .....	80
Abbildung 25	Anwendungsfall Beurteilung Phase 02 – „Funktionssysteme Bauteile“ .....	82
Abbildung 26	[Platzhalter] Anknüpfung AF Beurteilung Phase 03 .....	83
Abbildung 27	Ideelle Entwicklung von IDM von einem Objekt während Planungsprozesses. ....	86
Abbildung 28	Struktur der IDM-Tabelle .....	86
Abbildung 29	Beispiel aus IDM Tabelle.....	87
Abbildung 30	Anzahl und Art der Informationselemente während der Planungsphasen, die im vorgestellten IDM angegeben sind (Horn, Ebertshäuser et at., 2020) .....	88
Abbildung 31	Floor plans: a) First Floor, b) Roof .....	90
Abbildung 32	.....	90
Abbildung 33	.....	91
Abbildung 34	Energiebedarf von Fallbeispiel Gebäude (links) und EnEV 2014-Referenzgebäude (rechts) durch Verbraucher.....	95



Abbildung 35: Inhaltsstruktur der Informationssammlung .....	102
Abbildung 36: Merkmalsblöcke Tabelle „Generische Bauwerksanforderungen“ .....	103
Abbildung 39: 3-Schichten-Architektur der Informationssammlung .....	106
Abbildung 38: Kachelansicht in der End- und Editor-Nutzer Ansicht .....	107
Abbildung 39: Editor Ansicht eines Wissensinhaltes .....	108
Abbildung 40: Architektur der Informationssammlung .....	109
Abbildung 41: Auszug aus dem Editor-Ansicht in der Informationssammlung .....	111
Abbildung 45 Prototyp IFC ModeCheck – Modellansichtsfenster (RDF IfcEngine DLL Viewerkomponente) .....	113
Abbildung 43: Architektur von GENERIS® (Jorgji u.a., 2020) .....	115
<b>Abbildung 44:</b> Schematische Darstellung der Konkretisierungsstufen der Gebäudeplanung und Planungsprozesses .....	116
Abbildung 45: Gebäudeabschätzungstool (Screenshot) .....	117
Abbildung 46 Beispiel Funktionssystemabschätzung- Tool. Numerische und graphische Ergebnisse für Globales Erwärmungspotenzial (GWP, Screenshot) .....	118
Abbildung 47 Aufbauend auf dem Campus des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) als Bewertungsmodell. ....	120
Abbildung 48 Datenstruktur und BIM-Modell eines Abschnitts der tragenden Außenwand. ....	121
Abbildung 49 Beispielhafte LCA-Einstellungen in der Struktur des Lebenszykluselements, einschließlich der Spezifikation der LCA-Datenbank, der angewendeten Funktionseinheiten, des LCA-Typs sowie der angewendeten Indikatoren. ....	122
Abbildung 50 Beispielhafte Ergebnisse in der Struktur des Lebenszykluselements für die Produktionsphase, das globale Erwärmungspotential (GWP) und Szenario 1 .....	123

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Inhalte und Abfragekriterien für die generischen Bauwerksanforderungen .....	49
Tabelle 2: Phasenstruktur BIM-basierte Integrale Planung.....	64
Tabelle 3: Merkmale der Modelphasen BIM-IP (eigene Darstellung) .....	65
Tabelle 4 Bauteile und ihre Wärmedurchgangskoeffizienten .....	94
Tabelle 5 Bauteile und ihre Wärmedurchgangskoeffizienten (2) .....	94
Tabelle 6 Mengenmenge beispielhafter Elemente tragender Außenwände auf der ersten Ebene. ...	121

## Glossar

(e)BNB	(elektronisches) Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
AIA	Auftraggeberinformationsanforderungen
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BCF	BIM Collaboration Format
BEP	BIM execution plan
BIM	Building information modeling
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BPMN	Business process management notation
BPS	Building performance simulation
bsDD	BuildingSMART data dictionary
DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung
EPD	Environmental Product Declaration
EPS	Expanded polystyrene
FZK	Forschungszentrum Karlsruhe
GENERIS	Software name ( <a href="http://www.generis.live">www.generis.live</a> )
gbXML	Green building XML format
GWP	Global Warming Potential
IBP	Fraunhofer Institute for Building Physics
IDM	Information delivery manual
IFC	Industry Foundation Classes
IFCXML	XML variant of the IFC standard
IP	Integral planning
KIT	Karlsruhe Institute of Technology
LCA	Life cycle assessment
LCC	Life cycle costing
LCIA	Life cycle impact assessment
LOD	Level of development
MVD	Model view definition
PEF	Indicators EN15898
SBA	Sustainable building assessment
sbs	Software name ( <a href="http://www.sbs-onlinetool.com">www.sbs-onlinetool.com</a> )
SC	Scenario
VBW	Vermögen und Bau Baden-Württemberg
XML	Extensible markup language
XSD	XML schema definition



# ANHANG

## I. XML Instanzdokument zum Fallbeispiel

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<!--XML-Beispieldatei von XMLSpy generiert v2019 rel. 3 sp1 (x64) (http://www.altova.com)-->

<lca:dgnbdata xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:lca="http://127.0.0.1:8887/Schema-LCA-DGNB-final"
xsi:schemaLocation="http://127.0.0.1:8887/Schema-LCA-DGNB-final Schema-LCA-DGNB-final_V4.5.xsd">

  <lca:project>

    <title>Lernzentrum KIT</title>

    <projectId>20200601</projectId>

    <description>Zukunft-Campus project at KIT Karlsruhe</description>

    <lca:settings>

      <LCAdatabase>

        <name>Ökobaumat</name>

        <region>Europe</region>

        <subregion>Germany</subregion>

        <version>2019</version>

        <DatabaseURL>https://oekobaumat.de/</DatabaseURL>

      </LCAdatabase>

      <functionalUnits>

        <lca:functionalunit>

          <shortname>V</shortname>

          <description>Volume</description>

          <quantity>1</quantity>

          <unit>m3</unit>

        </lca:functionalunit>

      </functionalUnits>

      <language>English</language>

      <region>Germany</region>

      <lca:lcatype>

        <standards>ID1</standards>

        <scenarios>true</scenarios>

        <scenarioID>SC1</scenarioID>

        <scenarioID>SC2</scenarioID>

        <scenarioID>SC3</scenarioID>

        <dynamic>false</dynamic>

        <probabilistic>false</probabilistic>

      </lca:lcatype>

    </lca:settings>

  </lca:project>

</lca:dgnbdata>
```

```

</lca:lcatype>
<indicators>
  <lca:indicators indicatorID="GWP100">
    <indicatorName>Global Warming Potential 100
years</indicatorName>
    <shortDescription>GWP</shortDescription>
    <reference>CML 2001</reference>
    <exchangeDirection>out</exchangeDirection>
    <unit>kg CO2 eq.</unit>
  </lca:indicators>
  <lca:indicators indicatorID="ADPF">
    <indicatorName>Global Warming Potential 100
years</indicatorName>
    <shortDescription>ADPF</shortDescription>
    <reference>CML 2001</reference>
    <exchangeDirection>out</exchangeDirection>
    <unit>MJ</unit>
  </lca:indicators>
  <lca:indicators indicatorID="ADPE">
    <indicatorName>Global Warming Potential 100
years</indicatorName>
    <shortDescription>GWP</shortDescription>
    <reference>CML 2001</reference>
    <exchangeDirection>out</exchangeDirection>
    <unit>kg Sb eq.</unit>
  </lca:indicators>
  <lca:indicators indicatorID="PERT">
    <indicatorName>Primary energy renewable total</indicatorName>
    <shortDescription>PERT</shortDescription>
    <reference>CML 2001</reference>
    <exchangeDirection>in</exchangeDirection>
    <unit>MJ</unit>
  </lca:indicators>
  <lca:indicators indicatorID="PENRT">
    <indicatorName>Primary energy non-renewable
total</indicatorName>
    <shortDescription>PENRT</shortDescription>
    <reference>CML 2001</reference>
    <exchangeDirection>in</exchangeDirection>
    <unit>MJ</unit>
  </lca:indicators>

```

```

<lca:indicators indicatorID="ODP">
    <indicatorName>Ozone Depletion Potential</indicatorName>
    <shortDescription>ODP</shortDescription>
    <reference>CML 2001</reference>
    <exchangeDirection>out</exchangeDirection>
    <unit>kg CFC11 eq.</unit>
</lca:indicators>
<lca:indicators indicatorID="POCP">
    <indicatorName>Photochemical Ozone Creation</indicatorName>
    <shortDescription>ODP</shortDescription>
    <reference>CML 2001</reference>
    <exchangeDirection>out</exchangeDirection>
    <unit>kg Ethen eq.</unit>
</lca:indicators>
<lca:indicators indicatorID="EP">
    <indicatorName>Eutrophication Potential</indicatorName>
    <shortDescription>EP</shortDescription>
    <reference>CML 2001</reference>
    <exchangeDirection>out</exchangeDirection>
    <unit>kg P04 eq.</unit>
</lca:indicators>
<lca:indicators indicatorID="AP">
    <indicatorName>Acidification Potential</indicatorName>
    <shortDescription>EP</shortDescription>
    <reference>CML 2001</reference>
    <exchangeDirection>out</exchangeDirection>
    <unit>kg S02 eq.</unit>
</lca:indicators>
</indicators>
</lca:settings>
<lifespan>50</lifespan>
<constructions>
    <lca:construction>
        <name>Element load bearing outer wall</name>
        <constructionId>AW001</constructionId>
        <description>Outer wall Lernzentrum KIT - Concrete/masonry load
bearing element</description>
        <Tags>
            <tag>String</tag>
        </Tags>
    </lca:construction>

```

```

<classificationType>276</classificationType>
<classification>300</classification>
<quantity scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">1023486</quantity>
<quantity scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">1023486</quantity>
<quantity scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">1023486</quantity>
<unit>m3</unit>
<lifespan>50</lifespan>
<lifecycle>
    <lca:lcdata>
        <lcphase>A1-A3</lcphase>
        <lcphaseName>Production</lcphaseName>
        <lca:lcphasedata>
            <ID>String</ID>
            <DatasetName>Generis-330-A1-A3</DatasetName>
            <Description>Production phase impact of
elemented load-bearing outer wall</Description>
            <DatasetType>String</DatasetType>
            <Year>2019</Year>
            <Quantity>1023486</Quantity>
            <Unit>m3</Unit>
            <impacts indicatorIDREF="GWP100"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">166.48</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="ADPF"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">1277.76</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="ADPE"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0.000167</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="POCP"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0.1700</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="PENRT"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">1335.63</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="PERT"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">138.03</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="ODP"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0.000000106</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="EP"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0.0347</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="AP"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0.2113</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="GWP100"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">169.20</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="ADPF"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">1386.59</impacts>
            <impacts indicatorIDREF="ADPE"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0.000169</impacts>

```



scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0.1766</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="POCP"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">1444.46</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="PENRT"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">137.68</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="PERT"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0.000000132</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ODP"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0.0354</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="EP"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0.2176</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="AP"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">166.48</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="GWP100"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">1277.76</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ADPF"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.000167</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ADPE"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.17</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="POCP"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">1335.63</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="PENRT"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">138.03</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="PERT"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.000000106</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ODP"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.0347</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="EP"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.2113</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="AP"
	</lifecycle/>	
	</lca:lcphasedata>	
	</lca:lcddata>	
	<lca:lcddata>	
	<lcphase>C+D</lcphase>	
	<lcphaseName>End of Life</lcphaseName>	
	<lca:lcphasedata>	
	<ID>String</ID>	
	<DatasetName>Generis-330-C-D</DatasetName>	
elemented load-bearing outer wall</Description>	<Description>Production phase impact of	
	<DatasetType>String</DatasetType>	
	<Year>2019</Year>	
	<Quantity>1023486</Quantity>	
	<Unit>m3</Unit>	

## Schlussbericht BIM-basierte Integrale Planung

scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">4.0664</impacts>	indicatorIDREF="GWP100"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">75.62</impacts>	indicatorIDREF="ADPF"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0.0000045</impacts>	indicatorIDREF="ADPE"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0.0029</impacts>	indicatorIDREF="POCP"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">77.30</impacts>	indicatorIDREF="PENRT"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">7.019</impacts>	indicatorIDREF="PERT"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0</impacts>	indicatorIDREF="ODP"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0.0064</impacts>	indicatorIDREF="EP"
scenarioIDREF="SC1" expvalueIDREF="ID1">0.0272</impacts>	indicatorIDREF="AP"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">4.066</impacts>	indicatorIDREF="GWP100"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">75.63</impacts>	indicatorIDREF="ADPF"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0.0000045</impacts>	indicatorIDREF="ADPE"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0.0029</impacts>	indicatorIDREF="POCP"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">77.30</impacts>	indicatorIDREF="PENRT"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">7.019</impacts>	indicatorIDREF="PERT"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0</impacts>	indicatorIDREF="ODP"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0.0064</impacts>	indicatorIDREF="EP"
scenarioIDREF="SC2" expvalueIDREF="ID1">0.0272</impacts>	indicatorIDREF="AP"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.0148</impacts>	indicatorIDREF="GWP100"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.2078</impacts>	indicatorIDREF="ADPF"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.00000005</impacts>	indicatorIDREF="ADPE"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.00000682</impacts>	indicatorIDREF="POCP"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.2150</impacts>	indicatorIDREF="PENRT"
scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.0273</impacts>	indicatorIDREF="PERT"

## ANHANG

```

scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0</impacts>                                <impacts                                indicatorIDREF="ODP"

scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.00001</impacts>                            <impacts                                indicatorIDREF="EP"

scenarioIDREF="SC3" expvalueIDREF="ID1">0.0001</impacts>                            <impacts                                indicatorIDREF="AP"

</lifecycle/>
</lca:lcphasedata>
</lca:lcddata>
</lifecycle>
</lca:construction>
</constructions>
<lifecycle>
  <lca:lcddata>
    <lcphase>LC</lcphase>
    <lcphaseName>Lifecycle</lcphaseName>
    <lca:lcphasedata>
      <ID>String</ID>
      <DatasetName>Elemented load-bearing outer wall</DatasetName>
      <Description>Generis Dataset</Description>
      <DatasetType>String</DatasetType>
      <Year>2019</Year>
      <Quantity>1</Quantity>
      <Unit>m3</Unit>
      <impacts                                indicatorIDREF="GWP100"                                scenarioIDREF="SC1"
expvalueIDREF="ID1">170.55</impacts>
      <impacts                                indicatorIDREF="ADPF"                                scenarioIDREF="SC1"
expvalueIDREF="ID1">1353.39</impacts>
      <impacts                                indicatorIDREF="ADPE"                                scenarioIDREF="SC1"
expvalueIDREF="ID1">0.000171</impacts>
      <impacts                                indicatorIDREF="POCP"                                scenarioIDREF="SC1"
expvalueIDREF="ID1">0.1729</impacts>
      <impacts                                indicatorIDREF="PENRT"                                scenarioIDREF="SC1"
expvalueIDREF="ID1">1412.93</impacts>
      <impacts                                indicatorIDREF="PERT"                                scenarioIDREF="SC1"
expvalueIDREF="ID1">145.05</impacts>
      <impacts                                indicatorIDREF="ODP"                                scenarioIDREF="SC1"
expvalueIDREF="ID1">0.00000106</impacts>
      <impacts                                indicatorIDREF="EP"                                scenarioIDREF="SC1"
expvalueIDREF="ID1">0.03411</impacts>
      <impacts                                indicatorIDREF="AP"                                scenarioIDREF="SC1"
expvalueIDREF="ID1">0.2386</impacts>
      <impacts                                indicatorIDREF="GWP100"                                scenarioIDREF="SC2"
expvalueIDREF="ID1">173.27</impacts>

```

## Schlussbericht BIM-basierte Integrale Planung

expvalueIDREF="ID1">1462.22</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ADPF"	scenarioIDREF="SC2"
expvalueIDREF="ID1">0.000173</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ADPE"	scenarioIDREF="SC2"
expvalueIDREF="ID1">0.1796</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="POCP"	scenarioIDREF="SC2"
expvalueIDREF="ID1">1521.76</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="PENRT"	scenarioIDREF="SC2"
expvalueIDREF="ID1">144.70</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="PERT"	scenarioIDREF="SC2"
expvalueIDREF="ID1">0.00000132</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ODP"	scenarioIDREF="SC2"
expvalueIDREF="ID1">0.0418</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="EP"	scenarioIDREF="SC2"
expvalueIDREF="ID1">0.2448</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="AP"	scenarioIDREF="SC2"
expvalueIDREF="ID1">166.50</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="GWP100"	scenarioIDREF="SC3"
expvalueIDREF="ID1">1277.97</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ADPF"	scenarioIDREF="SC3"
expvalueIDREF="ID1">0.000167</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ADPE"	scenarioIDREF="SC3"
expvalueIDREF="ID1">0.17</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="POCP"	scenarioIDREF="SC3"
expvalueIDREF="ID1">1335.85</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="PENRT"	scenarioIDREF="SC3"
expvalueIDREF="ID1">138.63</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="PERT"	scenarioIDREF="SC3"
expvalueIDREF="ID1">0.00000106</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="ODP"	scenarioIDREF="SC3"
expvalueIDREF="ID1">0.0347</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="EP"	scenarioIDREF="SC3"
expvalueIDREF="ID1">0.2114</impacts>	<impacts	indicatorIDREF="AP"	scenarioIDREF="SC3"
</lifecycle/>			
</lca:lcphasedata>			
</lca:lcddata>			
</lifecycle>			
</lca:project>			
</lca:dgnbdata>			



