

HAWK – Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst
Fakultät Management, Soziale Arbeit, Bauen

Studiengang Master of Engineering in Energieeffizientes und
nachhaltiges Bauen in Holzminden

Masterthesis

**Methodik zur Erstellung einer Gebäude-Ökobilanz
entlang der BIM-Projektentwicklung**

WS 2016/17

Verfasser:	Henning Hülswitt
Adresse:	Klausenerstr.3 52066, Aachen
Matrikelnr.:	647104
Eingereicht bei:	Herr Prof. Dr. Wessel Gehlker (Erstprüfer) Herr Dr. Bernhard Frohn (Zweitprüfer)
Abgabedatum:	21.12.2016

Eidesstattliche Erklärung

Ich Henning Hülswitt erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Studienarbeit mit dem Titel „Methodik zur Erstellung einer Gebäude-Ökobilanz entlang der BIM-Projektabwicklung“ selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht verwendet und die den verwendeten Quellen und Hilfsmitteln direkt oder indirekt entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht sowie die Arbeit weder in dieser oder in einer ähnlichen Form noch in Auszügen einer anderen Prüfungsstelle vorgelegt habe.

Aachen, 15. Dezember 2016

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die es mir ermöglicht haben die hier vorliegende Arbeit zu verfassen.

Allen voran danke ich hierfür meinen Eltern, ohne deren Unterstützung ich meine Studiengänge nicht so zügig und erfolgreich hätte vollziehen können. Ebenso möchte ich Ihnen für all die Jahre zuvor danken, da sie für mich, in vielen Bereichen Vorbilder für ressourcenschonendes Verhalten waren und durch ihre Lebensweise mich zu viele meiner heutigen Ideale inspiriert haben.

Ich danke meinen beiden Betreuern, für ihren Rat und ihre Zeit während der letzten Monate. Dies sind als Erstprüfer Herr Prof. Dr. Wessel Gehlker, von der HAWK Holzminden und als Zweitprüfer aus dem begleitenden Unternehmen der BOB AG Herr Dr. Bernhard Frohn.

Des Weiteren gilt mein Dank dem gesamten Team der BOB AG, die mich von Beginn an herzlich aufgenommen haben und eine durchweg angenehme Arbeitsatmosphäre erzeugten. Ich hatte stets die Freiheit der thematischen Eigenverantwortung und bekam Rückmeldung wenn ich sie brauchte.

In Bezug auf diese Arbeit möchte ich besonders drei Menschen danken. Dies ist zum einen Herr Lucas Küper, der mir zu Beginn gute Werkzeuge zur Arbeitsstrukturierung zeigte und folgend mit seinem fachlichen Rat stets für Rücksprache offen war. Herrn Andre Tekath danke ich für den technischen Support ohne den die Computersituationen deutlich langwieriger geworden wären. Insbesondere danke ich meinem Kommilitonen Herrn Marc Oberhack für die angenehme gemeinsame Einarbeitung in Autodesk Revit an einigen gemütlichen Abenden.

Auch danke ich allen Kontaktpersonen mit denen ich mich im Laufe der Arbeit Kontakt aufnehmen durfte und ich somit einige Informationen mehr erhalten konnte, als über Bücher und Internetrecherche möglich gewesen wäre.

Abschließender Dank geht an alle meine Freunde, die sich die Zeit für Korrekturlesen genommen haben und mir den thematischen Ausgleich in der Freizeit so schön gestaltet haben.

Persönliches Vorwort

Diese Arbeit stellt den Abschluss meines Studiums dar und erreicht meine Erwartungen, durch meine fachliche Arbeit die Nachhaltigkeit menschlichen Lebens visionär mitzugestalten.

Die BOB AG war genau der richtige Kooperationspartner, um meiner Motivation für fachliche Grundlagenerarbeitung einen Rahmen zu geben. Ich durfte in den fünf Monaten viele verschiedene neue Themenbereiche kennenlernen und fachliche Grundkenntnisse entwickeln. Ich hoffe diese Arbeit fasst die entscheidenden Erkenntnisse verständlich zusammen und kann Inspirationen, für zukünftige Entwicklung aufzeigen.

Aus Gründen der Einfachheit, wird folgend nur das maskuline Genus verwendet, welches sinngemäß ebenso den femininen umfassen soll.

Aufgabenstellung

Die Masterarbeit soll den aktuellen Softwarestand zur Erstellung einer Gebäude-Ökobilanz in Hinsicht auf Automatisierbarkeit überprüfen. Im Zuge der zunehmenden Einführung des Building Information Modeling (BIM) bieten sich durch die Digitalisierung der Gebäudeerstellung und -dokumentation neue Möglichkeiten der Gebäudeanalyse. Der Bereich der Ökobilanzierung ist bisher nur für Gebäudezertifizierungen gefordert, gibt jedoch großen Aufschluss zur ökologischen Gesamtbewertung eines Gebäudes.

In der Arbeit soll ein einfaches Beispielprojekt mit dem Ziel der Ökobilanzierung nach der BIM-Methode bearbeitet werden. Hierzu sind geeignete Software zu finden, Softwareschnittstellen zu klären sowie das Vorgehen zur Zielerreichung zu erarbeiten.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Persönliches Vorwort	II
Aufgabenstellung	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Symbolverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	2
2.1 Motivation	2
2.1.1 Klimawandel.....	2
2.1.2 Der Bausektor	3
2.1.3 Die BOB AG	5
2.2 Ökobilanz.....	5
2.2.1 Allgemein	6
2.2.2 Vier Phasen der Erstellung.....	7
2.2.3 Ökobilanz-Datenbanken	8
2.3 BIM 12	
2.3.1 Ziele und Konzept	13
2.3.2 3D-Modell.....	15
2.3.3 Projektorganisation.....	15
2.3.4 Projektkommunikation	17
2.4 Software und digitale Schnittstellen	18
2.4.1 CAD-Software: Autodesk Revit 2016.....	19
2.4.2 Ökobilanzierungssoftware	20
2.4.3 Ökobilanz-Datenbanken	20
2.4.4 Revit Plug-in Tally	22
3 BIM-Modell: BOB Jülich	23
3.1 Phase 1: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens.....	23
3.2 Beispielprojekt - Projektbeschreibung.....	23
3.3 Phase 2: Erstellung der Sachbilanz - Baumassenausgabe	26
3.3.1 Bauteil- / Materialauflistung	28
3.3.2 Baumassenermittlung.....	32
3.3.3 Betriebsenergie	33
4 IST-Vorgang	35
4.1 GaBi3 – Ökobilanzierungssoftware.....	37

4.1.1	Ergebnisse	38
4.1.2	Bewertung	40
4.2	Tally 41	
4.2.1	Datensätze zuordnen	41
4.2.2	Bericht erstellen / Auswertung	44
4.2.3	Vergleich zu manueller Baumassenberechnung	47
4.2.4	Bewertung	49
4.2.5	Vergleich zu GaBi3	50
5	SOLL-Vorgang	51
5.1	BOB-Vision	51
5.2	Vorteile durch BIM	53
5.3	Datenbankentwurf - BOB-Datenbank +	54
5.3.1	DB-Struktur	54
5.3.2	ERM - Entity Relationship Modell	55
5.3.3	Einbindung der ÖKOBAUDAT	57
5.4	Ansätze für Umsetzung	58
5.4.1	Baumassenausgabe über Navisworks	58
5.4.2	Ergänzung von Parametern	59
5.4.3	Revit Familieneditor	61
5.4.4	Revit DB Link	61
5.4.5	Revit API	62
5.4.6	Revit Dynamo	63
6	Bewertung	64
6.1	Autodesk Revit	64
6.2	Datenmanagement im BIM-Modell	64
6.3	Aussagekraft Ökobilanzierung	65
6.4	Automatisierung der Bilanzerstellung	65
7	Fazit	66
8	Ausblick	68
8.1	Autodesk Revit	68
8.2	GaBi3 – Frauenhofer IBP	68
8.3	BAMB - Buildings As Material Banks	68
8.4	BOB F&E-Richtung	69
	Literaturverzeichnis	71
	Anhang	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Relativer Anteil am Ökobilanz-Ergebnis über den Gebäude- Lebenszyklus	4
Abbildung 2: Schematische Lebenszyklusphasen eines Gebäudes.....	6
Abbildung 3: Vier Phasen der Ökobilanzierung.....	7
Abbildung 4: Arten der EPD nach einbezogenen Phasen des Lebenszyklus	11
Abbildung 5: Vorteil Informationsgehalt durch BIM	14
Abbildung 6: Beeinflussung der Gebäudekosten über Planungsphasen	14
Abbildung 7: Digitale Kommunikationsstruktur in BIM	17
Abbildung 8: BIM-Management Koordinierungshierarchie	18
Abbildung 9: 3D-Ansicht Revit-Modell BOB Jülich	24
Abbildung 10: Materialbrowser – Physische Materialinformation	27
Abbildung 11: Materialbrowser – Thermische Materialinformation	28
Abbildung 12: Materialauflistung Bsp.: Wand.....	29
Abbildung 13: Bauteilliste Bsp.: Wand	30
Abbildung 14: IST-Möglichkeit Automatisierbarkeit (statisch).....	36
Abbildung 15: GaBi3-Auswertung über alle Lebenszyklusphasen	39
Abbildung 16: Tally Datenzuordnung	42
Abbildung 17: Tally Materialdatenbank	43
Abbildung 18: Tally-Ergebnis: Umweltwirkung nach Lebenszyklusphase und Materialkategorie	45
Abbildung 19: Tally-Ergebnis: Prozentualer Anteil an Umweltwirkung nach Material ..	46
Abbildung 20: Wunschworkflow mit BOB-Datenbank +.....	52
Abbildung 21: 3-Schichten-Architektur Datenbank.....	55
Abbildung 22: Entwurf Entity Relationship Modell für BOB-Datenbank+	56
Abbildung 23: XML-Datenbank in Excel zusammenführen	57
Abbildung 24: Anbindung OCBC-Export im Zusatzmodul DB Link.....	61
Abbildung 25: Objektorientierte Programmierung in Dynamo.....	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wichtigste Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkung.....	9
Tabelle 2: Wichtigste Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und sonstiger Umweltinformationen	9
Tabelle 3: Funktionale Flächenaufteilung Beispielprojekt BOB Jülich	25
Tabelle 4: Wunsch-Datenexport für Baumassen.....	26
Tabelle 5: Baumassenermittlung - manueller Dichteparameter	32
Tabelle 6: überschlagener Energiebedarf Beispielprojekt BOB Jülich	34
Tabelle 7: Energiebedarf Referenzgebäude EnEV 2009.....	34
Tabelle 8: Vergleich Gewichtsrechnung mittels Revit-Materialeigenschaft und Tally-DB	47
Tabelle 9: Übersicht Revit-Parametertypen.....	60

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programmable Interface (Programmierschnittstelle)
Äq.	Äquivalent
BAMB	Buildings as Material Banks (EU-Forschungsprojekt)
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im BMUB
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im BBR
BEP	BIM Execution Plan
BGF	Brutto-Geschossfläche
BIM	Building Information Modeling
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BOB	Balanced Office Building
BOB AG	Name des betreuenden Unternehmens
BOB-DB+	zu entwickelnde unternehmenseigene Datenbank, die neben Ökobilanzdaten auch Daten zu weiteren Betrachtungspunkten enthält
bzw.	beziehungsweise
COP21	21. Conference of the Parties (UN-Klimakonferenz)
C#	Programmiersprache
DB	Datenbank
DBMS	Datenbank-Management-Software
DGNB	(die) Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen bzw. (das) Deutsche Gütesiegel für nachhaltiges Bauen der DGNB
EG	Erdgeschoss
eLCA	Online-Ökobilanzierungstool für Gebäude

EPD	Environmental Product Declaration
ERM	Entity Relationship Model (schematische Beschreibung des Datenbankdesigns)
F&E	Forschung und Entwicklung
GaBi3	Online-Ökobilanzierungstool für Gebäude "Ganzheitliche Bilanzierung" des IBP
Horizon 2020	EU-Forschungsvorhaben von 2014 bis 2020
IBP	Fraunhofer Institut für Bauphysik
ID	Identifikator (Kennzeichen für bestimmte Zuordnung)
IFC	Industry Foundation Classes (dig. Modellformat für openBIM)
inkl.	inklusive
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KGF	Konstruktions-Grundfläche
LCA	Life Cycle Assessment (engl. für Ökobilanz)
LCI	Life Cycle Inventory (Sachbilanz, Teil der LCA)
LCIA	Life Cycle Impact Assessment (Wirkungsbilanz, Teil der LCA)
NBIMS	National BIM Standard; Ausschuss der buildingSMARTalliance ®
NRF	Netto-Raumfläche
ÖBS	Ökobilanzierungs-Software
ODBC	Open Database Connectivity (engl. für Offene Datenbank-Verbindungs-fähigkeit)
OG	Obergeschoss
ÖKOBAUDAT	Ökobilanz-Datenbank für Baustoffe vom BMUB
RSL	Reference Service Life (Lebensdauer eines Produktes)

SBS Building Sustainability	Online-Ökobilanzierungstool für Gebäude
TAG	Informationsfeld in digitaler Planzeichnung
TF	Technische Fläche
u. a.	und andere
VF	Verkehrsfläche
XML	Extensible Markup Language (Auszeichnungssprache für Datenbanken)
z. B.	zum Beispiel
zzgl.	zuzüglich

Symbolverzeichnis

W	Arbeit	J
ρ	Dichte	kg/m ³
A	Fläche	m ²
l	Länge	m
P	Leistung	W
m	Masse	kg; t
	Maßeinheit „parts per million“	ppm
T	Temperatur	°C
V	Volumen	m ³
t	Zeit	h

1 Einleitung

Im Zuge zunehmend wichtiger werdender Energieeinsparmaßnahmen [1] für eine nachhaltige Lebensweise des Menschen auf dem Planeten, ist eine ganzheitliche Optimierung des Bausektors maßgeblich. Die Branche verbraucht in der EU rund 50% der Ressourcen und ist für ein Drittel des Müllaufkommens verantwortlich [2].

Im Zuge fortschreitender Effizienzmaßnahmen wird der Energieverbrauchsanteil des Gebäudes während der Nutzungsphase zunehmend geringer und der Anteil der Herstellung prozentual wichtiger. (siehe Kapitel 2.1.2) Eine Möglichkeit für die Bewertung der Bauenergie ist die Lebenszyklusanalyse (LCA) oder Ökobilanz. Dies umfasst alle Phasen von der Baustoffherstellung, über den Bau und Betrieb bis hin zum Rückbau oder Abriss. Eine LCA kann Anhaltspunkte für eine nachhaltigere Material- und Konstruktionsauswahl aufzeigen, bewertet jedoch nicht die Recycle- oder Zerlegbarkeit des Gebäudes. Bislang ist die Bilanzierung der Umweltwirkungen mit hohem manuellen Zeitaufwand verbunden und noch nicht zwingend für Neubau / Sanierung vorgeschrieben. Daher wird sie nur selten und meist erst nach dem Planungsprozess durchgeführt, wodurch das Optimierungspotential für das Gebäudedesign verloren geht.

Die Gebäudeplanung befindet sich derzeit im Umbruch, hin zu einer zentralisierten digitalen Informationssammlung mit der Methode des Building Information Modeling (BIM). Diese bietet eine durchgängigere Informationssammlung entlang des Gebäude-Lebenszyklus als in der konventionellen Planung, mit einzelnen Planübergaben.

Die Arbeit untersucht die Möglichkeit der Gebäude-Ökobilanzierung entlang der BIM-Projektentwicklung. Hierfür werden verschiedene Softwareprogramme und Tools vorgestellt und auf ihre Handhabung zur Zielerreichung der Prozessautomatisierung für den Planungsprozess getestet. Schwerpunkte liegen auf der CAD-Zeichensoftware Autodesk Revit sowie den Bilanzierungstools GaBi3 und Tally.

In Kapitel 2 werden zuerst Grundlagen der für die Arbeit wichtigen Themenbereiche zusammengefasst. Folgend wird in Kapitel 3 das Projektziel festgelegt und anhand eines Beispielprojektes die Sachbilanz der Baumassen und überschlägigen Betriebsenergieverbräuche erstellt. Auf dieser Grundlage fasst Kapitel 4 den Ablauf der Ökobilanzierung zum jetzigen Zeitpunkt mit verfügbaren Bilanzierungstools und Kapitel 5 die Ansätze des Wunschzustandes zusammen. Als Abschluss werden die markanten Themenbereiche der Arbeit im Hinblick auf die Aufgabenstellung bewertet und Hinweise für kommende Entwicklungsarbeit gegeben.

2 Grundlagen

Dieses Kapitel fasst die Grundlagen mehrerer relevanter Themenbereiche kurz zusammen.

Beginnend mit einer Motivation für diese Arbeit und dem Umfang einer Ökobilanzierung, werden folgend die Grundzüge der BIM-Methode erklärt. Darauf aufbauend werden gegebene Softwarelösungen sowie sich ergebende digitale Schnittstellen vorgestellt.

2.1 Motivation

Die Motivation zu dieser Arbeit ist unterteilt in die allgemeinen Hintergrundinformationen des weltweiten Klimawandels, der maßgeblichen Rolle des Bausektors hierfür und die Beweggründe der BOB AG sich mit diesem Thema zu beschäftigen.

2.1.1 Klimawandel

Die Industrialisierung des 20. Jahrhunderts, mit der parallelen Suggestion des ewigen Wachstums basierte auf einem ebenso wachsenden Energiekonsum. Dieser wurde erst durch die Nutzung fossiler Ressourcen möglich und steigt weiterhin. Diese Ressourcen entstanden vor vielen Millionen Jahren aus tierischen und pflanzlichen Ablagerungen und unter hohem Druck von Gesteinsschichten und Ozeanen. Durch die Verbrennung dieser Ablagerungen wird das eingespeicherte CO₂ wieder freigesetzt und die Konzentration in der Atmosphäre steigt an. Die energiebedingten Emissionen der Menschen liegen aktuell bei ca. 33,5 Mrd. t CO₂ pro Jahr (2010) [1], bei einer natürlichen Aufnahmefähigkeit des Planeten von rund 11,5 Mrd.t [3]. Die CO₂-Konzentration steigt resultierend jährlich um ca. 2 ppm an (2015 um 3 ppm) und überschritt 2015 erstmals die 400 ppm-Marke [4] Als Grenze für die Einhaltung des von der UN angestrebten maximalen Temperaturanstieges um 2 °C werden verschiedene Zahlen genannt, unter anderem in Richtung 425 ppm [5]. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) geht im 5. Klimareport von 2014 bei einem Anstieg auf 450 ppm von wahrscheinlich mindestens 2 °C Temperaturanstieg aus. Für die Einhaltung dieser Begrenzung sind die CO₂-Äquivalent-Emissionen um 41-72% zu senken. Sollten die Menschheit ihre Emissionsmengen bis 2050 beibehalten, steuert das Weltklima auf eine Erwärmung von über 4 °C (~680 ppm) zu. Dieses und die hierdurch vermuteten Auswirkungen sind u. a. im Bericht des IPCC [1] nachzulesen.

Resultierend muss vor Allem, die Menschheit der Industrienationen, in den kommenden 15 Jahren eine rasante Reduktion der Emissionen schaffen, wenn die Auswirkungen des

menschengemachten Klimawandels in den angestrebten Grenzen gehalten werden soll. Die Industrienationen haben hier eine Vorbildfunktion für die Schwellenländer, deren wachsender Energiekonsum bei konventioneller Erzeugung / Produktion, immense Emissionen erzeugen wird. Die Wunschbegrenzung auf 1,5 °C der COP 21 fordert entsprechend größere Maßnahmen.

2.1.2 Der Bausektor

Die EU Kommission schreibt zum effizienten Ressourceneinsatz im Gebäudesektor:

„Auf den Bau und die Nutzung von Gebäuden in der EU entfallen rund 50 % aller unserer geförderten Werkstoffe und unseres Energieverbrauchs sowie etwa ein Drittel unseres Wasserverbrauchs. Zudem ist der Gebäudesektor für rund ein Drittel aller Abfälle verantwortlich und mit Umweltbelastungen verbunden, die in verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes auftreten, etwa bei der Herstellung von Bauprodukten, bei Bau, Nutzung und Renovierung von Gebäuden und bei der Entsorgung von Bauschutt.“ [2]

Zur Verringerung wird unter anderem vorgeschlagen eine bessere Projektplanung zur stärkeren Nutzung von ressourcen- und energieeffizienten Produkten, sowie die Förderung ressourcenschonender Bauweise bei Neubau und Renovierung umzusetzen [2]. Somit sollten alle Abschnitte des Lebenszyklus von der Herstellung über Nutzung und Rückbau optimiert werden. Bisherige Gesetzesvorgaben des Bundes und der EU beinhalten jedoch nur die energetische Optimierung der Nutzungsphase des Gebäudes, welche durch Effizienzmaßnahmen wie Isolierung und energieeffizientere Haustechnik umgesetzt werden ([6], [7]).

Durch diese Maßnahmen verlagert sich sowohl der Kostenschwerpunkt als auch der verbleibende Energieverbrauchsanteil des Gebäudes, immer mehr auf die Herstellungsphase (Abbildung 1), wodurch die Material- und Ressourceneffizienz der Baumasse zunehmend wichtiger wird [7]. Lagen in der Vergangenheit noch der Großteil des Verbrauches in den Betriebsenergien für Heizung und Strom, liegen diese Anteile bei modernen Passivhäusern nur noch bei rund 50% im Verhältnis zum Konstruktionsaufwand.

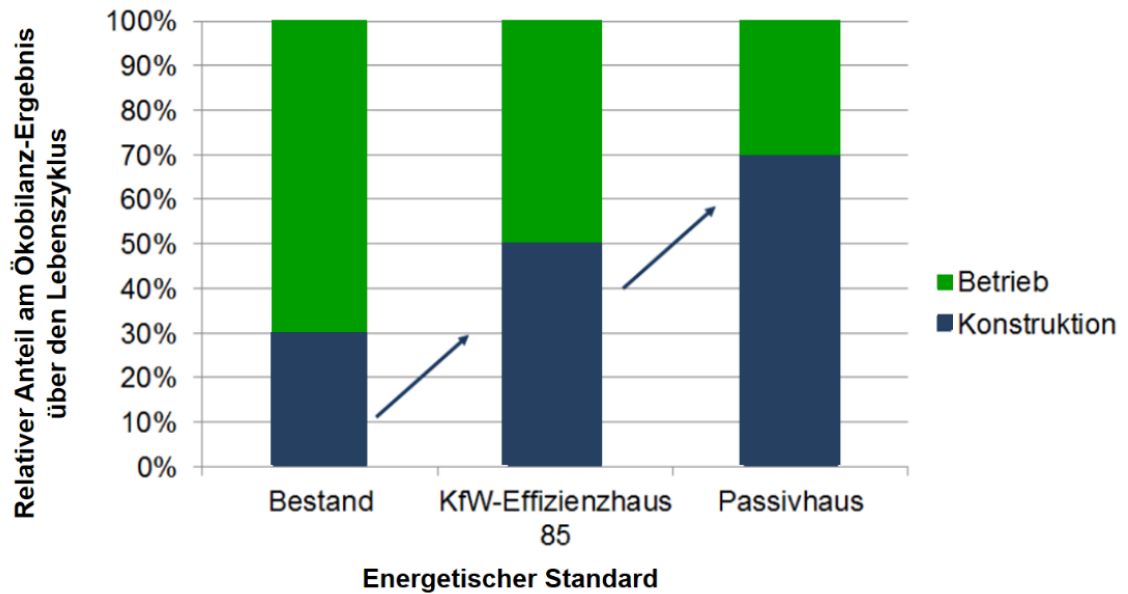


Abbildung 1: Relativer Anteil am Ökobilanz-Ergebnis über den Gebäude-Lebenszyklus [8]

Ein Beispiel für die planerische Entwicklung in der Baubranche sind die Gebäude des betreuenden Unternehmens der BOB AG (Balanced Office Building AG). Durch ein optimiertes Anlagenkonzept z. B. unter Nutzung von Geothermie und Betonkernaktivierung zählt es zu den energieeffizientesten Bürogebäuden Deutschlands. [9] Dennoch ist die Material- und Konstruktionswahl im bisherigen Stand der Technik schlecht recyclingfähig, wodurch die Problematik der schlechten Ressourceneffektivität für Folgegenerationen bestehen bleibt.

Dieser Faktor kann mit einer Gebäude-Ökobilanz bedingt bewertbar gemacht werden. Es können Vergleiche zwischen den Auswirkungen verschiedener Gebäudekonzepte (→ Betriebsenergien), den Baustoffen und ihren produktions- und nutzungsbedingten Umwelteinflüsse getroffen werden: Der erstellte Bilanzbericht kann als Grundlage zur Designoptimierung dienen und die Einbeziehung der Ergebnisse zur Einhaltung der internationalen Klimaziele helfen. Über diese Methode kann jedoch keine Aussage zur wirklichen Ressourceneffizienz und Kreislauffähigkeit der Materialien gegeben werden, weshalb die LCA für die Lösung der bestehenden Umweltproblematiken nur ein Teilaspekt ist.

Die deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB) hat ein eigenes Zertifizierungssystem für die Nachhaltigkeitsbewertung eines Gebäudes entwickelt. Ein Bestandteil ist die Bewertung der Ökobilanz in den Kriterien ENV 1.1 (emissionsbedingte Umweltwirkungen) [10] und ENV 2.1 (Ressourcenverbrauch) [11] mit einem

Gesamtanteil von 13,5% an der Gesamtbewertung. Näheres ist in Kapitel 2.2 nachzulesen.

Da die Erstellung der Bilanz bisher zeitaufwändig und nur für Gebäude-Zertifizierungen vorgeschrieben ist, wird sie im Normalfall von Neubau oder Sanierung nicht durchgeführt. Eine Automatisierbarkeit im Zuge der Digitalisierung der Gebäudeplanung durch BIM ist daher allgemein und für das betreuende Unternehmen der BOB AG erstrebenswert, um diese Faktoren bei jedem Gebäude bereits in der Planung betrachten zu können.

2.1.3 Die BOB AG

Die BOB AG begleitet u. a. als Dienstleister den Planungs- und Bauprozess von Bürogebäuden. Als zusätzlicher Berater für die Bauherren werden bestimmte Konzeptideen für das Energiedesign begleitend in die Planung eingebunden.

Das Unternehmenskonzept ist eine größtmögliche nachhaltige Vorplanung des Bürogebäudes, um den Bauherren den Planungsprozess zu vereinfachen. Bisher lag der Hauptfokus auf der Optimierung der Betriebsenergie und -kosten. Zukünftig soll das BOB-Konzept aber auch weitere Faktoren wie Kreislauffähigkeit (Cradle-to-Cradle), Baubiologie und Wartungsaufwand zunehmend mehr beinhalten. Ziel ist es, ein kostengünstiges und für Mensch und Umwelt optimales Bürogebäude zu entwickeln und als Serienmodell anbieten zu können. Hierzu investiert die BOB AG neben dieser Arbeit auch in anderen Fachbereichen im Bereich der Forschung und Entwicklung (F&E) und arbeitet mit weiteren Partnerunternehmen zusammen.

Die Gründer denken zukunftsgerichtet und möchten mit dem BOB-Konzept ein umfassend durchdachtes Bürogebäude, serienfertig anbieten. Hierzu ist die Einarbeitung in und die Nutzung von BIM im zukünftigen Arbeitsalltag unumgänglich. In allen Phasen von Planung, Bau, Betrieb oder Rückbau sollen zu jeder Zeit die benötigten Bauteilinformationen in aktueller Version vorliegen.

2.2 Ökobilanz

Die Ökobilanzierung ist eine relativistische Bewertungsmethode der Umweltwirkungen verschiedener Herstellungsmethoden bzw. Stoffe und ermöglicht den Vergleich untereinander. Zur Erläuterung werden folgend das allgemeine Konzept, die Phasen zur Erstellung einer Ökobilanz sowie der Aufbau der genutzten Datenbanken beschrieben.

2.2.1 Allgemein

Die Ökobilanzierung ist ein Werkzeug zur Darstellung der entstehenden ökologischen Umweltauswirkungen einer funktionalen Einheit, entlang des gesamten Lebenszyklus. Dies umfasst Faktoren wie die produktionsbedingte globale Erwärmung, den Abbau der stratosphärischen Ozonschicht, Bildung von Sommersmog, Versauerung oder Überdüngung der Böden und Gewässer. Diese Bilanz kann sowohl für einzelne Teile wie eine Verpackung als auch für größere Verbundobjekte wie ein Auto oder ein Gebäude erstellt werden.

Die Lebenszyklusbetrachtung von der Rohstoffgewinnung bis hin zur Abfallbeseitigung wird als Cradle-to-Grave (von der Wiege bis zur Bahre) bezeichnet. Die beinhalteten Lebenszyklusphasen eines Gebäudes sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt und umfassen die Rohstoffgewinnung, Herstellung der Baustoffe, den Bau, die Betriebsphase, den Rückbau und die Reststoffverwertung.

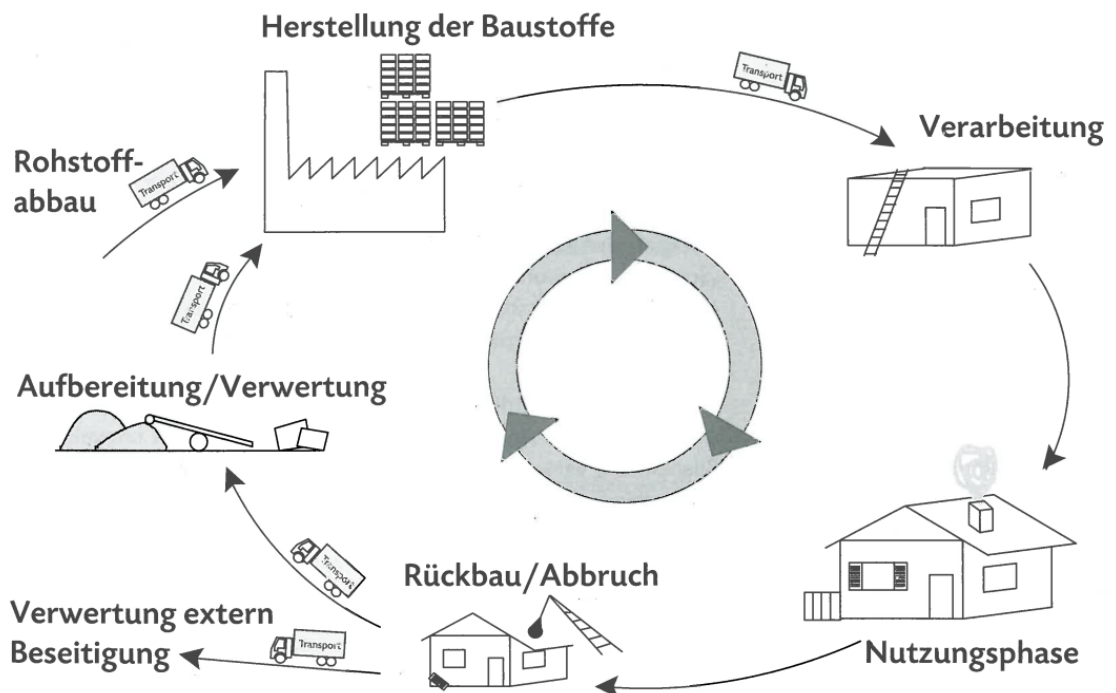


Abbildung 2: Schematische Lebenszyklusphasen eines Gebäudes [12]

Die Ergebnisse der Ökobilanz können beispielsweise in der Entwicklung und Verbesserung von Produkten, zur strategischen Planung, politischen Entscheidungsfindung oder dem Marketing unterstützend eingesetzt werden. [13]

Die Durchführung der Ökobilanzierung ist in den Normen der DIN EN ISO 14040 [13] und DIN EN ISO 14044 [14] festgelegt und gliedert sich in vier Phasen. Für die Bilanzierung im Baubereich sei auf die DIN EN 15804, die DIN EN 15978 sowie auf das EU-Forschungsprojekt von 2011/2012 *EeBGuide – Operational guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy-Efficient Building European Initiative (E2B EI)* hingewiesen.

2.2.2 Vier Phasen der Erstellung

Die Erstellung einer Ökobilanz wird in vier Phasen unterteilt, welche sich gegenseitig beeinflussen (Abbildung 3).

In Phase 1 wird das Ziel und der Untersuchungsrahmen der Ökobilanzierung festgelegt. Hier kann entschieden werden, ob z. B. der gesamte Lebenszyklus Cradle-to-Grave oder nur Teilabschnitte Cradle-to-Gate (von der Wiege bis zum Werkstor) betrachtet werden sollen. Ebenso werden der Detaillierungsgrad für die folgende Sach- und Wirkungsbilanz festgelegt, welche die Basis für die gewünschte Aussagekraft der Auswertung darstellen. Die Beeinflussung der Phasen untereinander kann dazu führen, dass z. B. auf Grund mangelhafter Datensätze der Untersuchungsrahmen verkleinert oder der Detaillierungsgrad im laufenden Prozess herabgesetzt werden muss.

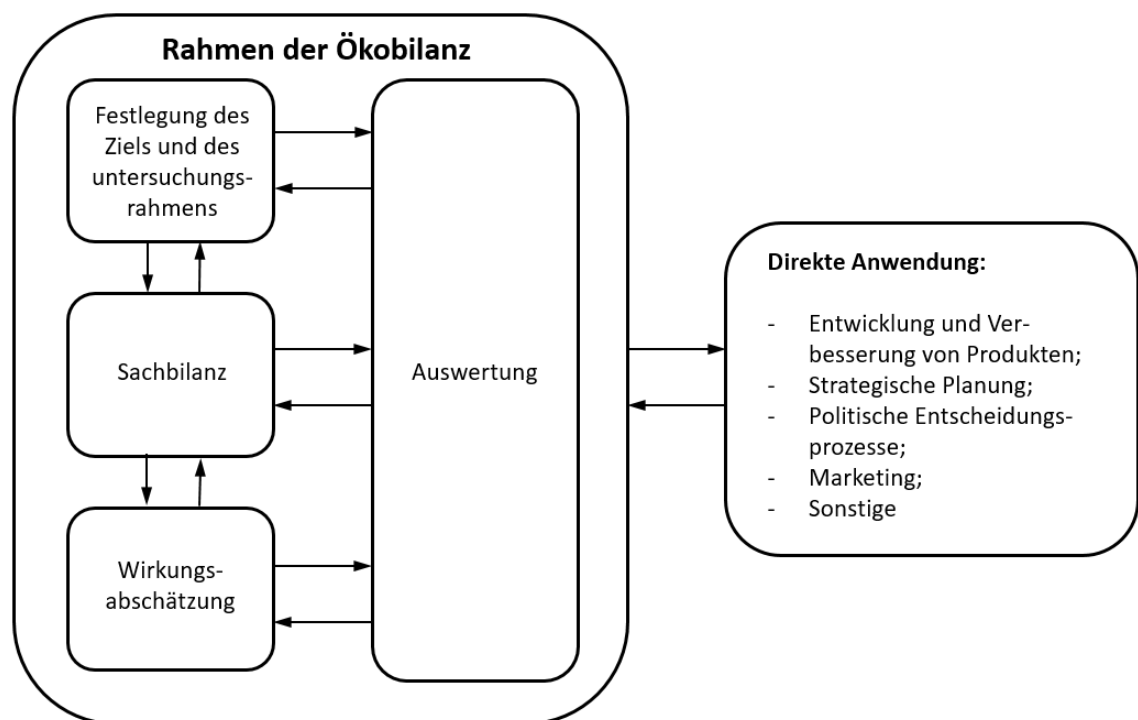


Abbildung 3: Vier Phasen der Ökobilanzierung [13]

Die Sachbilanz (Phase 2; Life Cycle Inventory Analysts LCI) stellt eine Auflistung der reinen Mengenaufwände (z. B. Massen und/oder Volumina) zur Herstellung der funktionellen Einheit dar. So könnte beispielsweise der Bau eines Gebäude 500 t Beton benötigen. Je nach Bedarf kann die Auflistung z. B. nach Bauteil, Massen- oder Kostenanteil vorselektiert werden, um nur die markanten Anteile zu betrachten.

In der Wirkungsabschätzung (Phase 3; Life Cycle Impact Assessment LCIA) werden diese Massen mit einer Ökobilanz-Datenbank verknüpft, um die projektspezifischen Massen zur Skalierung von Referenzdatensätze zu verwenden. Die Darstellung und individuelle Anpassung der Referenzdatensätze kann in verschiedenen Ökobilanzierungs-Softwareprogrammen (ÖBS) vorgenommen werden. Diese bieten eine Benutzeroberfläche in welcher durch individuelle Kombination von einzelnen Teilprodukten und -prozessen das Projekt möglichst realitätsnah nachgebildet werden kann. Es ist zum Beispiel möglich, die Transportstrecken von der Herstellung zum Werkstor für einen bestimmten Produktlieferanten von 200 auf 400 km zu verlängern oder die Energieversorgung der Verarbeitung von Diesel auf Strom zu ändern.

In Phase 4 werden abschließend die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung ausgewertet, kritisch hinterfragt und Rückschlüsse für die funktionale Einheit gezogen.

2.2.3 Ökobilanz-Datenbanken

Um die Auswirkungen der Sachbilanz zu bewerten, gibt es eine Reihe von Datenbanken, welche die Umweltwirkung und den Ressourcenverbrauch von Referenzprodukten und -prozessen sammeln. In Phase 3 werden diese dann mit den Werten der Sachbilanz skaliert und ergeben in aufbereiteter Form die Auswertung.

Die Datenbanken unterscheiden dabei zwischen Umweltproduktdeklarationen für konkrete Produkte (Environmental Product Declaration - EPD) und der Bewertung über Literaturrecherche (aggregated = kumuliert).

Die allgemein betrachteten Indikatoren der Umweltwirkung in der Ökobilanz sind in Tabelle 1 und die Indikatoren zum Ressourceneinsatz und sonstigen Umweltinformationen in Tabelle 2 aufgelistet. Die Abkürzung $\ddot{A}q$ steht für Äquivalent und ist die relativistische Bezugseinheit des Indikators. Beispielsweise werden sowohl CO_2 als auch Methan zum globalen Erwärmungspotential einbezogen, Methan allerdings mit dem Faktor 25 im Verhältnis zum CO_2 -Äquivalent.

Je nach Anwendungsfall kann die Auswahl zur Übersichtlichkeit auf markante Indikatoren reduziert werden. Die für DGNB zu bewertenden Faktoren mit „X“ sollen zwar

erstellt werden, gehen aber nicht in die Bewertung ein. Beim Kriterium ENV 2.1 werden insgesamt 120 Punkte vergeben, weshalb es zur Übersichtlichkeit im Kriterium in Summe mit 120% bewertet wird.

Tabelle 1: Wichtigste Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkung

Abkürzung	Indikator (deutsch)	Einheit	Gewichtung DGNB ENV 1.1
GWP	Globales Erwärmungspotential	kg CO ₂ -Äq.	40%
OPD	Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht	kg CFC 11-Äq	15%
POCP	Bildungspotential für troposphärisches Ozon	kg C ₂ H ₄ -Äq.	15%
AP	Versauerungspotential von Boden und Wasser	kg SO ₂ -Äq.	15%
EP	Eutrophierungspotential	kg (PO ₄) ³⁻ -Äq.	15%
Abkürzung	Indikator (deutsch)	Einheit	Gewichtung DGNB ENV 2.1
ADPE	Potential für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen	kg Sb-Äq.	X
ADPF	Potential für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe	MJ	X

Eine Kurzbeschreibung der nach DGNB betrachteten Indikatoren kann beispielsweise im DGNB-Kriterium ENV 1.1 [10] und ENV 2.1 [11] nachgelesen werden. (siehe Anhang A 2)

Tabelle 2: Wichtigste Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und sonstiger Umweltinformationen

Abkürzung	Indikator (deutsch)	Einheit	Gewichtung DGNB ENV 2.1
PERE	Ern. Primärenergie als Energieträger	MJ	
PERM	Ern. Primärenergie zur stofflichen Nutzung	MJ	
PERT	Total ern. Primärenergie	MJ	
PENRE	N. ern. Primärenergie als Energieträger	MJ	
PENRM	N. ern. Primärenergie zur stoffl. Nutzung	MJ	
PENRT	Total n. ern. Primärenergie	MJ	60%
PEGES	Primärenergie Gesamt	MJ	40%
PERT/PEGES	Verhältnis		20%
SM	Einsatz von Sekundärrohstoffen	kg	
RSF	Ern. Sekundärbrennstoffe	MJ	
NRSF	N. ern. Sekundärbrennstoffe	MJ	

Abkürzung	Indikator (deutsch)	Einheit	Gewichtung DGNB ENV 2.1
FW	Einsatz von Süßwasserressourcen	m ³	X
HWD	Gefährl. Abfall zur Deponie	kg	
NHWD	Entsorgter nicht gefährl. Abfall	kg	
RWD	Entsorgter radioakt. Abfall	kg	
CRU	Komponenten für die Wiederverwendung	kg	
MFR	Stoffe zum Recycling	kg	
MER	Stoffe für die Energierückgewinnung	kg	
EEE	Exportierte elektr. Energie	MJ	
EET	Exportierte therm. Energie	MJ	

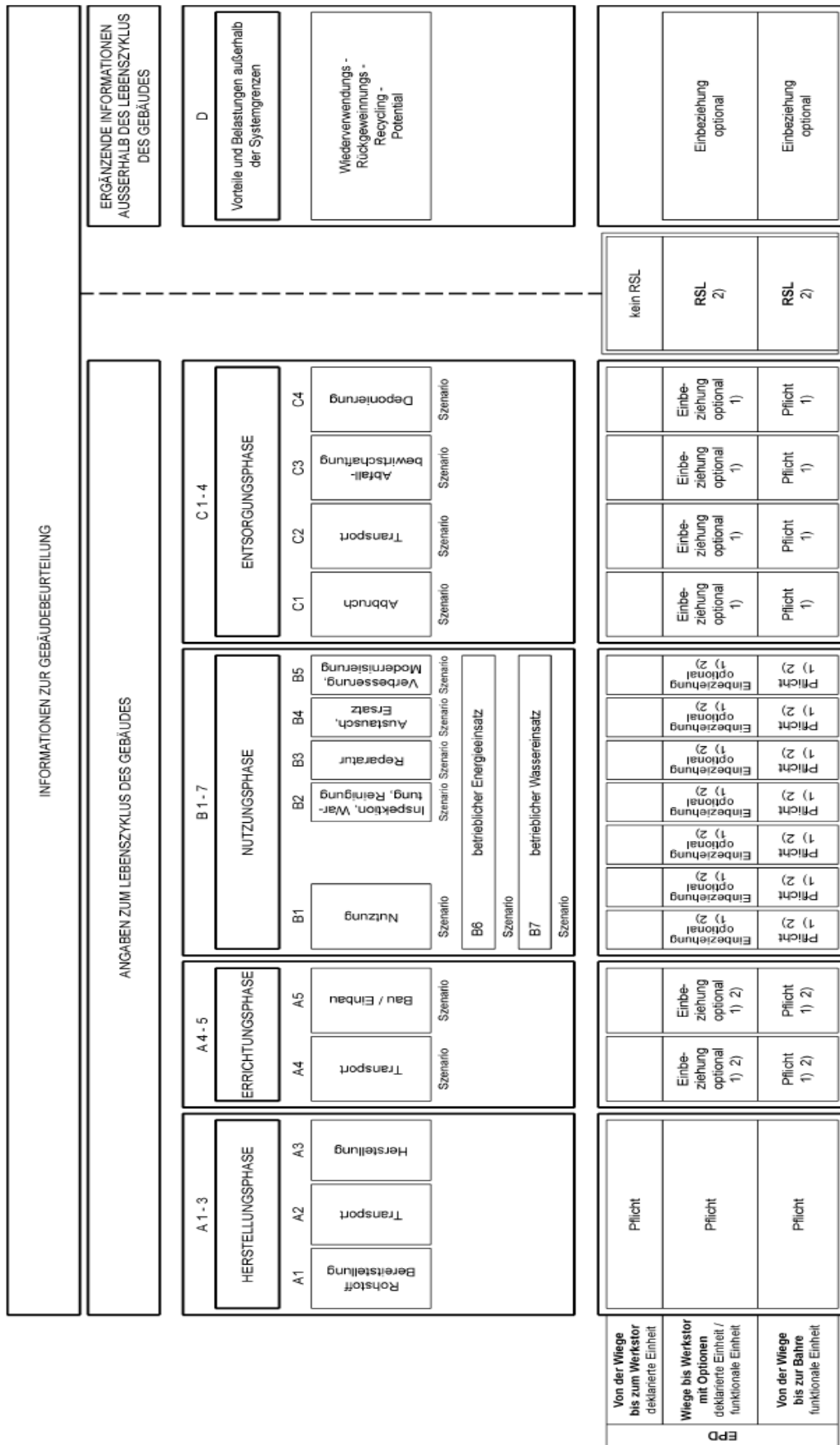
Die Tabellen inkl. englischer Indikatorbezeichnung sind dem digitalen Anhang zu entnehmen.

Eine Bewertung der Aussagekraft der Indikatoren kann mittels verschiedener Software genauer untersucht werden. Resultierend gibt es Ansätze, wie die Indikatoren durch „Normalisation“ in einem einzigen Wert zusammengefasst werden können. Diese Verfahren sind jedoch umstritten. (siehe [15]; Kap 3.1 ff).

Bei den EPD handelt es sich um eine Umweltkennzeichnung des Typ III (nach DIN EN ISO 14025), welche ebenfalls als einzelne Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 erstellt wurde. Sie beschreibt die Bilanz eines konkreten Produktes eines bestimmten Herstellers. Es gibt verschiedene Anbieter von Datenbanken mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten, Datenmengen und Genauigkeit, die je nach Anwendungsfall auszuwählen sind. Eine Übersicht über einige Datenbanken ist in Anhang A 1 zu finden.

Für die Erstellung von EPDs für den Bausektor gibt die DIN EN 15804 Grundregeln an. In Abbildung 4 ist der Aufbau einer EPD nach einbezogenen Phasen des Lebenszyklus dargestellt. Die Phaseneinteilung in Buchstaben vereinfacht die spätere Übersichtlichkeit in der Verarbeitung und ist eingeteilt in A (Herstellungs-), B (Nutzungs-), C (Entsorgungs-) und D (Gutschrift für Wiederverwendungs- und Rückgewinnungspotential).

In der Abbildung ist unterhalb dieser Phaseneinteilung die Unterscheidung der Detailtiefe der EPD-Typen eingetragen. RSL steht für die Referenznutzungsdauer, also die Lebenszeit dieses Produktes, bis es ausgetauscht werden muss. [16]



1) Einbeziehung für ein deklariertes Szenario

2) Wenn alle Szenarien gegeben sind

Abbildung 4: Arten der EPD nach einbezogenen Phasen des Lebenszyklus [16]

Der Datenumfang der EPD und Prozesse in der Datenbank, bestimmen die mögliche Genauigkeit der gesamten Ökobilanzierung.

Für zertifikatsgetreue Bilanzierungen im deutschen Baubereich nach DGNB ist die Verwendung ÖKOBAUDAT-Datenbank des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), unter Leitung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), verpflichtend zu nutzen. Die ÖKOBAUDAT ist als XML-Datei kostenlos downloadbar, wohingegen viele andere Datenbanken kostenpflichtig sind. Nähere Informationen zum Aufbau der Datenbanken ist in Kapitel 2.4.3 und 5.3 nachzulesen.

2.3 BIM

Das Building Information Modeling (BIM) ist eine relativ moderne Methode der Projektabwicklung im Baugewerbe, welche im Zuge der allgemeinen Digitalisierung international zunehmend an Bedeutung gewinnt. Ziel ist es den projektrelevanten Daten- und Informationsfluss über eine zentrale digitale Schnittstelle zu verteilen, anstatt wie im bisherigen konventionellen Bauen über Einzelkommunikation der Projektbeteiligten.

Im internationalen Ausland (GB, USA, Skandinavien u. a.) ist die Nutzung dieser Projektstrukturierung teilweise schon verpflichtend vorgeschrieben, weshalb auch dort die meiste Erfahrung und Entwicklung in Hinsicht auf BIM vorhanden ist. In Deutschland existiert bisher lediglich ein nichtverpflichtender Leitfaden (siehe [17]), welcher jedoch als Grundlage für zukünftige Gesetzesentwürfe dienen soll. Mit Hilfe eines Stufenplans wird BIM von 2017 bis 2020 verpflichtend für den öffentlichen Bau in Deutschland eingeführt (siehe [18]) und wird davon ausgehend vermutlich allgemeiner Standard für Großprojekte werden.

Der Fachausschuss für National BIM Standards (NBIMS) des amerikanischen National Institute of Building Science buildingSMARTalliance definiert BIM wie folgt:

„Building Information Modeling (BIM) ist eine Planungsmethode im Bauwesen, die die Erzeugung und die Verwaltung von digitalen virtuellen Darstellungen der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks beinhaltet. Die Bauwerksmodelle stellen dabei eine Informationsdatenbank rund um das Bauwerk dar, um eine verlässliche Quelle für Entscheidungen während des gesamten Lebenszyklus zu bieten; von der ersten Vorplanung bis zum Rückbau.“ [17]

In diesem Kapitel werden zuerst die allgemeinen Ziele und das Konzept zusammengefasst, bevor die Projektorganisation und digitale Kommunikation erläutert wird.

In Bezug zum Thema der Arbeit ist vor allem die digitale Schnittstelle zum 3D-Modell und Verknüpfung zu externen Daten relevant. (siehe Kapitel 2.3.2)

2.3.1 Ziele und Konzept

International wird die Entwicklung des BIM maßgeblich durch die nichtstaatliche non-profit-Organisation buildingSMART International vorangetrieben. Sie geben Leitrichtungen für Umsetzung und die digitalen Schnittstellen vor (z. B. Industry Foundation Classes (IFC)).

Die allgemeinen Ziele für die Etablierung der BIM-Methode definieren sie im BIM - Projekt Execution Planning Guide [19] wie folgt:

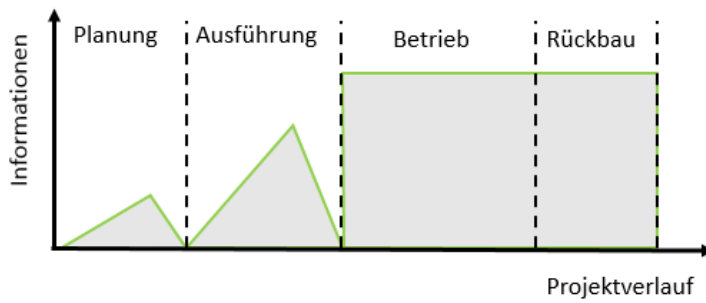
- Aktualitätssicherheit der Projektdaten durch zentrale cloudbasierte Datensammlung
- höherer und durchgängiger Informationsgehalt
- frühere Fehlerkorrektur durch Kollisionsprüfung
- bessere Visualisierung durch 3D-Modellierung
- höhere Kostensicherheit durch detailliertere Planung
- Projekt-Informationsmanagement entlang des kompletten Lebenszyklus
- Zeitersparnis

Besonders hervorzuheben sind der kontinuierliche Informationsgehalt und die Kostenkontrolle.

Im Fokus des BIM steht die Information und Informationssammlung. Die Daten werden zentral gespeichert und bleiben so über den gesamten Lebenszyklus vorhanden. (Abbildung 5)

In der konventionellen Gebäudeplanung geht häufig ein Teil der Informationen beim Übergang zwischen den Lebenszyklusphasen verloren. Die Wiederbeschaffung ist zeitaufwändig und vermutlich mit Detailverlust behaftet. Das digitale Gebäudemodell des BIM verwaltet diese Daten durchgängig von Anfang an, wird zielgerichtet immer weiter detailliert und bekommt im Laufe der Zeit nur mehr und nicht weniger Daten.

Konventionell



BIM

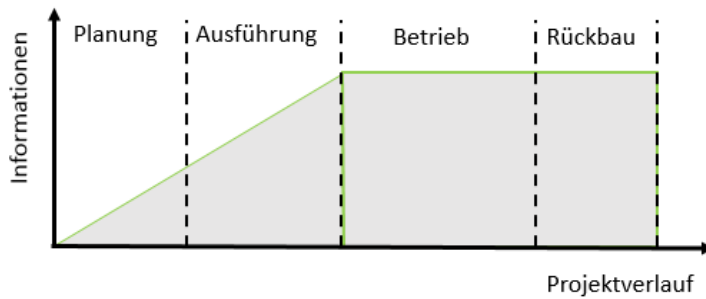


Abbildung 5: Vorteil Informationsgehalt durch BIM [20]

Durch die Planung mit BIM kann schon deutlich früher im Projektverlauf eine höhere Detailtiefe und ein höherer Informationsgehalt erreicht werden. Da die späteren Auswirkungen auf die Bau- und Betriebskosten vor allem in der frühen Planung beeinflusst werden, bietet BIM hier ebenfalls Vorteile. (Abbildung 6)

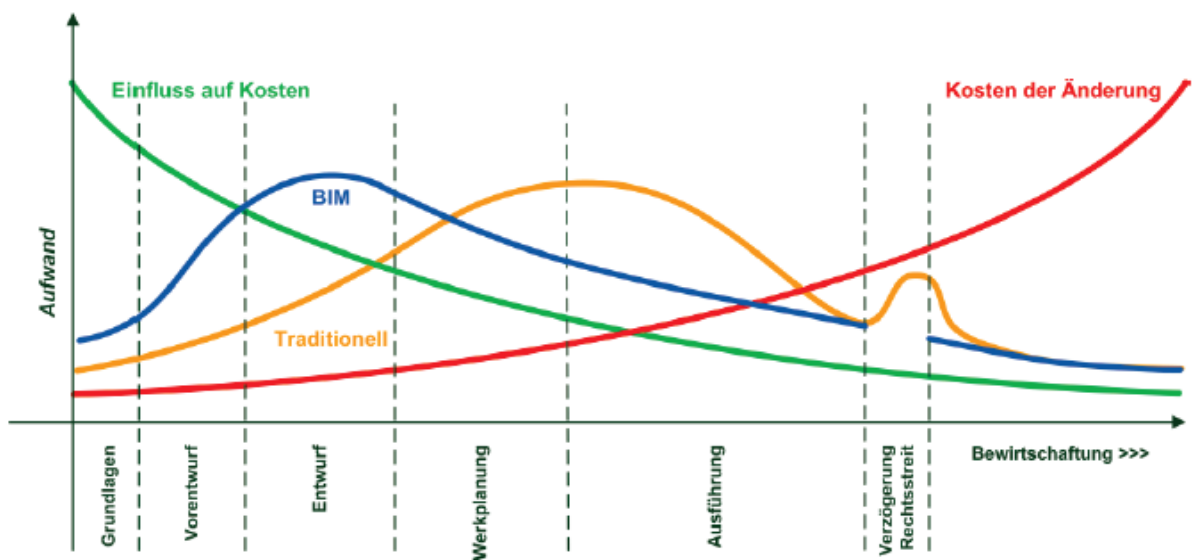


Abbildung 6: Beeinflussung der Gebäudekosten über Planungsphasen [17]

Der Vorteil durch BIM ist aber nicht nur auf die Bauphase beschränkt. Bei Abschluss des Bauprozesses kann dem Objektbetreiber ein BIM-Modell des Gebäudes überreicht werden, welches in jeglicher benötigten und gewünschten Datentiefe, Informationen für die späteren Gebäudelebensphasen verfügbar hält.

2.3.2 3D-Modell

Das Gebäudemodell in BIM ist verpflichtend in 3D zu erstellen und soll folgend jedem Informationsnutzer, zu jeder Phase, anschaulich die Informationen des betreffenden Gebäude- / Bauteils visuell und räumlich konkret beschreiben. Der Wandel vom 2D zum 3D-Modell bietet dabei den Vorteil von interaktiven dynamischen Zeichenplänen, nach dem Motto „a change anywhere is a change everywhere“.

Wie zuvor steht Zeichensoftware von verschiedenen Herstellern zur Verfügung, die je nach Vorlieben des Benutzers und Fachbereiches ausgewählt werden können. Für die Zusammenführung der Teilmodelle ist ein gemeinsames Dateiformat nötig. In der international angestrebten Version „openBIM“ (softwareunabhängig) wird das IFC-Format entwickelt, welches aktuell jedoch laut Praxiserfahrungen noch Probleme mit der Datendurchgängigkeit hat und manuelle Nacharbeit in der spezifischen Planungssoftware erfordert. Um dieses Problem zu umgehen, kann auch bei Projektbeginn die Verwendung von Planungssoftware eines Herstellers vorgeschrieben werden („closedBIM“). Dies wird auch bei der BOB AG für den Einstieg präferiert. Es bietet den verschiedenen Fachplanern eine gemeinsame Modellumgebung mit fachspezifischen Zeichenmöglichkeiten. Aus diesem Modell können im späteren Verlauf die Baumassen ermittelt und ausgegeben werden. In dieser Arbeit wird die Zeichensoftware Autodesk Revit 2016 und 2017 als Studentenversion verwendet.

2.3.3 Projektorganisation

Zentrale Organisationsmethode in der BIM-Anwendung ist die Verwendung eines Projektabwicklungsplans. Es gibt verschiedene Leitfäden und Vorlagen für die Erstellung eines solchen BIM Execution Plan (BEP). Nach dem BIM Project Executional Planning Guide [19] (siehe digitaler Anhang) sind hierfür vier Planungsschritte zu absolvieren.

1. BIM-Zieldefinition
 - Potentiale für BIM-Nutzung identifizieren
 - Verantwortliche Baubeteiligte den Fachbereichen zuordnen
 - Fähigkeit zur Umsetzung jedes Beteiligten zu jeder Aufgabe bestimmen (Ressourcen, Kompetenz, Erfahrung)
 - Identifizieren von zusätzlichem Nutzen und Risiken durch BIM
 - Entscheidung für oder gegen BIM-Einsatz für jeden Nutzungsbereich
2. Workflow für Teilaufgaben
 - Prozessflussbilder für einzelne Teilaufgaben erstellen
3. Festlegung Informationsaustausch
 - Parameter: Person, Zeitplan, Inhalt, Detailierungstiefe, Datenformate etc.
4. Festlegung benötigter Infrastruktur
 - Technischer Bestandsabgleich: Hard- + Software

Für die in dieser Arbeit behandelte Thematik wäre die Erstellung eines BEP trivial, da keine weiteren Beteiligten als der Autor, mit nur einem Fachmodell zu koordinieren sind. Im IST-Vorgang der Bilanzierung (Kapitel 4) wäre noch eine Modellübergabe vom Modellersteller zum externen Ökobilanzierer denkbar, jedoch entfällt dies im angestrebten SOLL-Vorgang (Kapitel 5), da jeder Fachplaner direkt selbst bilanzieren kann.

In komplexeren Bauprojekten mit mehreren Beteiligten wird die Projektkommunikation für das BIM zentraler und wichtiger.

2.3.4 Projektkommunikation

In der BIM-Projektentwicklung ist die Hauptmotivation die zentrale Informationssammlung im 3D-Modell. Dazu müssen in regelmäßigen Abständen die einzelnen Fachplanermodelle (Architektur, Tragwerk, TGA) in einem Koordinationsmodell zusammengefügt und auf Kollisionen untersucht werden (z. B. in Autodesk Navisworks). Abbildung 7 zeigt schematisch den Ablauf der Zusammenführung.

Werden Kollisionen der Modelle festgestellt, werden diese an die Fachplaner zurückgemeldet, damit diese sie in direkter Abstimmung bereinigen. Werden nach weiterer Prüfung des Koordinationsmodelles keine unzulässigen Überschneidungen mehr festgestellt, kann die nächste Detaillierungsphase der Modelle und Leistungsphase (LP) beginnen.

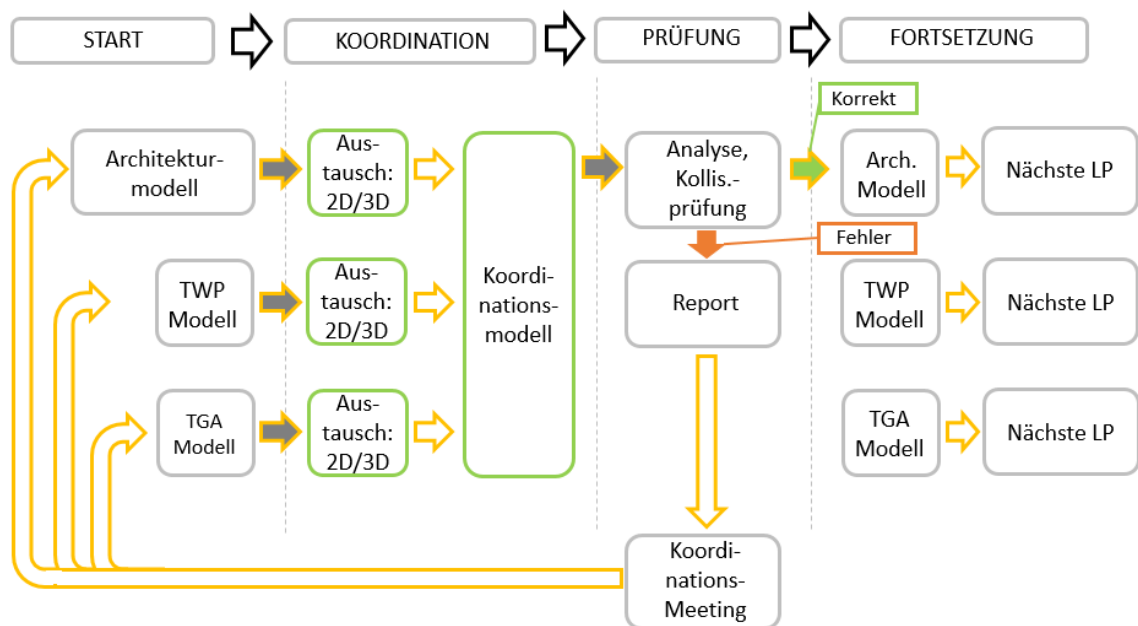


Abbildung 7: Digitale Kommunikationsstruktur in BIM [21]

Für die zentrale BIM-Koordination des BEP und die Datenzusammenführung ins Koordinationsmodell stehen verschiedene Softwareprodukte von verschiedenen Herstellern zur Verfügung (z. B. bim + (Allplan), BIM360 (Autodesk)).

Eine Übersicht der Rollen und Verantwortlichkeiten kann dem Anhang A des BIM-Leitfadens für Deutschland entnommen werden. In Abbildung 8 wird die Hierarchie in der Datenkoordination dargestellt. Beginnend mit dem Bauherrn oben und der 1. Ebene

der Auftragnehmer unten. In Blau sind die Baubeteiligten Parteien und in Gelb die Rollenbezeichnung der BIM-Kommunikation dargestellt.

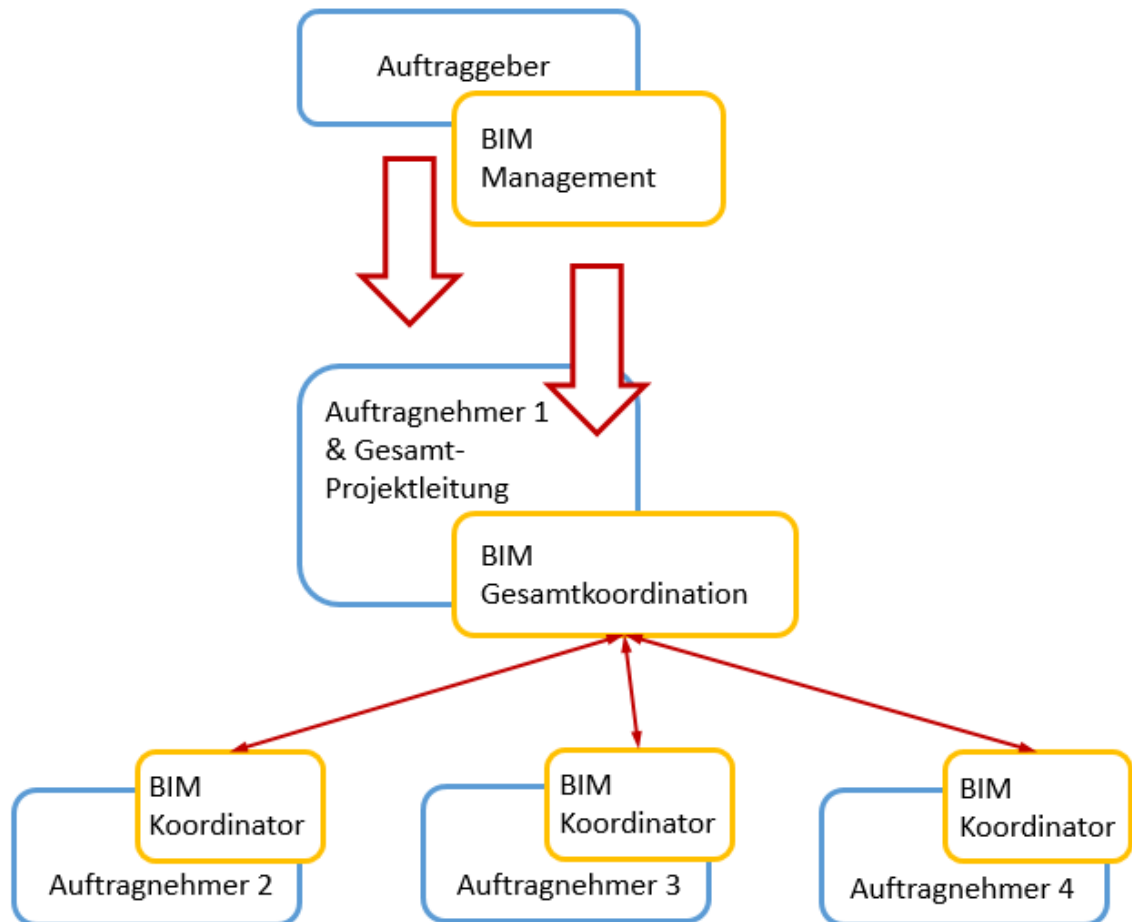


Abbildung 8: BIM-Management Koordinierungshierarchie [21]

In der Projektabwicklung können auch mehrere Rollen von einer Person übernommen werden. Die Rechte für die Daten der Fachplanermodelle liegen weiterhin bei den Planern, welches sie auch trotz fachlicher Kontrolle durch die Koordinatoren weiterhin für das Planungsergebnis verantwortlich macht. [22]

2.4 Software und digitale Schnittstellen

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen genutzten Programme in ihrer genutzten Funktion kurz vorgestellt. Zuerst wird die verwendete BIM-fähige Zeichensoftware Revit erklärt, in welcher später das zentrale Architekturmodell erstellt wird. Anschließend wird die getestete ÖBS GaBi3, die Grundzüge der Datenbankstruktur und die Revit Applikation Tally vorgestellt.

2.4.1 CAD-Software: Autodesk Revit 2016

Als Zeichensoftware wird die Studentenversion von Autodesk Revit 2016 und teilweise 2017 verwendet, welches von Hochschulangehörigen frei heruntergeladen und drei Jahre lang genutzt werden kann. Die Software bietet eine übersichtliche Benutzeroberfläche, mit fachübergreifenden Arbeitsbereichen. Das digitale Modell ist wie eine eigene Datenbank strukturiert, welche über ein ODBC-Schnittstelle sichtbar gemacht werden kann. (siehe Kapitel 5.4.3)

Die Ebenen sind von über- zu untergeordneter Ebene organisiert (als Kategorien → Familien → Typen → Komponente).

Kategorien: kontrolliert die Organisation, Sichtbarkeit und Listenoptionen der Familien im Projekt [23]

Familien: Revit unterscheidet drei Arten von Familien (siehe [24]), diese sind:

- Systemfamilien: vordefinierte grundlegende Organisationseinheiten, wie Wände, Decken und Möbel, aber auch Systemeinstellungen wie Ebenen oder Ansichtsfenster
- Ladbare Familien: hinzufügbare Ergänzungen, die nach dem Import dem Projekt dauerhaft beigefügt werden. Dies umfasst beispielsweise Beschriftungselemente oder herstellerbezogene Bauteile, wie Fenster, Türen oder Möbel.
- Projektfamilien: neu erstellte Projektelemente, mit eigener Geometrie, für die Revit eine eigene Familie, mit nur einem Familientypen erstellt.

Typen: In einer Familie, z. B. Wände, gibt es verschiedene Wandtypen, die über das Eigenschaftfenster dupliziert und individualisiert werden können.

Komponente: Individuelles Element eines Typs, mit eigenen Charakteristiken (parametrisch, graphisch, inhaltlich) [23]

Über Internetportale können sowohl zusätzliche Bauteile(-familien), als auch Applikationen und Plug-ins mit zusätzlichen Funktionen ergänzt werden. Mittels Vorlagendateien, exportierbaren Bauteilfamilien und teilweise hinzufügbaren Parametern können Projektergebnisse an neue Projekte übergeben werden.

Das Modell ist in verschiedenen Formaten (z. B. IFC, DWF/DWFX u. a.) exportierbar. Neben den fachbezogenen Zeichenoberflächen, können auch Räume und Zonen definiert werden, um das Gebäude programmintern überschlägig statisch zu simulieren.

Das Format gbXML ermöglicht den Export in detailreichere Simulationsprogramme wie *Tas*. Die im Modell gespeicherten Daten können für weitere Verarbeitung über Bauteillisten benutzerdefiniert zusammengestellt und ausgegeben werden.

Die Ergebnisse der Modellerstellung und Baumassenausgabe des verwendeten Beispielprojektes sind in Kapitel 3 beschrieben.

2.4.2 Ökobilanzierungssoftware

Für die Erstellung einer Ökobilanz stehen verschiedene ÖBS zur Verfügung. Diese bieten eine Benutzeroberfläche, in welcher die Datensätze der Datenbanken mit einander verknüpft und variiert werden können, um eine möglichst realitätsgetreue Bilanzierung der funktionalen Einheit zu erstellen. Die Tools unterscheiden sich in Oberfläche, Detailgrad der Funktionen und dem erstellten Berichtslayout.

Entscheidende Funktion der ÖBS ist die Lesbarmachung der Datenbanken, da es hierfür kein einheitliches Datenformat gibt und somit für jede Datenbank eine individuelle Decodierungsmaske programmiert werden muss. Dies ist neben dem Kaufpreis für die Datenbank der Hauptkostenfaktor, welcher an den Anwender weitergeleitet wird. Je nach Bedarf können die thematischen Datenbanken hinzugekauft werden. Problematisch für die Automatisierung der Bilanzierung während des Planungsprozesses ist jedoch, dass keine ÖBS eine Importmöglichkeit für Baumassen bietet, weshalb Bilanzierungen immer nur eine Momentaufnahme der Planung darstellen und nach Änderung des Modells neu erstellt werden müssen. (siehe Kapitel 4) Eine Übersicht verschiedener ÖBS ist in Anhang A 1 zu finden, welche keinen Anspruch auf Vollständigkeit stellt.

In Kapitel 4.1 wird das Onlinetool *GaBi 3* verwendet, da es automatisch die Daten der ÖKOBAUDAT bezieht und somit ein Beispiel für die derzeitige DGNB-konforme Bilanzierung darstellt.

2.4.3 Ökobilanz-Datenbanken

Je nach Anwendung können thematische Datenbanken zur Software hinzugekauft werden. Diese können z. B. für Landwirtschaft, Chemie, Bau, Elektro oder auch soziale Faktoren ausgelegt sein. Die kostenlose ÖBS *openLCA* bietet beispielsweise über ein Nexus-Portal übersichtlich eine Auswahl an Datenbanken zum Kauf an.

In Deutschland ist für die zertifikatsgetreue Gebäudebilanzierung die Verwendung der ÖKOBAUDAT vorgeschrieben. Sie beruht auf der Themendatenbank für Baumaterialien vom Datenanbieter der *thinkstep AG (GaBi)*, und wurde 2008 veröffentlicht. Sie ist in

insgesamt neun Oberkategorien mit zwei weiteren Unterebenen strukturiert. (siehe digitaler Anhang) Im Vergleich zu anderen Datenbanken beinhaltet sie jedoch deutlich komprimiertere Datensätze, für die beispielsweise bereits konkrete Transportstrecken und Produktionsweisen angenommen wurden und nicht mehr vom Anwender individualisiert werden können. Das verringert auf der einen Seite den Detaillierungsgrad und somit die Aussagekräftigkeit, erleichtert andererseits die Automatisierbarkeit der Bilanzierung.

Die ÖBS haben somit bei der ÖKOBAUDAT eine rein linear skalierende Funktion der Referenzdatensätze, weshalb mit Zugänglichkeit zur Datenbank die Entwicklung eines eigenen Bilanzierungstools machbar erscheint.

Die ÖKOBAUDAT ist im XML-Format kostenlos auf der Internetseite des BBSR herunterladbar, inklusive aller Schemadateien. XML ist eine selbstbeschreibende Metasprache zur Definition von Sprachen (Inhalt und Struktur, kein Layout), welches 1997 entwickelt wurde und seitdem Basis für viele Folgeentwicklungen war. Für nähere Informationen zu Datenbankdesign und zum XML-Format siehe [25] und [26].

2.4.4 Revit Plug-in Tally

Ein Kooperationsprojekt der drei Firmen KT Innovations, thinkstep AG und Autodesk hat das Revit Plug-in Tally entwickelt. Im Gegensatz zu den anderen ÖBS, ist Tally direkt in die Planungssoftware integriert und nutzt die Revit API. Es bezieht automatisch die Baumassen des Modells, ermöglicht die Zuordnung von cloudbasierten Datensätzen aus der Tally-Datenbank und speichert Verknüpfungen im Revit-Modell ab, sodass bei Neubilanzierung die ehemaligen Datensatzzuordnungen noch vorhanden sind. Für die exakte Berechnung werden die Meta-Daten von Tally exportiert, um in einem vergrößerbaren Speicher den Bericht zu erzeugen. [27] Ein Nachteil ist, dass Tally ausschließlich die eigene, aus der GaBi-Datenbank für Nordamerika entwickelte, Datenbank verwendet. Eine Anpassung der Datensätze soll immer über den Softwarehersteller vorgenommen werden, um die Korrektheit der Datenanpassung zu prüfen. Dies schränkt die Flexibilität im Arbeitsalltag ein, da z. B. die für DGNB vorgeschriebene ÖKOBAUDAT nicht verwendet werden kann. Des Weiteren ist Tally ausschließlich für Revit entwickelt und resultierend bisher nur closedBIM-geeignet.

2016 wurde Tally mit dem R+D Award ausgezeichnet, für die Integration der Ökobilanzierung in die Planungssoftware und somit den Designprozess. Für diese Arbeit wird die kostenlose Tally-Testversion verwendet. Eine Einzelplatzlizenz kostet 695 US \$ pro Jahr.

3 BIM-Modell: BOB Jülich

In diesem Kapitel wird anhand der allgemeinen Aufgabenstellung die Methodik zur Ökobilanzierung anhand des Beispielprojektes BOB Jülich gezeigt. Dieses Gebäudemodell ermöglicht die fiktive Ermittlung der Materialmassen und Energieströme. Hierzu werden alle nötigen Schritte für die Ökobilanzierungsphase eins und zwei dargestellt.

3.1 Phase 1: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Ziel dieses Projektes ist es, unter Nutzung von BIM-Software den aktuellen Arbeitsablauf zur Gebäude-Ökobilanzierung darzustellen. Aus diesem Grund ist auch der Detaillierungsgrad des Beispielmodells oder die exakt korrekte Ökodatensatzzuordnung sekundär, weshalb auch spätere Einrichtung, TGA und dimensionierte Statik vernachlässigt werden. Für ausgewählte softwareabhängige Arbeitsschritte sind schematische Dokumentationen zu erstellen und an entsprechender Berichtspassage zu verweisen.

Die Modellübergabe in eine BIM-Managementsoftware wird in dieser Arbeit nicht betrachtet.

3.2 Beispielprojekt - Projektbeschreibung

Projektname:	BOB Jülich
Projektstatus:	Entwurfsphase (Grundriss)
Architekt:	HAHN HELTEN + ASSOZIIERTE ARCHITKTEN GMBH
Detailzeichnungen:	BOB Dresden (Fa. Innius)
Anzahl Mietparteien:	1
Etagen:	3
Betrachtungszeitraum:	60 Jahre (DGNB 50 Jahre)

Eine 3D-Ansicht des Modells ist in Abbildung 9 zu sehen.

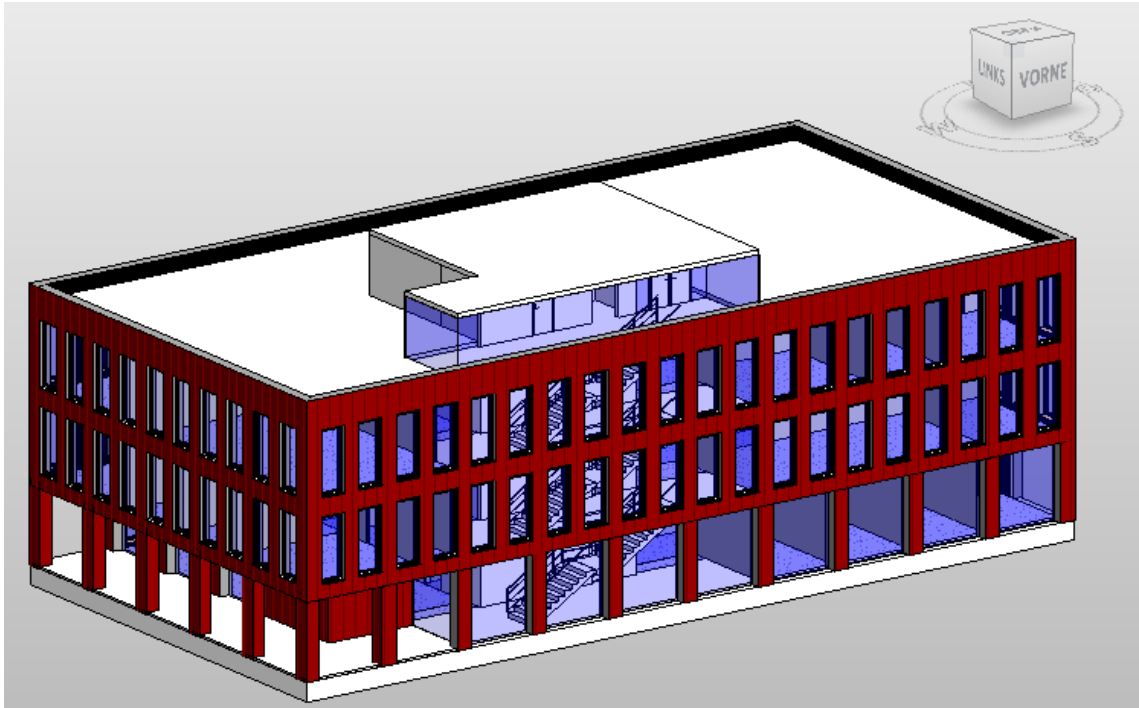


Abbildung 9: 3D-Ansicht Revit-Modell BOB Jülich

Der Technikblock stellt mit dem Treppenhaus den geschossübergreifenden Kern des Gebäudes dar.

Das Erdgeschoss besitzt im Unterschied zu den Obergeschossen noch einen überdachten Außengang auf der Westseite. Im Technikblock sind die Versorgungsanlagen für Aufzug und TGA etagenübergreifend verbunden. Die Netto-Raumfläche ergibt sich aus der Summe der Technikfläche, der Verkehrsfläche und der übrigen Nutzfläche.

Typisch für die BOB Architektur ist die Betonständerbauweise, in welcher eine variable Raumaufteilung vorgenommen werden kann. Außerdem ist mittig zwischen den Büros auf der Ostseite ein Pausen- und Versorgungsbereich für die Mitarbeiter geplant.

Die funktionalen Flächen des Beispielobjektes ergeben sich, wie in folgender Tabelle 3.

Tabelle 3: Funktionale Flächenaufteilung Beispielprojekt BOB Jülich

Fläche A	m²
Brutto-Grundfläche (BGF)	1.556
Konstruktions-Grundfläche (KGF)	160
Netto-Raumfläche (NRF= NUF + TF + VF, ehem. NGF)	1.396
Nutzfläche (NUF)	1.151
Technische Funktionsfläche (TF)	113
Verkehrsfläche (VF)	132

Die Außenwände haben im EG einen 24 cm und darüber 17,5 cm dicken Betonkern, zzgl. 18 cm Mineralwolldämmung mit einer Vorhangfassade mit Tonfliesen. Im Inneren trägt der zentrale Technikblock mit Betonwänden und ergänzenden Stützen die Gewichtslast von oben.

Genauere Angaben können dem digitalen Modell entnommen werden. Die Lebenszeiten der Komponenten orientiert sich an den Vorgaben zur Nutzungsdauer von Bauteilen nach *BNB (Bewertungssystem nachhaltiges Bauen, [28])*.

3.3 Phase 2: Erstellung der Sachbilanz - Baumassenausgabe

Für die Ökobilanzierung eines Gebäudes beinhaltet die Sachbilanz eine Liste der verwendeten Materialienmassen, Energieverbräuche der Nutzungsphase und Konstruktionsenergie. Den größten Einfluss auf die Gebäudemassen haben die Wände und Decken. Im entsprechenden Baugruppeneditor kann die Materialschichtung eingetragen und mit Eigenschaften (Materialtyp, Dicke u. a.) beschrieben werden.

Ein Wunsch-Datenexport von Revit könnte wie folgt aussehen (Tabelle 4)

Tabelle 4: Wunsch-Datenexport für Baumassen

Revit-Bauteil:	Material					
Typ	Name	Dicke	Volumen	Dichte	Masse	Ökodatenbank-ID
		d m ²	V m ³	ρ kg/m ³	m kg	
1 m ² BOB AW 17,5 Filig 18 WD	Beton C25/30	0.175	0,175	2.550	446	8.3.1
	Wärmedämmung - hart	0.18	0.18	50	9	2.5.1
	BOB Abdichtung	0.002	0.002	1.290	2,58	6.5.3
	Luftschicht	0.04	Dummy material			
	BOB Fassadenfliesen	0.03	0.03	1.700	51	8.4.2

Die zugeordneten Materialien können der Revit-internen Materialdatenbank entnommen oder neu erstellt werden. Jedes Material wird mit maximal fünf Informationskategorien beschrieben. Mindestens enthalten sind die Kategorien Identität, Grafiken und Aussehen, um eine eindeutige Zuordnung und optische Darstellung im 3D-Modell zu definieren. Zusätzlich können die Kategorien *Physisch* und *Thermisch* enthalten sein oder hinzugefügt werden.

Beim Hinzufügen einer Kategorie wird eine Auswahlliste von vorhandenen Materialkennwerten aus der Liste *Physikalische Autodesk-Objekte* angeboten. Die Listendetaillierung variiert je Bereich, sodass z. B. mehr Unterkategorien von Beton für physische als für thermische Datensätze vorhanden sind. Das entsprechende Material wird durch Doppelklick ausgewählt und die Werte in den Materialkatalog übernommen.

Es findet keine kausale Überprüfung der Materialelektion zwischen thermisch und physisch statt. Es ist daher möglich einem Katalogmaterial die physischen Eigenschaften von Aluminium, mit den thermischen von Holz zuzuordnen. Der enthaltene Informationsumfang innerhalb der zugeordneten Datensätze variiert (Abhängigkeit nicht erkennbar).

Revit kann über die 3D-Geometrie die Materialvolumina V ermitteln, sodass für die Berechnung der Baumassen m die Dichte des Materials ρ benötigt wird.

$$m = \rho \cdot V$$

Die Dichte-Information kann an zwei verschiedenen Stellen der optionalen Materialkategorien stehen; in der Kategorie Physisch, im Bereich Mechanisch (Abbildung 10) oder in der Kategorie Thermisch, im Bereich Eigenschaften (Abbildung 11). Durch diese Dopplung der Informationsspeicherung ohne internen Abgleich, können einem Material zwei verschiedene Materialwerte zugeordnet werden. Durch die unabhängigen Materialauswahllisten führt auch die gleiche Auswahl des Datensatzes Beton zu verschiedenen Dichtewerten in der physischen und thermischen Kategorie

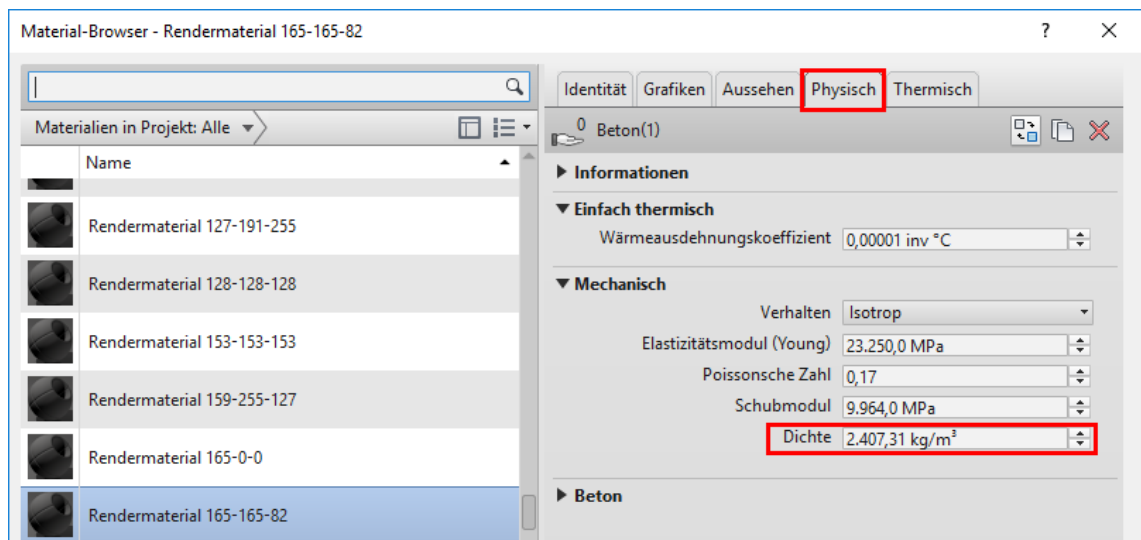


Abbildung 10: Materialbrowser – Physische Materialinformation

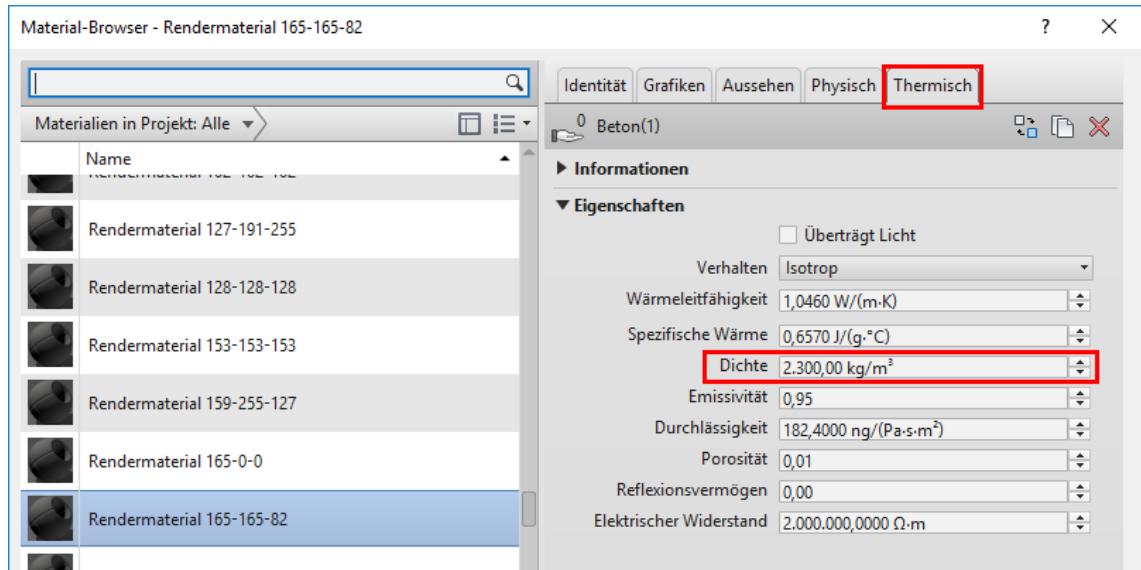


Abbildung 11: Materialbrowser – Thermische Materialinformation

Um diese Dopplung zu verhindern wäre die Verwendung eines Datensatzes für beide Themenbereiche wünschenswert. Dies könnte jedoch die Anzahl der Datensätze reduzieren, nur auf solche die sowohl physische als auch thermische Daten gekoppelt enthalten. Diese Lösung würde zudem die Freiheit in der Er- und Zusammenstellung von Materialeigenschaften beschränken.

3.3.1 Bauteil- / Materialauflistung

Revit bietet die Möglichkeit Bauteil- und Materiallisten mit benutzerdefinierten Parametern zu erstellen und im .txt-Format zu exportieren. (Anleitung siehe digitaler Anhang) Die Parameterauswahl und Tabelleneigenschaften können sowohl zu Beginn als auch später über die Materialauflistungseigenschaften eingestellt und verändert werden.

Das Eigenschaftsfenster ist in die Bereiche Felder, Filter, Sortierung/Gruppierung, Formatierung und Darstellung unterteilt. In der Mappe Felder werden die darzustellenden Parameter ausgewählt. Hierfür kann aus einer Liste vorhandener „verfügbarer“ Felder gewählt oder neue Parameter erstellt werden. Es wird unterschieden zwischen rein informativen Ausgabeparametern (hier: Dichte) und berechneten Werten (hier: Masse).

Die vordefinierten Felder besitzen eine feste Zellverknüpfung zur modellinternen Informationen, wohingegen selbsterstellte Felder manuell gefüllt/definiert werden

müssen. Ihre Information wird nur in der Liste angezeigt/berechnet und nicht in das Revit-Modell zurückübertragen.

In Revit 2016 ist die Dichte als Feld noch nicht vordefiniert, wodurch eine Massenermittlung über die normale Materialausgabe nur mit manueller Zuarbeit möglich ist. Es muss ein neuer Listenparameter erstellt und händisch mit den Dichtewerten der Materialien gefüllt werden. (Abbildung 12) Die Masse kann folgend als *Berechneter Wert* erstellt werden und multipliziert die Dichte mit dem Volumen. Auf diese Weise ist eine Massenausgabe aktuell möglich.

Die manuelle Übertragung der Dichte ist hierbei ein unerwünschter Zeitaufwand in der Bilanzierung und bietet unnötiges Potential für Fehler in der Anwendung.

<BOB Wandmaterialauflistung>						
A	B	C	D	E	F	G
Typ	Material: Name	Fläche	Volumen	Material: Fläche	Material: Volumen	ProjPara: Dichte
BOB Aufzugsschacht STB 25	Stahlbeton - Ortbeton					
BOB Aufzugsschacht STB 30 12DA	Beton - C25/30(DIN 1045-1)	7.43 m²	3.12 m³	7.43 m²	2.23 m³	2550.00 kg/m³
BOB Aufzugsschacht STB 30 12DA	Wärmedämmung - hart	7.43 m²	3.12 m³	7.43 m²	0.89 m³	2550.00 kg/m³
BOB AW 17.5Filig 18WD	Beton - C25/30(DIN 1045-1)					2400.00 kg/m³
BOB AW 17.5Filig 18WD	BOB Abdichtung				0.00 m³	2400.00 kg/m³
BOB AW 17.5Filig 18WD	BOB Fassadenfliesen					2400.00 kg/m³
BOB AW 17.5Filig 18WD	Misc. Air Layers - Air Film - Outside					2400.00 kg/m³
BOB AW 17.5Filig 18WD	Wärmedämmung - hart					2400.00 kg/m³
BOB AW 24Filig 18WD	Beton - C25/30(DIN 1045-1)					
BOB AW 24Filig 18WD	BOB Abdichtung				0.00 m³	
BOB AW 24Filig 18WD	BOB Fassadenfliesen					
BOB AW 24Filig 18WD	Misc. Air Layers - Air Film - Outside					
BOB AW 24Filig 18WD	Wärmedämmung - hart					
BOB AW 42 Filig 18 WD	Beton - C25/30(DIN 1045-1)	9.75 m²	6.40 m³	9.75 m²	4.03 m³	
BOB AW 42 Filig 18 WD	BOB Abdichtung	9.75 m²	6.40 m³	9.75 m²	0.00 m³	
BOB AW 42 Filig 18 WD	BOB Fassadenfliesen	9.75 m²	6.40 m³	9.48 m²	0.28 m³	
BOB AW 42 Filig 18 WD	Misc. Air Layers - Air Film - Outside	9.75 m²	6.40 m³	9.50 m²	0.38 m³	
BOB AW 42 Filig 18 WD	Wärmedämmung - hart	9.75 m²	6.40 m³	9.57 m²	1.71 m³	
BOB AW GLAS 2cm	Glas					
BOB IW GLAS 1cm	Glas					
BOB IW InstallationsW 20	Gipswandbauplatte				0.22 m³	
BOB IW InstallationsW 20	Holz - Bretterlage					
BOB IW STB 20	Stahlbeton - Ortbeton					
BOB IW TrockenbauW 10	Gipswandbauplatte					
BOB IW TrockenbauW 10	Holz - Bretterlage					
BOB Stützen-Verkleidung 4.5cm	BOB Fassadenfliesen					

Abbildung 12: Materialauflistung Bsp.: Wand

Aktuell werden die Volumina nur bei den Konstruktionen angezeigt, die aus nur einem Material bestehen. Bei mehrschichtigem Aufbau wäre die Aufteilung nach Materialarten in der Konstruktion nötig. Die Auswahl des Parameter *Material: Name* in den Materialauflistungen erfüllt diese Funktion.

Leider ist die geometrische Information für die einzelne Schichtung nicht enthalten. Dies könnte vermutlich über eine Aufteilung der Wandkonstruktion in die einzelnen Schichten funktionieren, jedoch ist anschließend die geometrische Änderung der Wand aufwändiger, da die Schichten kein Verbund-Bauteil mehr darstellen.

Ab der Version Revit 2017 ist die Materialdichte verfügbar. [29]

Hierzu ist die Komponentenauswahl der Bauteilliste auf die Kategorien zu begrenzen, die Materialmengen besitzen wie Wände, Decken, Böden, Dach und einzelne 3D-Elemente deren Familiengeometrie eine Materialzuordnung besitzen. (Abbildung 13) Durch die Verbindung zum Materialkatalog werden dem Element die Materialeigenschaften zugeordnet und es ergeben sich andere verfügbare Felder in den Materialauflistungseigenschaften. Diese sind unter *Verfügbare Felder wählen aus: Tragendes Material* zu finden und umfassen ab Revit 2017 auch die Dichte, welche auf den Wert der Kategorie Physisch zugreift. [29] Der Wert Masse muss weiterhin als berechneter Wert erstellt werden, aber der manuelle Übertrag der Dichte aus dem Materialkatalog entfällt.

<BOB Wandliste>					
A	B	C	D	E	F
Typ	Breite	Fläche	Volumen	Tragendes Material: Dichte	BerWert: Masse
BOB Aufzugsschacht STB 25	0.250	73.62 m²	18.02 m³	2407.31 kg/m³	43,390.0
BOB Aufzugsschacht STB 30 12DA	0.420	7.43 m²	3.12 m³		0.0
BOB AW 17.5Filig 18WD	0.425	414.02 m²	170.83 m³		0.0
BOB AW 24Filig 18WD	0.490	81.46 m²	39.75 m³		0.0
BOB AW 42 Filig 18 WD	0.670	9.75 m²	6.40 m³		0.0
BOB AW GLAS 2cm	0.020	178.71 m²	3.56 m³		0.0
BOB IW GLAS 1cm	0.010	336.98 m²	3.37 m³		0.0
BOB IW InstallationsW 20	0.200	8.85 m²	1.77 m³		0.0
BOB IW STB 20	0.200	267.59 m²	53.24 m³	2407.31 kg/m³	128,174.0
BOB IW TrockenbauW 10	0.100	1054.08 m²	105.39 m³		0.0
BOB Stützen-Verkleidung 4.5cm	0.045	42.44 m²	1.91 m³	1700.00 kg/m³	3,242.8
Gesamt: 333		2474.93 m²	407.37 m³		174,806.8

Abbildung 13: Bauteilliste Bsp.: Wand

Sollte allgemein während der Eingabebestätigung einer Formel eine Warnmeldung auf „Inkonsistente Einheiten“ erscheinen, schafft die Teilung des einheitenbehafteten Parameters durch Eins Abhilfe. Die Meldung „Unzulässige Anwendung in Boolescher Operation“ ergibt sich z. B. durch Formelkombination von Text und Zahlenfeld. Die akzeptierten Möglichkeiten dieser Formeleingabemaske sind, im Zuge zukünftiger Weiterentwicklungen von Revit, weiter zu testen.

Für die Wunscharstellung des Listenexportes kann der Modelltyp (z. B. Wand) über den Parameter *Material: Name* nach Materialtypen aufgeteilt werden. In der Listenzusammenstellung fällt auf, dass der benötigte Parameter *Tragendes Material: Dichte* jedoch nur bei Bauteillisten und der Parameter *Material: Name* nur in Materialauflistung verfügbar ist.

3.3.2 Baumassenermittlung

Die Berechnung der Masse wird nach oben genanntem Vorgehen manuell ermittelt (Tabelle 5), jedoch direkt in Excel zur einfacheren späteren Auswertung. Es werden die Dichten der im Modell zugeordneten Materialeigenschaften übernommen.

Tabelle 5: Baumassenermittlung - manueller Dichteparameter

Revit-Materialauflistung			Excel-Erweiterung		
Material: Name	Material: Fläche A	Material: Volumen V	Material: Name	Dichte ρ	Masse m
	m ²	m ³		kg/m ³	kg
Beton - C25/30 (DIN 1045-1)	1009,95	144,44	C25/30 (DIN 1045-1)	2.550	368.322
Beton - Estrich	1582,88	117,13	Beton	2.407	281.932
BOB Abdichtung	908	0	Kunststoff	1.290	0
BOB Außenfliesen	667,32	22,66	Fliesen Steinbruch	1.700	38.522
BOB Fassadenfliesen	546,41	17,56	Ziegel Lehmziegel	1.700	29.852
BOB Flachdachschüttung	403,39	8,07	Kies	1.840	14.849
BOB Nadelvlies	1318,95	5,28	Nylon 6/6 Verbundwerkstoff	1.130	5.966
Gipswandbauplatte	4250,9	53,13	Gipswandbauplatte	1.100	58.443
Glas	1052,71	14,65	Glas	2.420	35.453
Holz - Birke	208,09	2,08	Gelb-Birke	512	1.065
Holz - Bretterlage	1062,75	54,02	Hartholz	694	37.490
Kunststoff - Weiß	483,5	5,99	Polyethylen HDPE	952	5.702
Metall - Chrom	1	0	Stahl ASTM A36	7.849	0
Metall - Lackiert - Grau	103,69	0,25	Eisen grau	7.150	1.788
Metall - Titanzink	104,23	3,13	Zink	7.000	21.910

Revit-Materialauflistung			Excel-Erweiterung		
Material: Name	Material: Fläche A	Material: Volumen V	Material: Name	Dichte ρ	Masse m
	m ²	m ³		kg/m ³	kg
Stahlbeton - Fertigbeton	86,19	6,66	Beton 5.0 ksi	2.407	16.031
Stahlbeton - Ortbeton	2529,97	715,14	Beton	2.407	1.721.342
Wärmedämmung - hart	1543,17	247,22	Polystyrol - Styropor EPS	50	12.361
Gesamt	18362,78	1438,06			2.651.028

Es fällt auf, dass die Folien / dünnen Beschichtungen durch diese Massenermittlungsmethode vernachlässigt werden. Revit rundet das Volumen zu Null, wodurch es folgend komplett entfällt und nicht bilanziert wird.

Um jedoch die Masse automatisch ausgegeben zu bekommen, muss ein anderer Weg gefunden werden (siehe Kapitel 4.2.4).

3.3.3 Betriebsenergie

Für die Ermittlung der Betriebsenergien liegen noch keinerlei Berechnungen vor, da sich das Gebäude noch im Entwurfsstatus befindet. Deshalb wird der BOB Aachen als Referenzobjektes gewählt. Das Technikkonzept wird sinngemäß übernommen, aber hier nicht genauer spezifiziert.

Technikbestandteile:

- Betonkernaktivierung
- Wärmepumpe (Erdsonden)
- Lüftungsanlage

Über die flächenspezifischen Energieverbräuche des BOB Aachen und der Netto-Raumfläche des BOB Jülich von 1.396 m² ergeben sich folgende Bedarfe. (Tabelle 6)

Tabelle 6: überschlagener Energiebedarf Beispielprojekt BOB Jülich

BOB Jülich	Flächenspez. [30]	Gesamt
	kWh/m ² a	kWh/a
Gebäudebetrieb		
Heizbedarf	36,0	50.256
Endenergie Heizung	8,0	11.168
Kühlbedarf	64,0	89.344
Endenergie Kühlung (passiv)	3,2	4.886
Luftförderung	4,1	5.724
Beleuchtung	11,0	15.356
Hilfsenergie	3,0	4.188
Summe		
Endenergie Strombedarf Gebäudebetrieb	29,3	40.903
Endenergie Strombedarf Arbeitsmittel	Annahme: 8,4	11.726
Endenergie Strombedarf gesamt	37,7	52.629
Primärenergie (PEF _{Strom} = 1,8)	67,86	94.733

Die Bewertung nach DGNB erfordert die Energieverbräuche eines Referenzgebäudes. (Tabelle 7)

Tabelle 7: Energiebedarf Referenzgebäude EnEV 2009

Referenzgebäude EnEV 2009 (Endenergie)	Flächenspez. [30]	Gesamt
	kWh/m ² a	kWh/a
Strombedarf	85	118.660
Heizbedarf	110	153.560

Mittels der Revit-internen Berechnungsfunktion für überschlägige Heiz- und Kühllast können die nötigen Spitzenlasten berechnet werden. Es ergibt sich eine Spitzenkühllast von 74 kW und eine Spitzenheizlast von 54 kW, welche für diese Arbeit jedoch keine weitere Verwendung finden.

Für eine genauere Simulation der Ganzjahresverbräuche sind erweiterte Revit Applikationen wie FormIT 360 oder Insight 360 zu verwenden, deren Einsatz aus Zeitgründen aber nicht ausreichend vertieft werden konnte.

Dieses Beispielobjekt stellt die funktionale Einheit der folgenden Ökobilanzierung dar.

4 IST-Vorgang

Dieses Kapitel soll das aktuelle Vorgehen und die Möglichkeiten zur Gebäude-Ökobilanzierung aufzeigen. Dazu wird im ersten Teil das Onlinetool GaBi3 vorgestellt, welches in der Probeversion die Durchführung einer Bilanzierung erlaubt. Im zweiten Teil wird das Revit Plug-in Tally genauer vorgestellt.

Die bisherige Ökobilanzierung von Gebäuden wird in spezieller Ökobilanzierungs-Software (ÖBS) durchgeführt. Eine Auflistung einiger bekannterer Tools ist in Anhang A 2 zu finden.

Keine der zur Verfügung stehenden ÖBS hat bisher eine Schnittstelle für den Import der Baumassensexporttabellen der Planungssoftware. Die meisten Hersteller haben auch in naher Zukunft keine F&E-Kapazität dafür eingeplant, bis auf das Fraunhofer IBP mit GaBi3. Geplant ist die Entwicklung einer Importmöglichkeit von Excel-Tabellen ab Februar 2017 und aufbauend eine Anbindung zu BIM ab Mai.

Da es bisher jedoch nicht automatisiert ist, resultiert für die Planer ein hoher Zeitaufwand, da die Daten manuell in der ÖBS eingetragen werden müssen. Auf Grund des Aufwandes gibt es aktuell noch das Teilberufsbild des Ökobilanzierers. Ausgehend von diesem Stand könnte im BIM-Projektentwicklungsplan auch der Informationsaustausch zwischen Planer und Bilanzierer definiert werden, worauf im Rahmen dieser Arbeit verzichtet wird.

Der Aufwand macht die Prozedur entsprechend kostenintensiv und sie ist derzeit rechtlich nur bei Projekten der Gebäudezertifizierung (z. B. DGNB) gefordert. In der realen Projektentwicklung wird daher meist nur eine Bilanzierung des fertig konstruierten Gebäudes durchgeführt und somit zu spät, um die Ergebnisse für eine Designoptimierung zu nutzen. Dadurch geht ein Großteil des Bilanzierungspotentials für die Gebäudeerstellung, auf Grund von Kosteneffizienz der Baubranche verloren.

Nach Rücksprache mit den Softwareherstellern besteht derzeit nur eine mögliche Schnittstelle zur Automatisierbarkeit der Baumassenbilanzierung, über die Datenbanktransaktion. Hierbei werden einzelne Datensätze der Datenbank über die ÖBS exportiert, programmextern skaliert und zurück in die Software importiert (Abbildung 14). Hierfür können softwareabhängig Formate wie EcoSpold, ILCD oder csv genutzt werden.

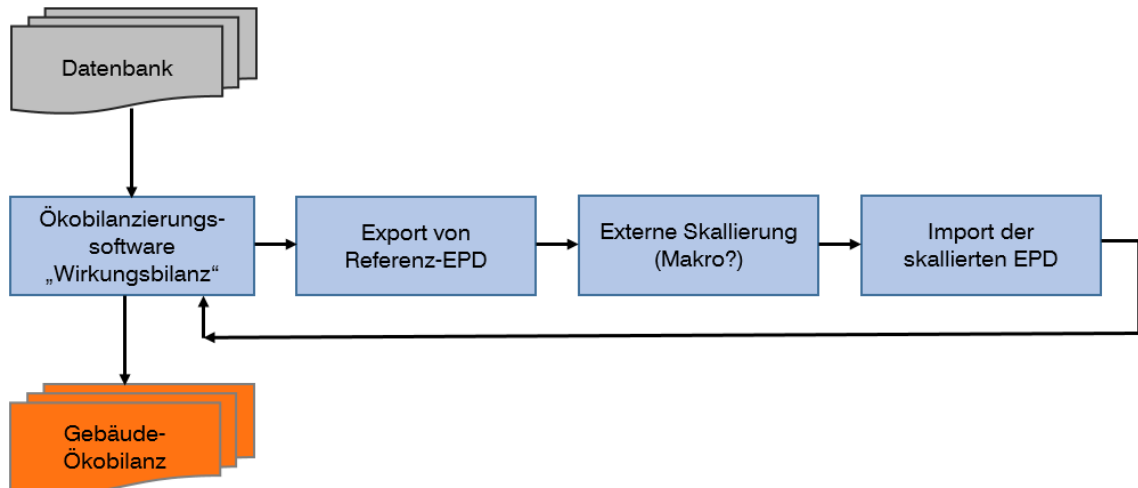


Abbildung 14: IST-Möglichkeit Automatisierbarkeit (statisch)

Wenn zur Lösung der Automatisierungsthematik die Verwendung bereits vorhandener ÖBS vorgeschrieben ist, müsste ein solches, passendes Programm erst noch geschrieben werden.

Die Hauptfunktion der ÖBS allgemein, ist das Lesen der Datenbank, das Skalieren und die graphische Oberfläche der Ausgabe zu generieren. Da die Ökodatenbanken jedoch keine einheitliche Formatierung besitzen [31] benötigt die ÖBS für jede Datenbank eine eigene Decodierungsmaske. Das neu programmierte Skalierungstool wäre daher nur eine statische Lösung für ein Dateiformat von einer ÖBS bzw. Datenbank.

Bei der Programmierung eines eigenen neuen Ökobilanzierungstools mit zugehöriger Datenbank (siehe Kapitel 5) können die Schnittstellen gezielt für die Baumassenbilanzierung angepasst und konfiguriert werden.

Für die Gebäudezertifizierung DGNB ist in Deutschland die Verwendung der ÖKOBAUDAT als Referenzbilanz-Datenquelle fest vorgeschrieben. Zertifikatskonforme Bilanzierungen können beispielsweise mit ökobilanz-bau.de, SBS; GaBi3 oder eLCA (derzeit noch in BETA) erstellt werden.

4.1 GaBi3 – Ökobilanzierungssoftware

Für diese Arbeit wurde das Online-Tool GaBi3 [32] gewählt, welches sich aus dem Tool SBS Building Sustainability entwickelte. Die Trennung fand während der Erstellung dieser Arbeit statt, sodass die bisherigen Softwareunterschiede marginal sind. SBS wird weiter von der thinkstep AG und GaBi3 vom Fraunhofer IBP (Herrn Gantner) betreut. GaBi3 hat eine direkte Auswahloption für die ÖKOBAUDAT (2015) und kann wie der Vorgänger neben der allgemeinen Gebäudeökobilanzierung automatisch eine DGNB-Punkteberechnung erstellen, welche hilfreich im Zertifizierungs- und Planungsprozess ist.

Bei der Eingabe zu beachten sind:

- Für jede Schicht kann eine eigene Lebensdauer nach BNB [28] zugewiesen oder die der gesamten Konstruktion übernommen werden. Ein folgend nötiger Bauteilaustausch wird der Nutzungsphase für Instandhaltung zugerechnet. Im Falle des Flachdaches hat die Abdichtungsfolie die kürzeste Lebenszeit und muss nach 35 Jahren ausgetauscht werden. Da die Handwerker beim Austausch aber auch die darüber liegenden Schichten bewegen müssen (hier: Dachschüttung und Außenfliesen), wird auch deren Lebenszeit auf 35 Jahre herabgesetzt und ein verfrühter Austausch berechnet.
- Es sollen sinnhafte Zuordnung der End-of-life-Datensätze ausgewählt werden. Dies ist abhängig von Materialtyp und Konstruktionsform (sortenrein zerlegbar oder Verbund).
- Vor Berichtserstellung wird eine ausführliche Liste an Warnungen und Fehlern ausgegeben, die den Anwender zur Kontrolle jener erinnern soll. Fehleingaben sind dennoch vor allem für ungeübte Anwender möglich und wird nur bei DGNB-Zertifizierung von extern kontrolliert.

Für die Einreichung bei der DGNB, reicht die vom Tool ausgegebene DGNB-Auswertung mit einem zusätzlichen Bauteilkatalog. Zusammen mit der Leistungsbeschreibung wird die DGNB dann die Eingabe im Tool überprüfen und der Gesamtbewertung beifügen.

Eine Kopierfunktion von Konstruktionen aus vorherigen Projekten, kann den Arbeitsaufwand in Wiederholungs-/ Serienprojekten verkürzen.

Zur Einarbeitung dient das SBS Benutzerhandbuch von der Internetseite. Eine Einzelplatzlizenz kostet 600€ pro Jahr zuzüglich einer einmaligen Einrichtungsgebühr von 200€. [32]

4.1.1 Ergebnisse

Nach Eingabe der Konstruktionen und Skalierung auf das Projekt kann eine Auswertung nach GaBi3 und nach DGNB erstellt werden. Die DGNB-Bewertung wird als Excel-Tabelle und die GaBi3-Bewertung als Internetseite ausgegeben. Diese sind als Kopie im Excel-Format dem digitalen Anhang beigelegt.

Die GaBi3-Auswertung gliedert sich in 12 Mappen, welche teilweise die konkreten Zahlen und die Diagramme umfassen. In Abbildung 15 ist die Zusammenfassung nach Bilanzkriterien sortiert und gestapelt nach Lebenszyklusphasen dargestellt. Die Emissionsanteile der Phasen werden in Bezug zu 100% dargestellt, da die Absolutwerte jedoch nicht im Diagramm angezeigt werden, ist die Aussagekraft des Diagramms, ohne zusätzliche Ergebnisdarstellung, eingeschränkt.

Die Achsenbeschriftung und farbliche Legende, für die Zuordnung zur entsprechenden Lebenszyklusphase, wird nicht automatisch ausgegeben, deshalb manuell zugeordnet und hinzugefügt.

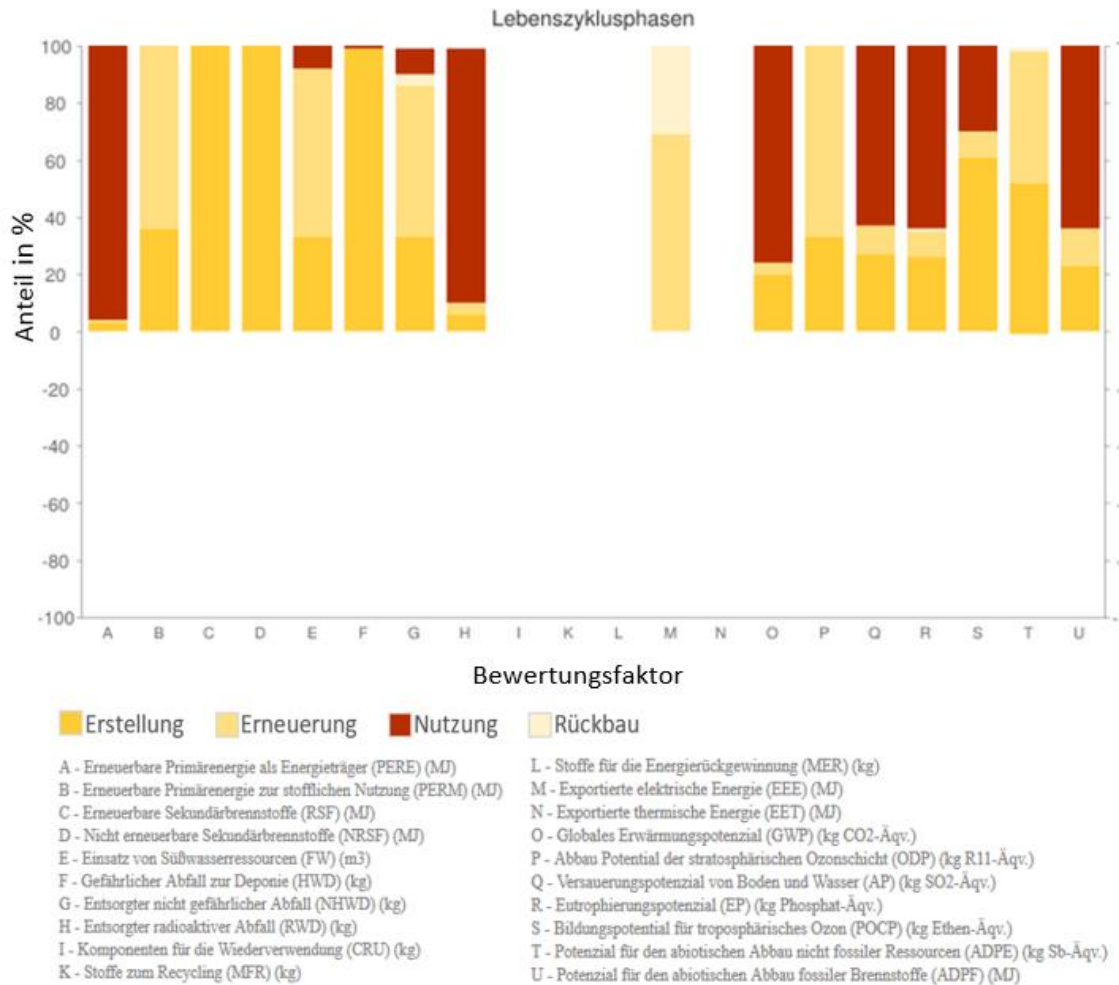


Abbildung 15: GaBi3-Auswertung über alle Lebenszyklusphasen [33]

Um die Legende selbst zu erzeugen wird versucht aus den gelieferten Zahlen das Diagramm neu zu erstellen. (siehe digitaler Anhang) Dabei zeigt sich, dass nicht alle Ergebnisse zu den errechneten Umweltwirkungsparametern auch im Zahlenformat enthalten sind, sodass eine Neuerzeugung der Diagramme im eigenen Layout nicht möglich ist. Ebenso auffällig ist die berechnete Massenabweichung zur manuellen Berechnung aus den Revit-Daten. GaBi3 berechnet ~1.700 t Gesamtbaumasse, wohingegen manuell ~2.600 t berechnet wurden. Dies liegt laut Herrn Gantner an den geringeren Dichten der ÖKOBAUDAT-Datensätze. Ob dies die einzige Ursache einer solche Abweichung begründet, kann weiterführend untersucht werden. Die eingetragenen Flächen der Wandkonstruktionen entstammen dem 3D-Modell und Eingabefehler wurden weitestgehend mit Herrn Gantner ausgebessert.

Die DGNB-Auswertung für das Ökobilanzkriterium bestätigt dem Gebäude einen Erfüllungsgrad von 100%. (siehe digitaler Anhang)

4.1.2 Bewertung

Der Aufbau des Tools ist mit dem Nutzerhandbuch allgemein schnell verständlich, jedoch ergeben sich Fragen bei der exakten Eingabeform. Je nach Materialdatensatz kann eine andere Referenzeinheit gefordert und/oder sinnvoll sein. Durch die Wahl der Bezugseinheit im Tool (z. B. m^2 ; m^3 ; Item) verändert sich auch die Mengeneinheit der Konstruktionsschichten (Item/ m^2 , m^2/m^2 ; kg/m^3 etc.). Diese Eingabeaufforderung kann manuelle Umrechnung der Einheiten erfordern.

Eine Ausgabe der GaBi3-Auswertung im Excel-Format wäre wünschenswert, für die übersichtliche Datenarchivierung.

Durch die unvollständige Offenlegung der im Hintergrund verwendeten Datensätze und Rechenschritte, ist eine genauere Überprüfung der Richtigkeit des Tools und der Eingaben, aus den Ergebnissen heraus kaum möglich. Die Gründe für die ermittelte Massendifferenz von 900 t können nicht festgestellt werden, welches die gesamte Aussagekraft dieser Untersuchung in Frage stellt.

Mit der geplanten Entwicklung einer Schnittstelle zu BIM ab Mai 2017, ist GaBi3 die derzeit aussichtsreichste vorhandene ÖBS für die Automation der Bilanzierung. [34]

4.2 Tally

Tally kann von der Internetseite *choosetally.com* [35] heruntergeladen und installiert werden. Anschließend erscheint im Revit-Browser unter dem Reiter Zusatzmodule das Icon von Tally. Auf der Internetseite sind hilfreiche Tutorials zur Anwendung von Tally erhältlich.

Die Programmanwendung gliedert sich im Wesentlichen in drei Schritte. Zuerst ist die Auswahl der zu bilanzierenden Modellteile zu bestimmen, welche hier auf *vollständige Gebäudeauswahl* eingestellt wurde, damit nicht ungewollt irgendwelche Modellteile entfallen. Alternativ können auch nur einzelne Gewerke oder Bauteilfamilien bilanziert und verschiedene Varianten miteinander verglichen werden, welches hier jedoch nicht untersucht wird. Anschließend wird das Modell eingeladen und die Datensätze der Tally-Datenbank (Tally-DB) den einzelnen Objekt-Materialien der zugeordnet.

4.2.1 Datensätze zuordnen

Tally bietet nun die Möglichkeit Materialien entlang der Modellstrukturen (Modell → Kategorie → Familie → Material) zuzuordnen. Als Orientierung werden die Namen der in Revit zugewiesenen Materialien übertragen und angezeigt. Im Projektbrowser wird über farbige Punkte eine schnelle Übersicht zum Stand der Datenzuordnung gegeben. (Abbildung 16)

Im Vorschaufenster auf der rechten Seite ist die aktuelle Familienauswahl dargestellt, mit einer kurzen Objektbeschreibung und Hinweisen zu den zugehörigen Komponenten. Die Komponenteninformation umfasst beispielsweise die ausgewählte Ausgabemethode (Takeoff method) nach Fläche oder Volumen. Bei manchen Objekten ist dies, vermutlich wegen der Bezugseinheit der Referenz-Datensätze, automatisch eingestellt.

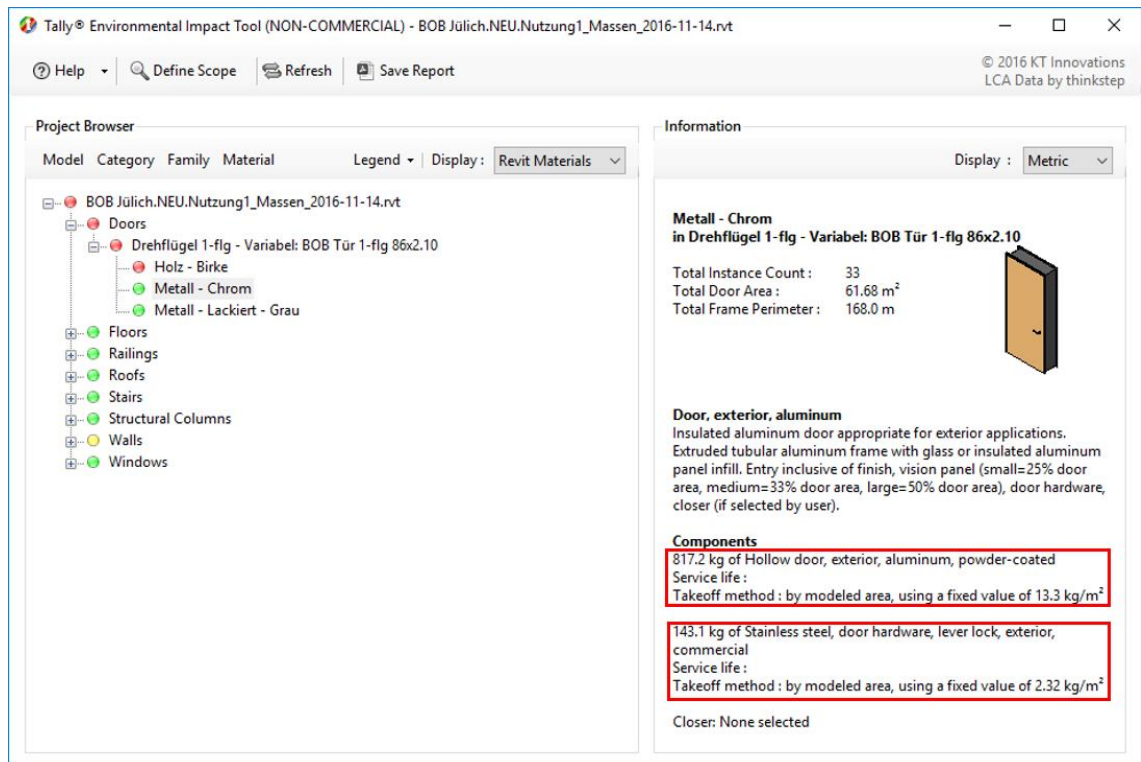


Abbildung 16: Tally Datenzuordnung

Das rote Licht vor „Holz-Birke“ zeigt hier eine unerlaubte Zuordnung. Bisher war aus der Kategorie 06 / Wood / Domestic Softwood gewählt, jedoch erfordert die Zuordnung bei Türen und Fenstern eine Auswahl aus Kategorie 08 – Openings and Glazing / Door.

Abbildung 17 zeigt einen Ausschnitt der Tally-Datenbank.

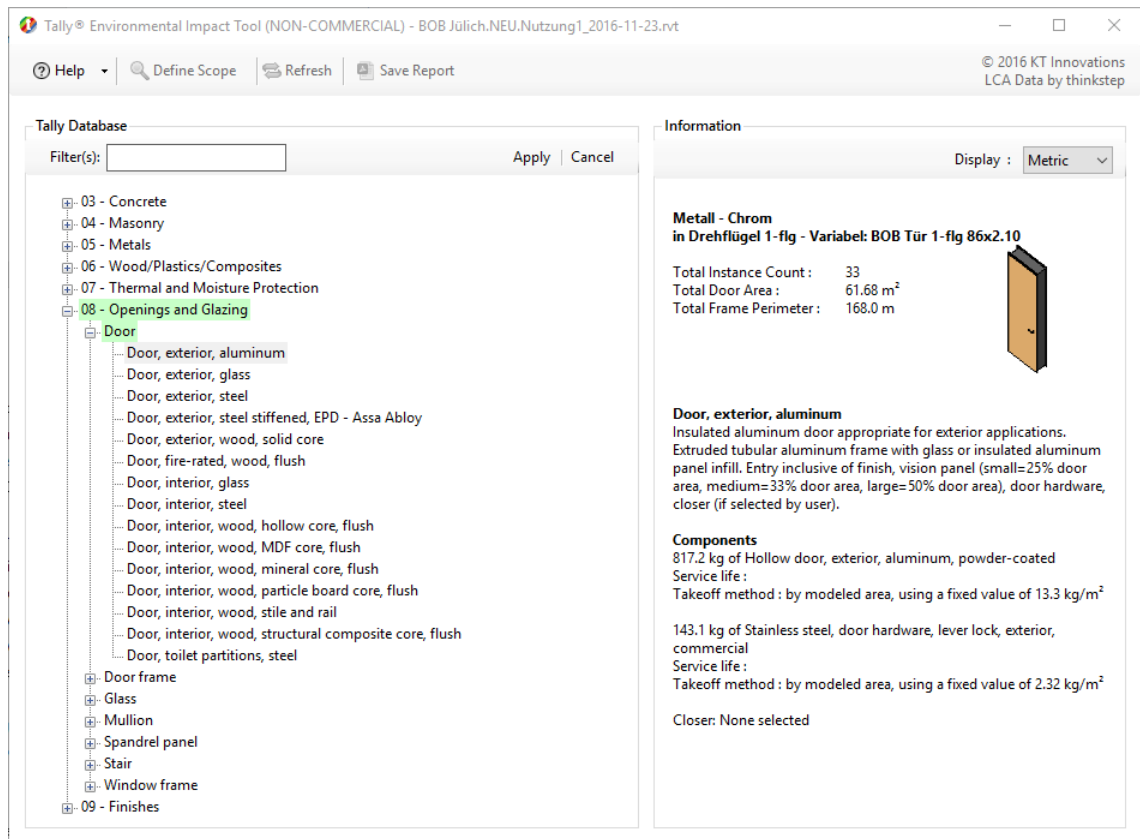


Abbildung 17: Tally Materialdatenbank

Auffällig bei der Zuordnung ist die integrierte Abfrage von Zusatz- oder Hilfsmaterialien. Dies beinhaltet beispielsweise die Bewehrung (Typ, Menge) im Beton, den Kleber beim Teppichboden oder die Türbestandteile Türblatt, Rahmen, Beschichtungsart und Schließsystem.

Für jede Komponente sind die Bilanzierungsart (z. B. nach Fläche, Volumen, Länge) gefragt sowie Möglichkeiten zur Bauteildetaillierungen, wie prozentualer Füllgrad für die Darstellung einer Holzkonstruktion anstatt Vollholzes oder die Lebenszeit der Komponente.

Die Objektvorschau zeigt keinerlei Informationen des dahinterliegenden Datensatzes an, wodurch der Anwender z. B. nicht weiß, welche Dichte zur Masseberechnung oder welche ökologischen Auswirkungen sich hinter dem zugeordneten Datensatznamen verbergen. Dies wäre hilfreich, wenn ein Ersatzmaterial mit möglichst realitätsähnlichen Werten genutzt werden soll, dieses aber nicht in der Tally-DB vorhanden ist.

Die Überprüfung der dahinterliegenden Daten sowie die Anpassung von bestehenden / Ergänzung neuer Datensätze ist dem Softwarehersteller vorbehalten.

In manchen Auswahlkombinationen werden Hinweismeldungen gegeben, um die Auswahl nochmal auf Vollständigkeit und Sinnhaftigkeit zu überprüfen. Luftschichten aus Wandkonstruktionen erwarten ebenfalls eine Materialzuordnung und können über die Bezeichnung *dummy material* bewertungsneutral gekennzeichnet werden.

Für die Übersichtlichkeit in dieser methodischen Anwendung wurden einzelne Vereinfachungen vorgenommen. Es wurde auf die Definierung der Anstriche von Türen und Wänden verzichtet und die Lebenszeit aller Außenbauteile und tragenden Komponenten ideal betrachtet und auf das Ende der Gebäudelebenszeit eingestellt (hier 60 Jahre). Ersatzmaßnahmen während der Betriebszeit beinhalten hier daher nur die modularen Innenwände, Türen und Fenster. Die genaue Zuordnung ist der Excel-Tabelle *Vergleich Massenberechnung* im digitalen Anhang zu entnehmen.

Zeigen alle Bereiche grünes Licht, kann der Bilanzierungsbericht erstellt werden.

4.2.2 Bericht erstellen / Auswertung

Vor der abschließenden Berichtserstellung, werden allgemeine Berichtsdetails eingetragen. Diese beschreiben allgemein das untersuchte Projekt und das Ziel der Untersuchung. Es besteht die Möglichkeit die Transportmittel und Strecken für alle Bauteile individuell festzulegen. In Grundeinstellung wird alles mit dem LKW transportiert. Die eingetragenen Streckenlängen sind vermutlich für nordamerikanische Verhältnisse angepasst. Ebenso können die Energieverbrauchsanteile für Konstruktions- und Betriebsphase eingetragen werden, damit die Ökobilanz nicht nur die Bauteilherstellung und den Rückbau betrachtet. Da der Ressourcenverbrauch für die Bauphase schwer abzuschätzen ist, wird in dieser Arbeit nur die in Kapitel 3.3.3 ermittelten Betriebsenergien eingetragen. Als Auswahl der Energiequelle für Strom und Heizung besteht lediglich der allgemeine länderspezifische Strom-Mix und der öffentliche Gasbezug zur Verfügung. Andere Energiebezugsquellen und konkretere TGA ist nicht auswählbar. Da die veranschlagte Technik auch für die Heizenergie nur Strom verwendet, beschränken sich die Umweltwirkungen der Nutzungsphase auf dieses Medium.

Tally erstellt einen Bericht in pdf-Format, sowie eine Excel-Tabelle die die wichtigen Zahlenwerte darstellt, die zur Erstellung der Diagramme genutzt wurden. Der Umfang des Berichtes ist konform zum amerikanischen LEED-Zertifizierungssystem.

Die Ausgabe im Excel-Format zeigt zwischenzeitlich ein Kompatibilitätsproblem zur deutschen Version von Revit, indem Namen und Zuordnungen unleserlich übersetzt werden.

Die Ergebnisse werden nach verschiedenen Themen dargestellt. Diese sind die Materialtypen (Beton, Metall, Holz etc.), die Lebenszyklusphase (Manufacturing, Construction, Use, End of Life) oder die Bauteilfamilie (Türen, Böden, Wände etc.). Visualisiert wird es als Balkendiagramm in Bezug auf die Umweltwirkungsparameter (Abbildung 18) und als Kreisdiagramm für die prozentualen Anteile von gesamter CO₂-Erzeugung und dem Energieverbrauch.

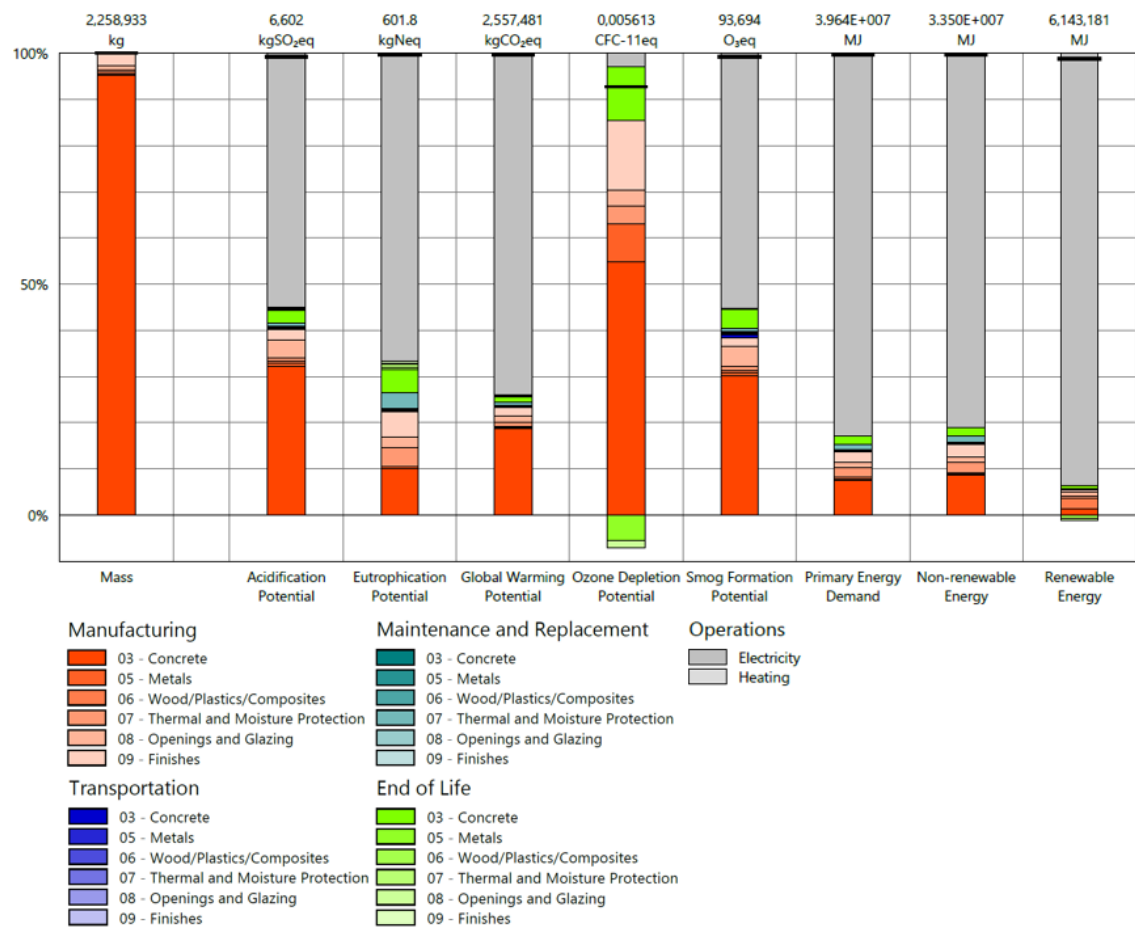


Abbildung 18: Tally-Ergebnis: Umweltwirkung nach Lebenszyklusphase und Materialkategorie

Die Bereiche des Transportes und der Bauteilausbesserung sind sehr gering, da in der Berichtserstellung die Faktoren Konstruktionsphase nicht einbezogen und die Lebenszeit der meisten Bauteile ideal auf Gebäudelebenszeit gesetzt wurden. Die grauen Anteile der Betriebsenergien geben eine Relation für zwischen diesen und den Bauenergien wieder. Da die grafischen Darstellungen aber nur relative Abhängigkeiten in Prozenten zeigen, ist auch die Betrachtung der Absolutzahl oberhalb des Balkens

wichtig. Ein Bewertungsschema für die Aussagekraft dieser absoluten Umweltwirkungen ist noch herauszufinden.

Der erste Balken zur Gebäudemasse zeigt, dass ca. 95% des Gewichtes vom Beton stammt. Dies hat einen Anteil von 30% am gesamten Treibhausgaspotential des Gebäudes über 60 Jahre und trägt mit 14% zum Gesamtprimärenergiebedarf bei. Betrachtet man rein den Anteil der Baumaterialien, ohne spätere Betriebsenergie, ist der Anteil mit 79% und 57% deutlich größer. (siehe Abbildung 19)

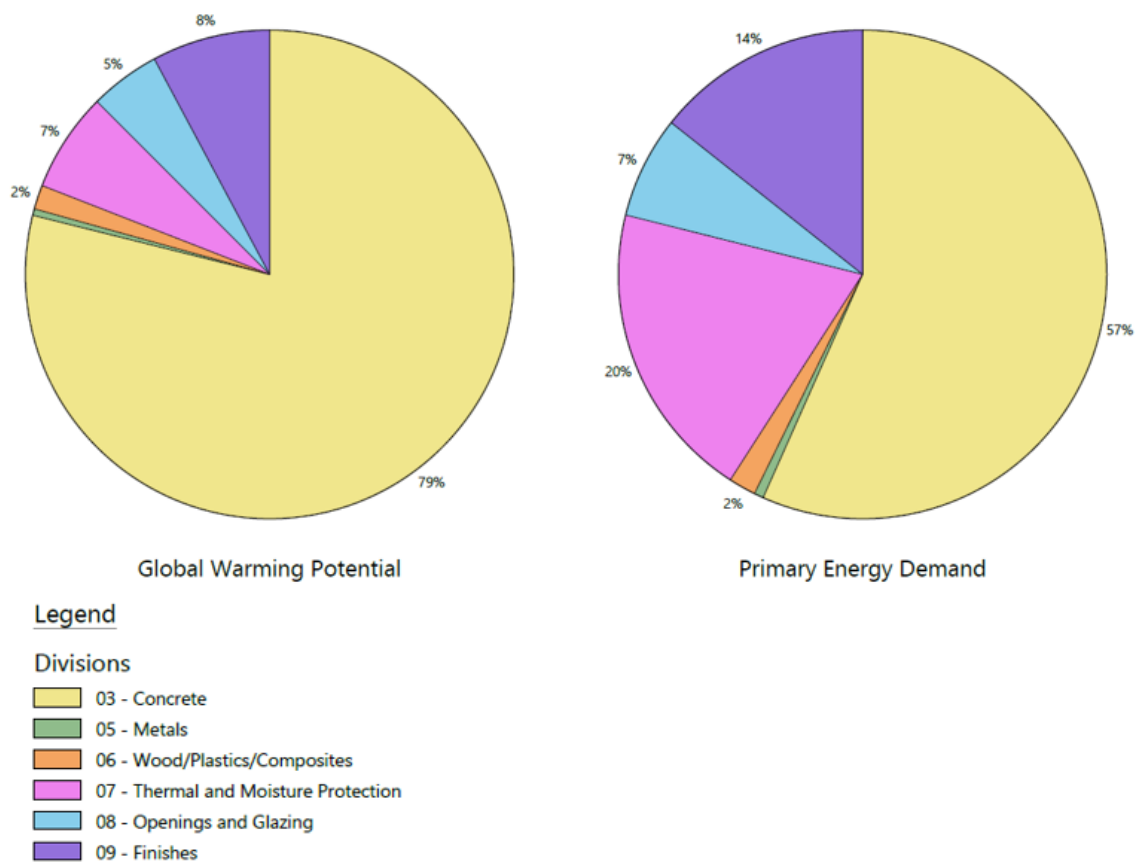


Abbildung 19: Tally-Ergebnis: Prozentualer Anteil an Umweltwirkung nach Material

Diese Ausschnitte zeigen den markanten Anteil des Betons für die Umweltwirkung des gesamten Gebäudes. Insgesamt werden im BOB Jülich bei angenommener Bauweise wie BOB Dresden rund 2.250 t Beton verbaut, die neben den produktionsbedingten Umweltauswirkungen auch den Ressourcenmangel des körnigen Sandes (aus Flüssen und Stränden) verstärken.

Die Bilanzierung beinhaltet die potenzielle Recyclingfähigkeit des Materials nach der Lebenszeit und wird anteilsweise in der Rückbauphase D wieder gutgeschrieben. Als solches Recycling wird in Deutschland auch die Bauschuttverwertung im Straßenbau bezeichnet, welches einem deutlichen Downcycling der Materialqualität und einem dauerhaften Wertverlust entspricht.

Der gesamte Tally-Bericht ist im digitalen Anhang zu finden.

4.2.3 Vergleich zu manueller Baumassenberechnung

Tally verwendet uneinsichtige Rechenalgorithmen zur Volumen- und Massenberechnung. Um eine grobe Einordnung der Tally-DB zu erzeugen, wird die Tally-Massenermittlung mit der manuellen Massenberechnung über die Autodesk-Materialdichten verglichen. Hierfür werden in einem ersten Schritt Modellkörper von einem Kubikmeter erzeugt und als Materialvollkörper definiert. Der Vergleich ist in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Vergleich Gewichtsrechnung mittels Revit-Materialeigenschaft und Tally-DB

Revit-Materialname	Materialeigenschaften			tally	
	zugeordnetes Material	Dichte ρ kg/m ³	Masse m kg	zugeordnetes Material	Masse m kg
1 m ³ Beton - C25/30	C25/30 (DIN 1045-1)	2.550	2.550	structural concrete 5000 psi, 25% fly ash, no reinforcing	2.220
1 m ³ Beton - Estrich	Beton	2.407	2.407	structural concrete 3000 psi, unreinforced	2.181
1 m ³ Glas	Glas - Kalknatron	2.420	2.420	Glazing, monolithic sheet, generic	2.500
1 m ³ Hartholz - Eiche	Gelb-Eiche	673	673	Domestic hardwood, US	740
1 m ³ Weichholz - Birke	Gelb-Birke	512	512	Domestic softwood, US	434
1 m ³ Stahl	Metall - Stahl	7.850	7.850	Steel, rod	7.850
1 m ³ Wärmedämmung - hart	Polystyrol - Styropor EPS	50	50	Expanded polystyrene (EPS), board	40
1 m ³ Außenfliese - Dach: Ziegeldeckung	Dach: Ziegeldeckung	1.700	1.700	Roofing tiles, clay, high profile	0,7
1 m ³ Gipswandbauplatte	Gipswandbauplatte	1.100	1.100	Wall board, gypsum, natural	800

Dieser erste Vergleich der Gewichtsermittlung zeigt Abweichungen der zugrundeliegenden Dichten. Beton und Weichholz werden in Tally rund 15 % und Gipswandbauplatten um 27% leichter kalkuliert. Besonders auffällig ist die Masse der Außenfliesen in Tally. Über Mailverkehr zu den Tally-Betreibern wurden Hinweise gegeben, welche teilweise folgende Erkenntnisse begründen [27]:

- Die hinterlegten Daten sind deutlich verschieden zu den Revit-Datensätzen, weshalb eine Vergleichbarkeit zweifelhaft ist. [27]
- Tally ermittelt die Masse indem es die Revit Volumenausgabe als Basis nimmt. Folgend werden entfernte Teile (Fenster, Türdurchbrüche) ergänzt bzw. Hohlräume (Hohllochziegel) entfernt, die sonst als Vollkörper berechnet werden [27]
- Die Masse der Außenfliese wird in Tally über die Fläche ermittelt, wird hier jedoch mit einem Vollvolumen an Dachziegel verglichen. Tally teilt die Dachkonstruktion in eine Stahl-Unterkonstruktion mit einer Ziegel-Oberschicht ein und gibt die Massen über einen Quadratmeter aus. Die Dicke des dargestellten Aufbaus, wird hier somit nicht in die Ermittlung einbezogen. In der Gesamtbewertung des Modells könnte sich dieser Berechnungsunterschied abmildern, da die Außenfliese dünner um die Außenhülle ergänzt ist. Durch die Konstruktionsergänzung von Tally entsteht der zusätzliche Materialposten der Stahlkonstruktion, welchen Revit mit Zeichnung eines einfachen Wandschichtenaufbaus vernachlässigt. Hierzu könnten Bauelemente der Fassadensysteme genauere Ergebnisse liefern.

Neben diesem Vergleich in Bezug auf das Normvolumen, wird auch die Auswirkung auf die Gesamtbilanzierung verglichen. Markante Auffälligkeiten wurden in der dazugehörigen Tabelle nummeriert. (Anhang A 4)

1. Teilweise mehr/weniger Materialtypen/Details als Revit-Materialaufteilung
2. teilweise deutliche Massenunterschiede, z. B.
 - 1 Tally-Fassadenfliesen nur ca.1% der Revit-Masse
 - 2 Tally-Weichholz zu Revit-Hartholz, Faktor 0,188
 - 3 Tally-Zink nur 5,3% der Revit-Masse
 - 4 Tally-Gesamtabweichung 15% geringer
3. Programminterne Vorauswahl der Möglichkeiten zur Datenzuordnung (Doppel-ISO-Verglasung nur bei Türen/Fenstern angeboten, nicht bei Glas als Wand
→ muss in Revit anders gezeichnet werden

Insgesamt sind deutlich Ergebnisunterschiede zwischen der manuellen Berechnung mit Vollkörpern und der Tally-Berechnung zu erkennen. Die Richtigkeit der einzelnen Aussagen konnte nicht tiefergehend überprüft werden.

4.2.4 Bewertung

Das Plug-in ließ sich sehr intuitiv bedienen. Die direkte Einbindung in Revit macht die Anwendung sehr bedienerfreundlich. Es ermöglicht eine klar zu bilanzierende Auswahl zu treffen und Datensätze zuzuordnen. Als Nachteile sind vor allem die mangelnde Einsichtigkeit der Materialdatenbank und Beschränktheit auf die Tally Datenbank zu nennen, welche keine eigene Überprüfung der Korrektheit der Ergebnisse ermöglicht. Weitere Bewertungspunkte ergeben sich im Vergleich zur manuellen Massenermittlung aus dem Revit-Modell (Anhang A 4).

Vorteile:

1. Bedienungsfreundlich
2. Ergänzung mit Hilfsmaterialien-Abfrage (z. B. für Bewehrung, Anstrich, Kleber)

Nachteile:

1. Nur mit Tally-Datenbank (GaBi-DB für Nordamerika) vorhanden
→ nicht konform für Deutschland
2. Keine Einsicht in Datenbank (Materialkennwerte, Ökodatensätze)
3. Amerikanische Baubegrifflichkeiten machen fachlich korrekte Zuordnung schwieriger
4. Teilweise deutliche Massenunterschiede zu Revit-Massenberechnung
5. Teilweise weniger Materialtypen/Details als Revit-Materialaufteilung

Insgesamt weist Tally einige gut in Revit eingefügte Funktionen auf, die für die eigene Formulierung des SOLL-Vorganges übernommen werden können.

4.2.5 Vergleich zu GaBi3

Im Vergleich zu GaBi3 ist die unmittelbare Verknüpfung zum 3D-Modell der große Unterschied, der die Anwendung unkomplizierter macht. Beide Tools haben individuelle Funktionen, die das andere nicht erlaubt. Durch die bisherige Uneinsichtigkeit der Datensätze und internen Berechnungen, ist für beide Programme eine Überprüfung der Fehlerfreiheit nicht möglich.

Ein Vergleich der ausgegebenen Umweltwirkungen der beiden Tools, ist aufgrund der fehlenden absoluten Zahlen in der GaBi3-Auswertung, nicht möglich.

5 SOLL-Vorgang

Dieses Kapitel beschreibt die aktuelle Vorstellung eines optimal zu bedienenden Bilanzierungsvorganges.

In benutzerfreundlichster Version, wäre die Ökobilanzierung zu jedem Zeitpunkt der Planung verfügbar. Die richtungsweisende BOB-Vision beschränkt sich jedoch nicht nur auf die Zielvorstellungen für die Ökobilanzierung. Das zu entwerfende System soll sich ins BIM einfügen und offen für zukünftige weitere Bewertungsfaktoren sein. Hierfür werden folgend die Grundzüge einer eigenen „BOB-Datenbank+“ entworfen und Ansätze zur Zielerreichung, in zukünftiger Entwicklungsarbeit dargestellt.

5.1 BOB-Vision

Die Vision der BOB AG übersteigt die reine Betrachtung der Ökobilanz auf dem Weg zum optimalen Bürogebäude und möchte künftig auch Bewertungssysteme für andere Faktoren des nachhaltigen Bauens entwickeln (Kosten, Wartungsanleitungen, Zerlegbarkeit der Konstruktion, baubiologische Kennwerte usw.).

Die hierfür benötigten Daten sollen in einer zentralen BOB-Datenbank+ (BOB-DB+) verwaltet werden, um unternehmensintern die aktuellste und ausführlichste Version der Daten zu verwalten. (siehe Kapitel 5.3) Diese DB kann zentral in die BIM-Cloud geladen werden und steht somit jedem Planer jederzeit zur Verfügung. Sie kann im Laufe der Zeit um weitere Faktoren ergänzt werden und dient bei wachsendem Detaillierungsgrad als Informationsbasis für Folgeprojekte.

In der Planungssoftware können die gewünschten zu bilanzierenden Teile des Gesamt-3D-Modelles selektiert und automatisch die Baumassen / andere relevante Modellinformationen generiert werden. Abhängig von Entscheidungsfaktoren können Modellvarianten erstellt werden, um die prioritätsabhängig bestmögliche Lösung zu finden. Die relevanten Modellinformationen werden über standardisierte Ausgabeformate exportiert und automatisch zur Skalierung der fachbezogenen Datenbankparameter in Plug-ins verarbeitet.

Je nach Fachbereich können die Plug-ins für die gewünschten Bewertungskategorien und Benutzeroberflächen angepasst werden. Die Abbildung 20 zeigt den dazugehörigen Wunschworkflow als Struktogramm.

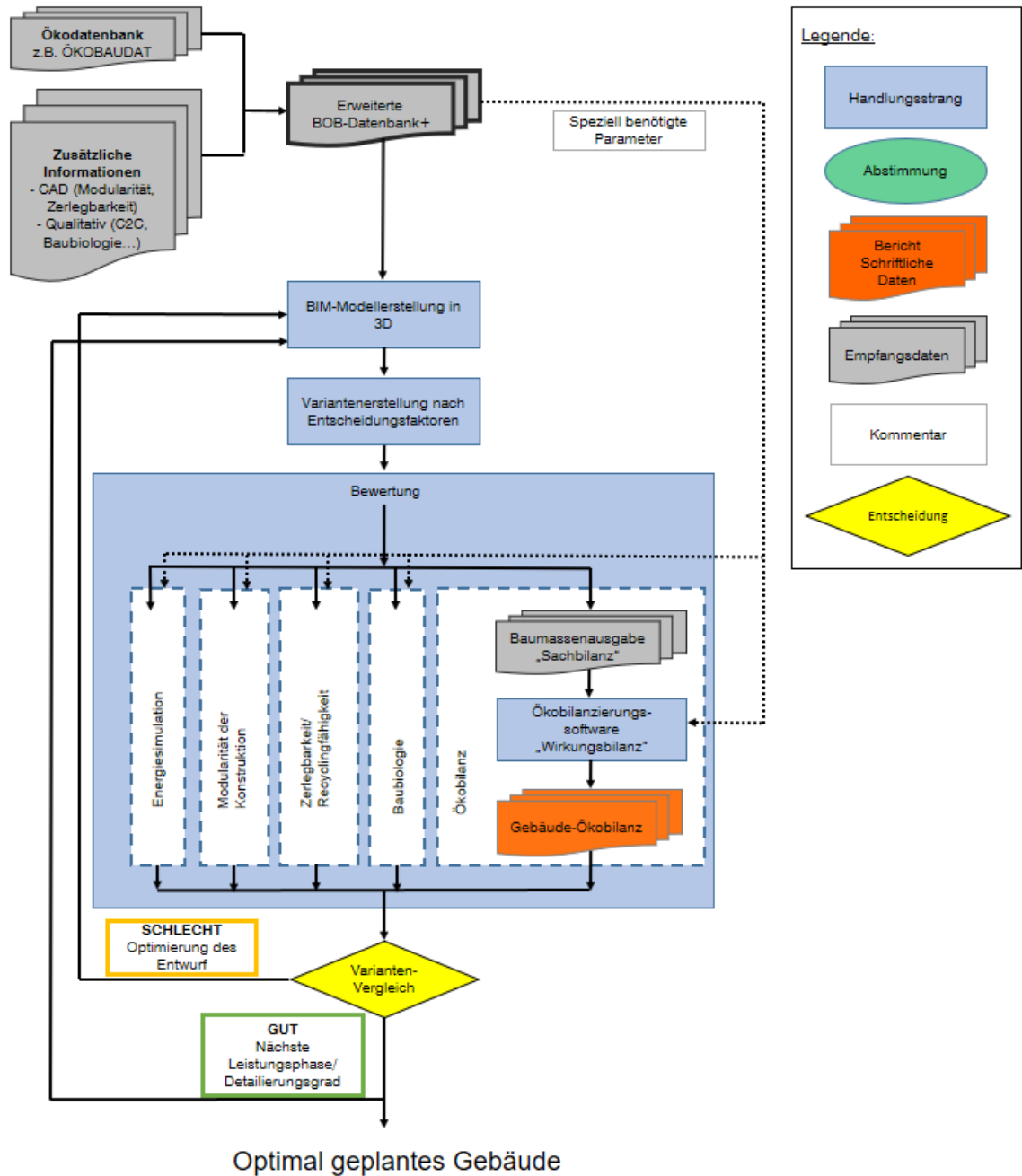


Abbildung 20: Wunschworkflow mit BOB-Datenbank +

Nach Bewertung der Modellvarianten, können diese miteinander verglichen werden. Ergibt sich keine eindeutig gute Tendenz wird das Ergebnis in den Entwurf

zurückgespiegelt und dieser optimiert. Stellt sich im Vergleich eine Variante heraus, kann dieses Modell als neue Basis weiter detailliert werden. Auf diese Weise wird von Leistungsphase zu Leistungsphase das Design immer weiter verfeinert, verglichen und am Ende das möglichst nachhaltigste Gebäude gebaut. Eine Priorisierung der Bewertungskategorien oder Zuordnung zu bestimmten Leistungsphasen ist in kommender Entwicklung zu bestimmen.

Verschiedene Planer benötigen verschiedene Plug-ins für Ihre fachspezifischen Anwendungen und Untersuchungskriterien. Dennoch hat es Vorteile die von den Plug-ins genutzten Datenquellen möglichst zentral zu bündeln, damit nicht jeder Planer mehrere Datenbanken aktuell halten muss. Alle projektbezogenen Programme beziehen ihre programmspezifischen Datensätze aus einer zentralen Datenbank. Somit sind die Datensätze für alle transparent einsichtig und müssen nur an einem Ort, zentral, aktuell gehalten werden. Jeder Projektpartner kann über Anwenderprofile aufgabenspezifisch darauf zugreifen sowie damit weiterarbeiten.

5.2 Vorteile durch BIM

Durch die Einführung neuer Planungssoftware und der BIM-Methode bietet sich Automatisierungspotential für die Ökobilanz-Erstellung. Bei BIM ist der zentrale Fokus auf dem I für Information, was das Prinzip verfolgt, möglichst viele präzise Daten zu einem Gebäude digital zuzuordnen und dauerhaft verwalten zu können. Eine interaktive Vernetzung zur aktuellsten Datenbankversion ist dabei entsprechend sinnvoll.

Durch die Erstellung eines zentralen 3D-Modells, kann jedem Bauteil Informationen der verschiedenen Fachdisziplinen zugewiesen werden. Die gewünschten Bilanzierungen und Bewertungen, benötigen jeweils themenspezifische Daten, die zu umfangreich wären, um sie alle in das Modell zu transferieren. Es ist sinnvoller nur Datenbank-IDs zu verknüpfen, sodass bei Bedarf jeder mit passendem Zugriff auf die Datenbank die Informationen zuordnen kann, das 3D-Modell aber nicht unnötig aufgebläht wird. Die Verknüpfung der Daten über die ID kann direkt in der Planungssoftware (z. B. mittels Applikation wie *Revit DB Link*) eingebunden werden, um dem Planer jederzeit eine unkomplizierte Bewertung des aktuellen Planungs- und Datenstandes zu ermöglichen.

Die Bewertungsergebnisse können direkt grafisch aufbereitet werden, um mit möglichst geringem Aufwand eine berichtsfertige Darstellung zu erzeugen. In [15] werden beispielsweise die Ergebnisse aus Fassadenanalyse abschließend in einem Spinnendiagramm dargestellt. Je nach Bewertungskriterium können so verschiedene

Variantenergebnisse optisch dargestellt, verglichen und die effektivste Lösung ermittelt werden.

Der Aufbau einer gemeinsamen zentralen, fachübergreifenden BOB-DB+ passt in das System von BIM und ermöglicht dem Management zentral den Überblick über alle verwendeten Daten der Beteiligten.

5.3 Datenbankentwurf - BOB-Datenbank +

In diesem Unterkapitel sollen die ersten Schritte des eigenen Datenbankdesigns vorgedacht werden, um einen ersten Ansatz für folgende F&E-Bemühungen zu liefern.

Für die Erstellung eines neuen Datenbankprojekts ist die Abarbeitung der folgenden Checkliste empfohlen [25]:

- Planung der Datenbank
- Definition von Benutzergruppen
- Sammlung und Analyse der Daten
- Datenbankdesign
- Auswahl eines geeigneten Datenbank-Management-System (DBMS)

Hierfür wird zuerst die Grundstruktur einer Datenbank (DB) und Anbindung von XML-Datenbanken erläutert. Anschließend wird ein erstes Datenbankdesign als Entity Relationship Modell entwickelt sowie Ansätze für das zukünftig nötige DBMS gegeben.

Zur thematischen Einarbeitung in die Grundlagen der Datenbanken wird größtenteils die Internetseite *datenbanken-verstehen.de* [25] genutzt und weiterempfohlen.

5.3.1 DB-Struktur

„Eine Datenbank ist ein elektronisches Verwaltungssystem, das besonders mit großen Datenmengen effizient, widerspruchsfrei und dauerhaft umgehen muss und logische Zusammenhänge digital abbilden kann. Es können Datenbestände aus verschiedenen Teilmengen zusammengestellt und bedarfsgerecht für Anwendungsprogramme und deren Benutzern angezeigt werden.“ [25]

Die Struktur bzw. Architektur einer Datenbank gliedert sich in drei Schichten. (siehe Abbildung 21) In der Mitte steht die konzeptionelle Schicht (2) welche die logischen Zusammenhänge innerhalb der DB bildlich beschreibt und als Funktionsschema dienen soll. Der Programmierer setzt diese Funktionalität dann in Code um und ordnet den Speichervorgängen konkrete Speicherbereiche/-algorithmen in der internen (Hardware)

Schicht zu (1). Ist die konzeptionelle Funktion geeignet umgesetzt, werden nun verschiedene Anwenderprofile „Externe Schemata“ (3) erstellt. Diese definieren die Lese- und Schreiberlaubnisse für verschiedene Benutzer auf die jeweils benötigten Bereiche der Datenbank. Für die anwenderfreundliche Nutzung dieser Zugangsprofile können anschließend zusätzliche Applikationen erstellt werden. [25]

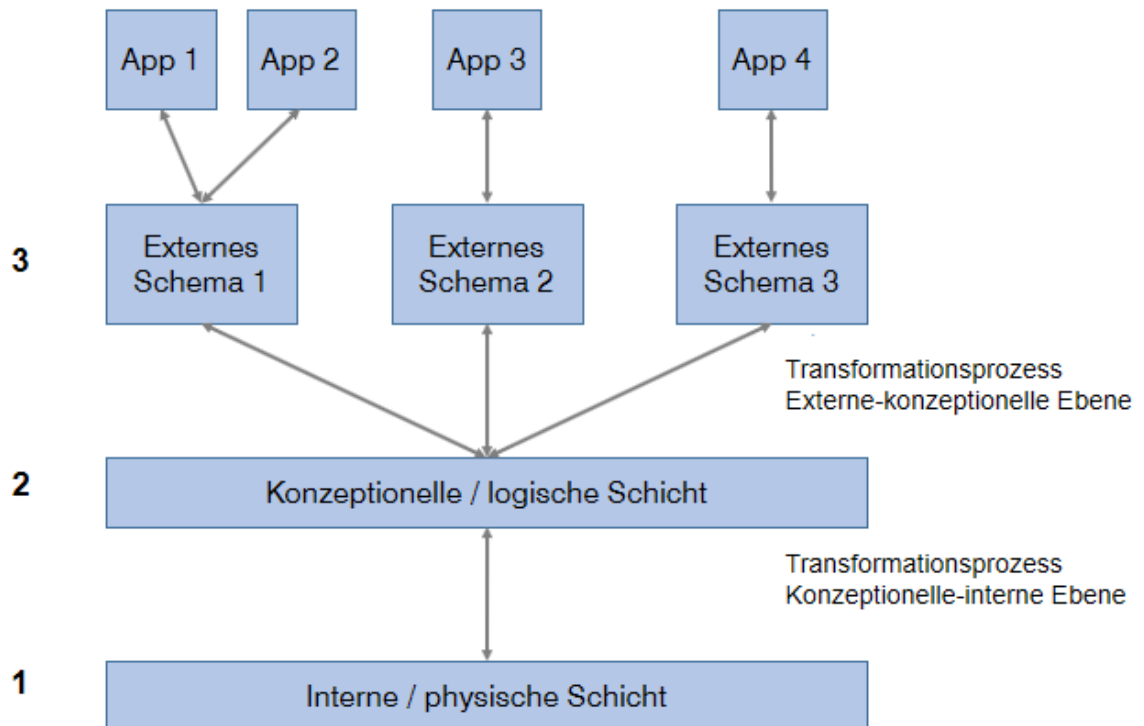


Abbildung 21: 3-Schichten-Architektur Datenbank [25]

Die Datenbankeerstellung beginnt mit einer konzeptionellen Strukturierung, welche meist in sogenannten Entity Relationship Models dargestellt wird.

5.3.2 ERM - Entity Relationship Modell

Der erste von drei Schritten im Datenbankentwurf ist das konzeptionelle Datenbankdesign. Allgemein gilt, dass die Effizienz und Effektivität der Datenbank durch das Datenbankdesign definiert wird und entsprechend wichtig ist. Dies wird erreicht durch eine klare Trennung der Datenbank- und der Anwendungsschicht. Damit die Informationen der Datenbankschicht eindeutig und schnell gefunden werden können ist eine redundanzfreie Datenspeicherung und eine hohe Datenkonsistenz entscheidend. [25]

Die folgende Abbildung zeigt den konzeptionellen Entwurf als ERM in der Chen-Notifikation. Dies zeigt die Objekte „Entitäten“ der Datenbank (verschiedene Tabellenblätter), welche über Verweise intelligent untereinander verknüpft sind Begonnen wird (oben) mit dem Objekt *Projekt*, welches die *Baumassen* besitzt. Diese skalieren die Konstruktionsbestandteile. Die Entität *Konstruktion* kann über Verlinkungen die benötigten Materialinformationen der Skalierung von *Prozessen*, *Modulen* und folgend den *Materialien* durchleiten.

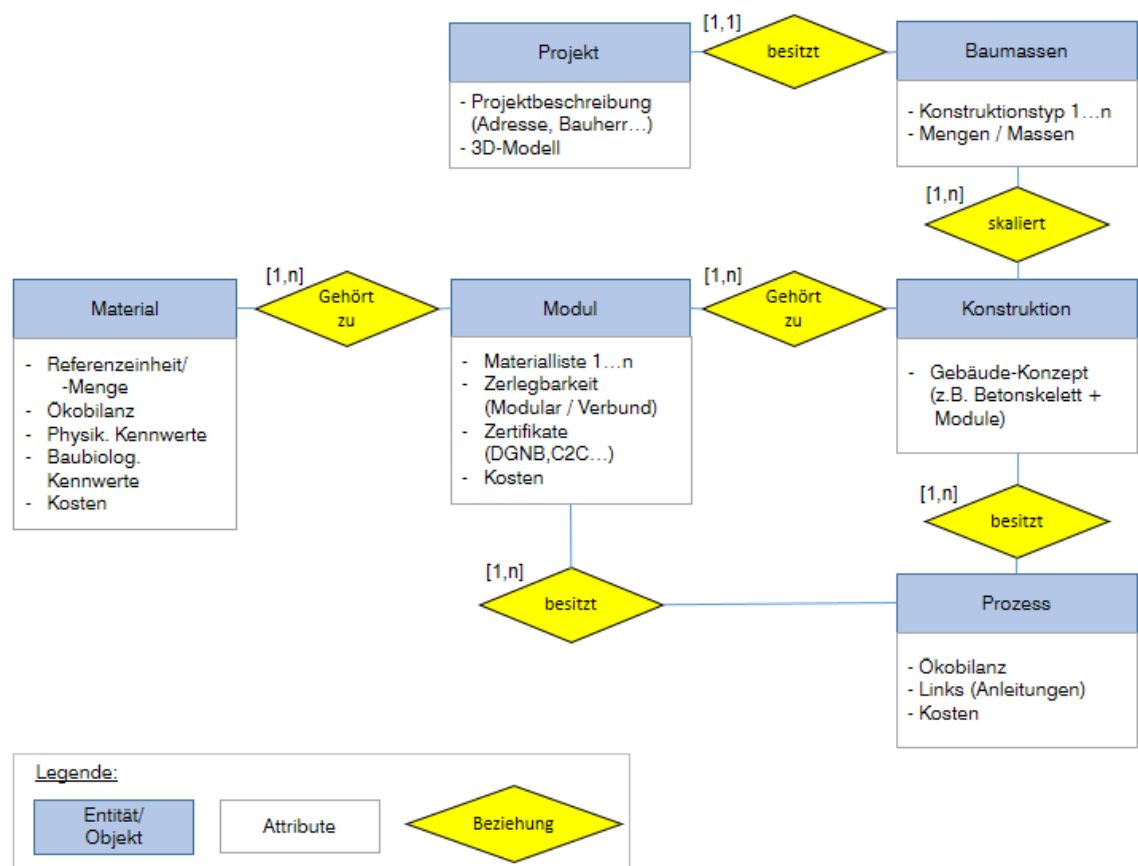


Abbildung 22: Entwurf Entity Relationship Modell für BOB-Datenbank+

In Schritt 2 werden anschließend das Konzept in logische Komponenten und Verknüpfungen detailliert, um folgend im dritten Schritt als physische Datenbank programmiert zu werden [25]. Dies ist Bestandteil folgender F&E und würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen.

Für den ersten Schritt der Gebäudeökobilanzierung ist die Einbindung der ÖKOAUDAT in die BOB-DB+ erforderlich.

5.3.3 Einbindung der ÖKOBAUDAT

Die ÖKOBAUDAT ist eine relationale DB im XML-Format und inkl. aller Schemadateien kostenlos verfügbar. Die einzelnen Bestandteile können für ein besseres Verständnis der Struktur mit einem XML-Editor betrachtet werden. Diese Datenbank gilt es zu organisieren und in die übergeordnete BOB-DB+ einzubinden. Hierfür kann ein DBMS oder Excel verwendet werden. In [25] wird die Verknüpfung in Excel theoretisch wie folgt beschrieben: (siehe Abbildung 23)

Der Vorgang gliedert sich in fünf Phasen

1. Hinzufügen einer XML-Schemadatei (XSD) zu einer Arbeitsmappe.
2. Zuordnen der XML-Schemaelemente zu einzelnen Zellen oder XML-Tabellen.
3. Import einer XML-Datendatei (XML) und binden der XML-Elemente an zugeordnete Zellen.
4. Eingeben von Daten, Verschieben zugeordneter Zellen und Ausnutzen der Excel-Funktionalität bei gleichzeitiger Beibehaltung der XML-Strukturen und XML-Definitionen.
5. Exportieren der überarbeiteten Daten aus zugeordneten Zellen in eine XML-Datendatei.

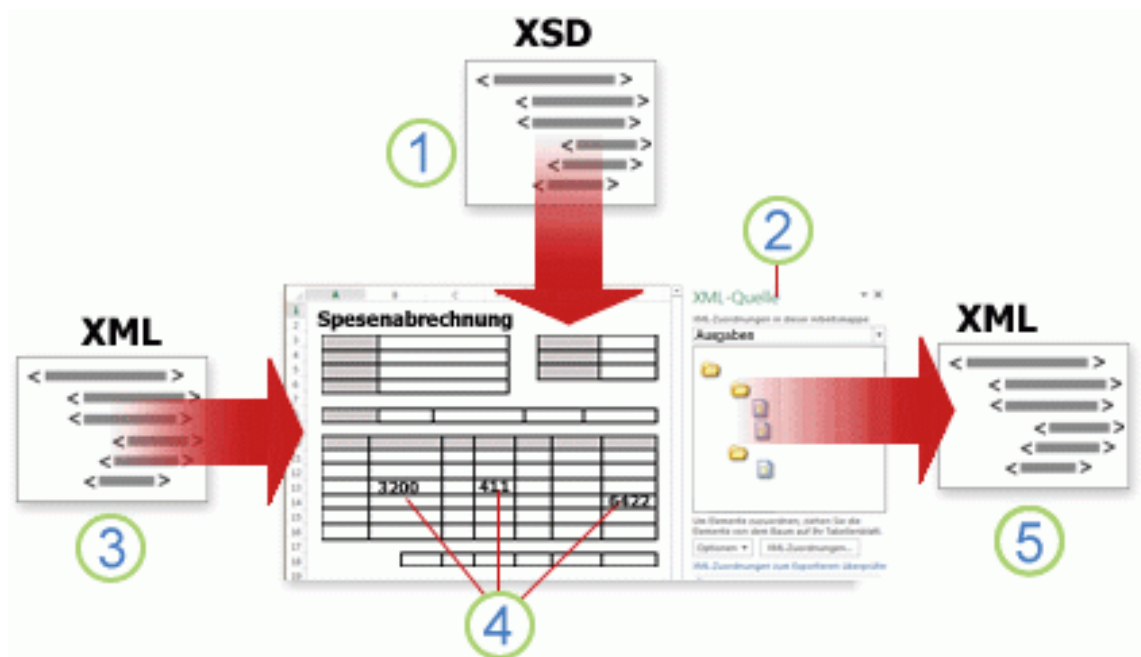


Abbildung 23: XML-Datenbank in Excel zusammenführen [26]

Die Ökobilanzdaten sollen den Materialien und Prozessen gezielt zugeordnet werden. Hierzu sind dem digitalen Modell-Bauteil Datenbankparameter hinzuzufügen, um die Zuordnung dauerhaft zu gewährleisten und kompatibel für Datenbank-Updates zu gestalten. [26]

Für präzisere Fortschritte ist die Datenbankrecherche zu vertiefen und fachlicher Rat eines Datenbank-Spezialisten hinzuzuziehen.

5.4 Ansätze für Umsetzung

Folgende Bearbeitungspunkte stellen sich als entscheidend für die Automatisierbarkeit der Gebäudeökobilanzierung heraus:

1. Ausgabe der Baumasse durch die Planungssoftware (Ermittlung über Materialvolumen und -dichte)
Ggf. je nach Material / Prozess, inkl. Ausgabe in anderen Bezugseinheiten (Länge, Fläche, Volumen, Position in Konstruktion etc.)
2. Verlinkungsparameter für externe Datenzuordnung im Revit-Modell integrieren (z. B. ÖKOBAUDAT-ID)

Hierfür bestehen derzeit mehrere Ansätze, welche nur teilweise während der Bearbeitungszeit für diese Arbeit getestet und vertieft werden konnten.

1. Baumassenausgabe in *Autodesk Navisworks*
2. Ergänzung von Parametern im Modell
3. Verknüpfung von Datenbank-Verlinkungen in Revit (Add-in: *DB Link*)
4. Revit-Programmierschnittstelle API (Application Programmable Interface)
5. Objektorientiertes Programmieren in Revit (*Dynamo*)

Die gewonnenen Erkenntnisse zu diesen Ansätzen werden im Folgenden einzeln zusammengefasst.

5.4.1 Baumassenausgabe über Navisworks

Navisworks ist eine Autodesk Software mit Schwerpunkt auf der Modellkoordination. Es können die verschiedenen Fachplanermodelle zusammengeführt, auf Kollisionen überprüft, diese markiert und kommentiert, sowie Aufgaben verteilt werden. Aktualisierungen in Teilplänen werden automatisch dokumentiert, um auch im

Koordinationsmodell Hinweise über Änderungen zu bekommen. Außerdem können über die Time Liner-Funktion den Bauteilen Start- und Endzeiten für die Bauphase zugeordnet und so die Zeit als vierte Dimension in das Modell integriert werden. Mittels Visualisierungsfunktionen kann das Modell gerendert und Videos erzeugt werden.

Für diese Arbeit interessant sind die Möglichkeiten der Massenermittlung, welche noch bis 2012 als Quantity Takeoff-Funktion in Revit inklusive war. *Navisworks Manage* und *Navisworks Simulate* sollen beide eine bessere Massenausgabefunktion besitzen als Revit selbst. Besonders die Funktion von Katalogdateien klingt interessant, für die Parameterergänzung mit einer ÖKOBAUDAT-ID (siehe [36]). Leider hat der Modellexport aus Revit, im Test, die Geometriedaten nicht mit Zahlenwerten vollständig übermittelt. Es war möglich virtuell durch das 3D-Modell zu navigieren, jedoch nicht, das Gewicht zu berechnen, weil den Elementen keine Volumina und Materialdaten zugeordnet waren.

Hierdurch konnten auch weitergehende Tests, zur externen Datenbearbeitung, nicht durchgeführt werden. Eventuell kann Navisworks in funktionierender Konfiguration die Bauteillisten umfangreicher und einfacher, in gewünschter Informationszusammenstellung, darstellen, als Revit. Der Funktionsschwerpunkt der Software liegt auf der Modellzusammenführung und Koordination. Dies könnte eine geeignete Entwicklungsebene für die Bilanzierung, durch das closedBIM-Management sein. Die Anschaffung einer nötigen zusätzlichen Software, würde die Ursprungs-Motivation, der Bilanzierungsmöglichkeit für den Standard-Planer mit Revit, jedoch wieder ausschließen.

5.4.2 Ergänzung von Parametern

Die bisherige Nutzeroberfläche in Revit, bietet keine Möglichkeit auf die benötigten Parameter gleichzeitig zuzugreifen. Deshalb wird untersucht, welche Möglichkeiten bestehen, eigene zusätzliche Bauteil-Parameter im Modell zu erstellen und welche Zugriffsmöglichkeiten damit bestehen. In Kapitel 3.3.1 wurden die Ausgabeparameter und die berechneten Werte, der Auflistungsfunktionen, vorgestellt. Mit ihnen können den Tabellen zusätzliche Spalten hinzugefügt werden, die entweder manuell gefüllt oder durch selbstdefinierte Formel berechnet werden. Diese Parameter werden jedoch nicht in den Bauteileigenschaften angezeigt, sondern nur in der Auflistungstabelle.

Die benötigten Parameter sollten jedoch dauerhaft den einzelnen Modellelementen zugeordnet und auch im Modell erreichbar sein.

Revit unterscheidet allgemein vier Typen an Parametern *System-, Projekt-, Familien- und Shared-Parameter*. (Tabelle 9),

Tabelle 9: Übersicht Revit-Parametertypen

Parameter-typ	Inhalt	Ausgabe möglich in Bauteilliste	Als Tag im Plan anzeigbar	Bemerkung
System	ID-Daten	X	X	nicht erstell- und löschar
Projekt		X		erstellt in diesem Projekt (Transfer in anderes Projekt möglich)
Familie	Bauteilinformationen			
Shared	übergeordnete Liste, die später einzeln zugeordnet werden können	X	X	

In dieser Arbeit wurde der Shared-Parametertyp näher betrachtet, um die selbst-erzeugten Parameter, auch projektübergreifend Familien und Projekten zuordnen und über Bauteillisten ausgeben zu können. Eine Beschreibung des Vorgehens mit Screenshots ist dem digitalen Anhang beigelegt.

Es konnten eigene Parameter erstellt und diese thematisch festen Parametergruppen zugeordnet werden. Der Testparameter ist im digitalen Revit-Modell unter anderem den Wänden in der Kategorie *Materialien und Oberflächen* hinzugefügt. Er ist sowohl tabellarisch unter *Projektbrowser / Bauteillisten/Mengen / BOB Wandliste* und *BOB Wandmaterialauflistung* als auch direkt im Modell, unter den *Eigenschaften / Allgemein* einzusehen. Die Felder können über beide Ausgabefelder gefüllt werden und der Inhalt dem Bauteil dauerhaft zugeschrieben.

Während der Zeit der Bearbeitung, hat die Verknüpfung eines dynamisch verknüpften Parameters, zum Informationsfeld der Dichte in den Materialeigenschaften, nicht funktioniert und wurde daher, extern von den Bauteil-/Materiallisten, manuell mit Excel vorgenommen. Die Programmierschnittstellen in Kapitel 5.4.5 und 5.4.6 bieten Potenzial, um diese tiefere Ebene an Modellinhalten aktiv lesen, schreiben und ausgeben zu können. Der Autodesk Support bestätigt die Erkenntnisse, dass individuelle Parameter nur für Elementkategorien hinzufügar sind, über die Programmierschnittstelle aber auch für Materialien. ([37], siehe Email in Anhang A 5)

5.4.3 Revit Familieneditor

Der Editor bietet eigene Möglichkeiten, Elementen eines Bauteils, Parameter wie Materialtyp oder Dichte zuzuordnen. Diese Möglichkeiten sollten für die Erstellung eigener ladbarer Familien getestet werden. In dieser Bearbeitung wurde es jedoch nicht tiefergehend untersucht, da dieser Editor nur für Bauteilfamilien mit klaren Abmaßen, wie Türen und Fenster, aber nicht für variable Familien, wie Wand- oder Deckenaufbauten, zur Verfügung steht.

5.4.4 Revit DB Link

Das kostenlose Revit-Zusatzmodul *DB Link* bietet Potenzial für die Modellverknüpfung zu externen Datenbanken. Nach dem Herunterladen, wird ein Icon unter Zusatzmodule angezeigt. (Abbildung 24)

Es ermöglicht die Daten des Revit-Modells zu exportieren und extern in Tabellenform zu verändern. Zur Verwaltung / Bearbeitung der Revit-Daten ist eine DBMS oder Open Database Connectivity (ODBC) nötig. Hierfür wurden bisher herstellerseitig MS Access, MS Excel und MS SQL Server getestet. [38]

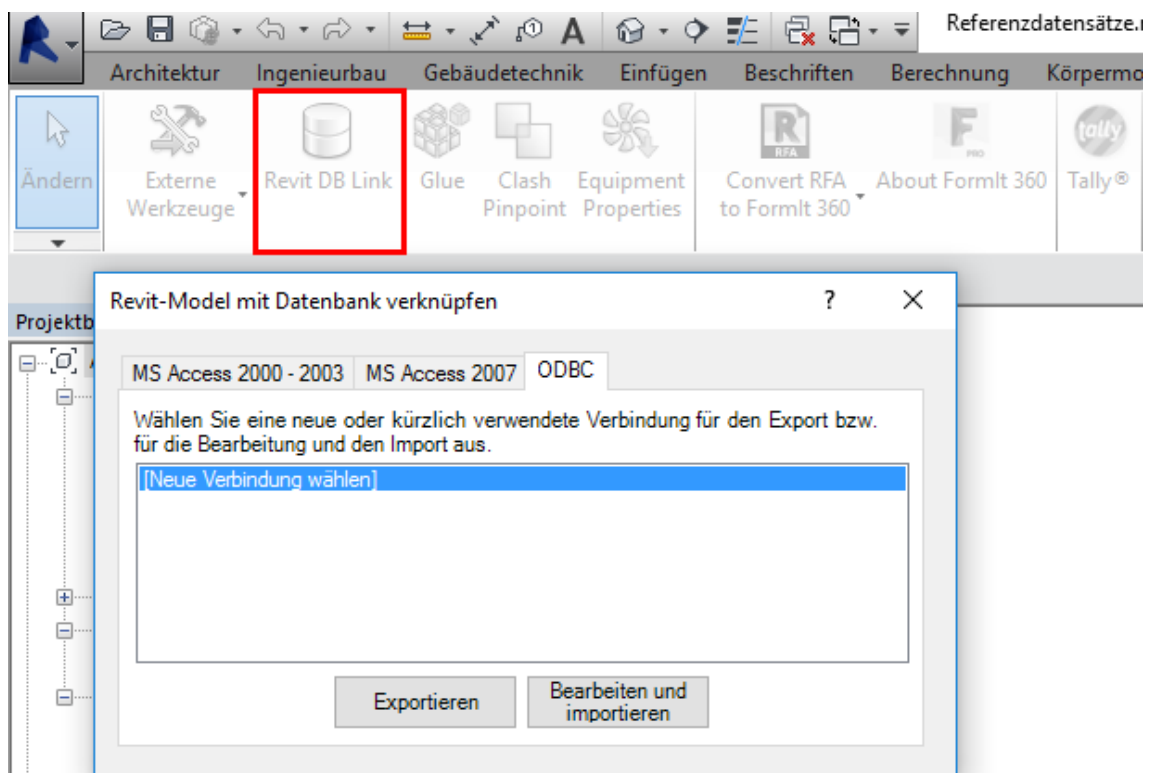


Abbildung 24: Anbindung ODBC-Export im Zusatzmodul DB Link

Für die Nutzung des Tools ist die Installation eines ODBC-Treibers nötig, welches mit nötiger Einarbeitung den Rahmen dieser Arbeit übersteigt. Die Einarbeitung in die DBMS und das DB Link-Tool wird für folgende Entwicklung empfohlen, um ein besseres Verständnis der Datenstruktur des digitalen Modells und der Möglichkeiten zur Anpassungen zu bekommen.

5.4.5 Revit API

Autodesk stellt nicht den Anspruch an sich, alle anwenderbenötigten Funktionen selbst in die Software zu integrieren, möchte aber eine offene Programmierschnittstelle (API Application Programming Interface) bieten, um individuelle Ergänzungen zu ermöglichen. Hierfür wird die Programmiersprache C# verwendet. Die Programmier-ebene soll eine gezielte Bearbeitung einzelner Parameter ermöglichen, die über die normale Nutzeroberfläche nicht erreicht werden können. Da aber anscheinend die Programmiermöglichkeiten auf Materialien eingeschränkter als zu Elementen ist, plant Autodesk laut ihrer Roadmap, in den nächsten Weiterentwicklungen von Revit, eine Material API zu integrieren. [39]

Vom befreundeten Forschungsunternehmen greenBIMlabs wurde die API als vielversprechender Lösungsansatz für die betreffenden Themenstellungen genannt. Zwecks Einarbeitung wurden die folgenden Internetseiten empfohlen

- *The Building Coder* mit
 1. Getting started with the Revit API (2013)
 2. Material Quantity Extraction (2010)
- Das Hilfe Handbuch, um die Elemente mit Materialangaben herauszufiltern
→ *Revit 2017 / Developers / Revit API Developers Guide / Basic Interaction with Revit Elements / Filtering*

Die Einarbeitung in die Revit API war aus zeitlichen Gründen nicht mehr möglich, wird aber für anschließende Fortsetzung der Entwicklung empfohlen.

5.4.6 Revit Dynamo

Dynamo ist eine kostenloses -Add-in für die objektorientierte Programmierung in Revit, welches eine visuelle Parameterverknüpfung mit 3D-Ergebnisdarstellung ermöglicht. Laut einem Forumseintrag [40] ist es auch über Dynamo möglich den Dichte-Parameter zu selektieren und in Tabellen frei verarbeiten und ausgeben zu können.

Die Abbildung 25 zeigt einen Programmausschnitt mit allgemeinen funktionalen Einheiten als Beispielsicht.

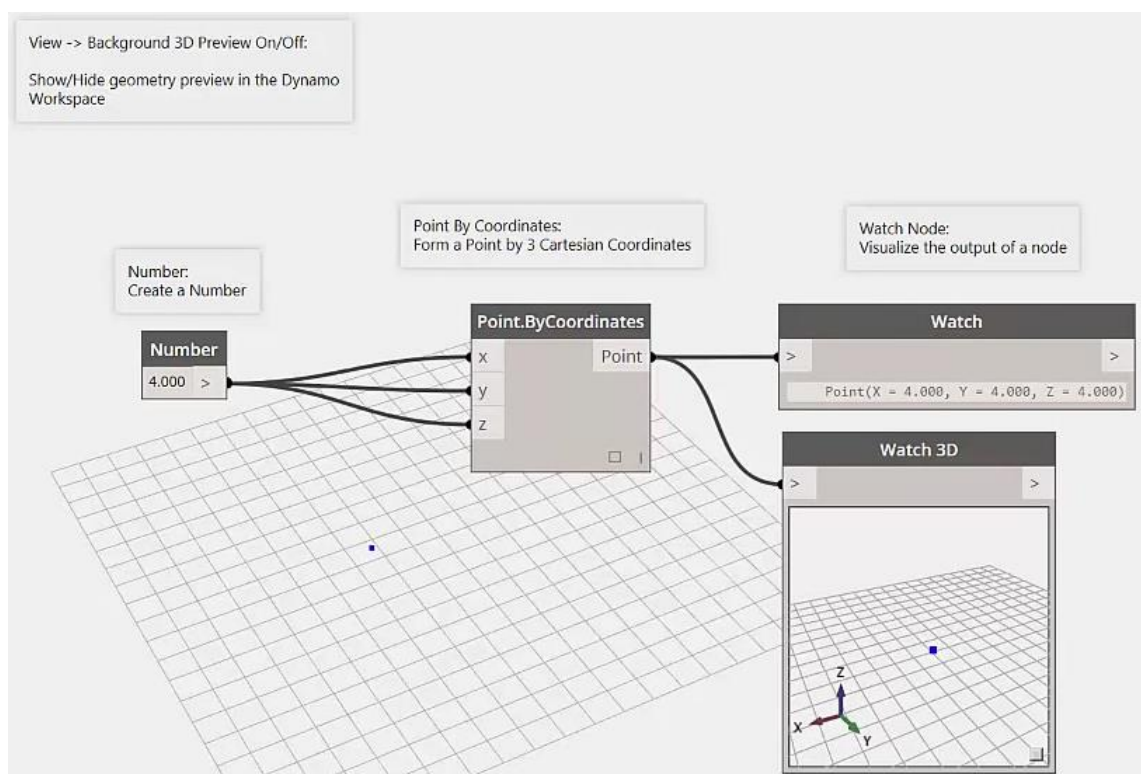


Abbildung 25: Objektorientierte Programmierung in Dynamo [41]

Die Vernetzung der modellinternen Felder mit Import/Export-Parametern ermöglicht unter anderem die Entwicklung von Programmen, welche aus den Eingangsparametern einer Excel-Tabelle, ein Revit Modell erstellen können. [41]

Die Einarbeitung in Dynamo war aus zeitlichen Gründen nicht mehr möglich, wird aber für anschließende Fortsetzung der Entwicklung empfohlen.

6 Bewertung

In diesem Kapitel sollen ausgewählte Schwerpunkte dieser Arbeit komprimiert nochmals bewertet werden. Angefangen mit der CAD-Software Revit, über die Methodik der Ökobilanzierung allgemein, das Datenmanagement und die Automatisierbarkeit.

6.1 Autodesk Revit

Die allgemeine Modellerstellung und Bearbeitung in Revit wirkte übersichtlich und bedienerfreundlich, jedoch sind die bis zur Version 2016 eingebauten Funktionalitäten nicht für die Materialmassenausgabe angepasst. Mit dem Feldparameter Dichte, ab Revit 2017, ist zwar ein maßgeblicher Modellparameter für die Bilanzierung zwar erreichbar, jedoch nicht in nötiger Kombination zum nötigen Parameter, der Materialsortierung.

Die als sehr offen geltende Programmierschnittstelle von Revit wirkt auf den ersten Blick vielversprechend für weitergehende eigene Entwicklungen. Über diese Ebene können tiefere Ebenen an Daten adressiert und verarbeitet werden, wodurch sich auch ein allgemein besseres Verständnis der Revit-Struktur ergeben kann.

Die weitere Verwendung der Autodesk-Software für kommende Entwicklung und Projekte in Richtung (closed)BIM wird der BOB AG vorerst weiterempfohlen.

6.2 Datenmanagement im BIM-Modell

Das BIM-Datenmanagements konnte im Zuge dieser Arbeit nicht tiefergehend praktisch untersucht werden. Die erste Anwendung eines BEP sowie das zentrale Datenmanagement stellen jedoch ein zentrales Thema zukünftiger Entwicklungen für BIM bei der BOB AG dar. Während der Bearbeitung wirkte es, als seien die frei verfügbaren Funktionen des Informationsmanagements, im zentralen 3D-BIM-Modell noch am Anfang der Entwicklung. Zwar gibt es mit Applikationen wie DB Link schon Ergänzungen, für die Verlinkung externer Datenquellen; die Einarbeitung benötigt jedoch tiefere Fachkenntnisse in die Datenstruktur von Revit und von Datenbanken allgemein. Im Zuge einer zukünftig wachsenden Anzahl an Bewertungskriterien, werden sich auch die Möglichkeiten zur Datenverknüpfung im BIM-Modell weiterentwickeln. Bezogen auf Revit, ist besonders die angestrebte Entwicklung der Material API zu verfolgen.

6.3 Aussagekraft Ökobilanzierung

Die Methode der Ökobilanzierung kann die Umweltwirkungen in Bezug auf eine Auswahl relativistisch bemessener Emissionsfaktoren auflisten. Welche exakten Auswirkungen diese Emissions-Äquivalente bewirken kann nicht spezifiziert werden. In Bezug auf die Ziele des IPCC und der internationalen Klimaabkommen zur Emissionsreduktion (primär fokussiert auf CO₂) kann die Ökobilanz als wichtige Entscheidungshilfe fungieren.

Die Ergebnisse der Ökobilanz hängen von einer Vielzahl von Randbedingungen ab. Diese sind beispielsweise das Ziel der Bilanzierung, Referenzeinheit, Systemgrenzen, verwendete Datenquellen, Lebenszeit der Bauteile und betrachtete Lebenszyklusphasen [15]. Zur Klärung ob die Bilanzierung den Grundsätzen der Norm entsprechen, kann optional zum Abschluss eine kritische Prüfung vorgenommen werden [13].

Allgemein betrachtet die Ökobilanz jedoch nicht die Recyclingfähigkeit von Materialien und Konstruktionen. Resultierend ist es möglich, dass eine Variante von emissionsarmen Materialien (z. B. Stroh) in verklebter Verbundvariante nicht kreislauffähig / zerlegbar ist und trotzdem nach Bilanzfaktoren gewinnen würde. Für eine ganzheitliche Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden sind daher weitere Faktoren und eine Gewichtung jener, in Relation, erforderlich.

6.4 Automatisierung der Bilanzerstellung

Die in dieser Arbeit aufgezeigten Schwierigkeiten der Automatisierung über vorhandene Software gibt Ansätze für kommende Entwicklungsschritte. Die benötigten Schnittstellen und Möglichkeiten über die allgemeine Benutzeroberfläche sind eingeschränkt, sodass eine Einarbeitung in die Programmiersprachen der Software und die Organisation von Datenbanken als nächste Schritte empfohlen werden. Über eine Kooperation mit Herstellern von vorhandenen Tools wie GaBi3 sollte nachgedacht werden, da diese bereits Fachwissen im Bereich der Ökobilanzierung von Gebäuden besitzen und die Entwicklungsziele beider Firmen in einem gemeinsamen Projekt getestet werden könnte.

7 Fazit

Die Untersuchung des aktuellen Softwarestandes für die Automatisierbarkeit der Erstellung einer Gebäude-Ökobilanz hat gezeigt, dass weitergehende Entwicklungsarbeit für den Erfolg nötig ist. Keine der für deutsche Zertifizierungssysteme nutzbaren Bilanzierungssoftware verfügt aktuell über eine Importschnittstelle, um Modelldaten aus einer Planungssoftware einzulesen. Das getestete Bilanzierungs-Onlinetool GaBi3 plant die Entwicklung einer BIM-Schnittstelle ab Mai 2017.

Für die Ökobilanzierung des Gebäudes ist die Übermittlung der Materialmassen ein entscheidender Parameter. Die hier getestete Software Revit 2017 enthält diese Ausgabefunktion nicht direkt zugänglich. Entscheidend ist die gleichzeitige Zerlegung der gezeichneten 3D-Modellelemente nach Materialtyp und die Zuordnung der entsprechenden Materialeigenschaften. In Revit können diese beiden Funktionsteile nur über verschiedene Ausgabeformen von Tabellen genutzt werden und somit nicht gleichzeitig. Resultierend wurden die Baumassen des Beispielgebäudes manuell in Excel als Referenz berechnet.

Aufbauend auf dieser Sachbilanz wurden die Bilanzierungsprogramme GaBi3 und Tally vorgestellt. GaBi3 weist trotz oberflächlicher Eingabeüberprüfung des Programmherstellers, deutliche Abweichungen in der Mengenermittlung zur manuellen Berechnung auf. Die enthaltenen Diagramme und Zahlen des erstellten Bilanzberichtes sind zu eingeschränkt, um die Ursache derzeit genauer feststellen zu können. Die DGNB-Punktebewertung des Tools wies für das vorliegende Beispielobjekt eine 100%ige Punkteerreicherung aus. Dies könnte zusammen mit der Massenabweichung auf einen maßgeblich Eingabe-/ Rechenfehler oder sehr niedrige DGNB-Anforderung in diesem Bereich hinweisen. Das zu bewertende Büroobjekt wird mit einem Referenzgebäude verglichen, welches die Energieverbräuche nach EnEV 2009 besitzt. Im Bereich der Betriebsenergien verbraucht das Beispielgebäude so viel weniger Energie, dass die konservative Baustoffwahl und deren Umweltwirkung insgesamt kaum ins Gewicht fallen. Die genauen Anforderungen nach DGNB sind genauer zu untersuchen und könnten ggf. in Ausschüssen mitgestaltet werden.

Tally ist ein in Revit integriertes Plug-in für die Ökobilanzierung nach LEED-Standard. Die Software ermöglicht bei manchen Bauteilen die Ergänzung, um zugehörige Komponenten, z. B. Bewehrung im Beton, welches in Revit erst über das Modell des Statikers hinzugefügt würde. Leider kann Tally bisher nur die eigene cloudbasierte Datenbank verwenden, welche für die Verhältnisse in Nordamerika ausgewählt ist.

Die Ökobilanzierung für das deutsche DGNB-Zertifikat gibt die Verwendung der ÖKOBAUDAT (XML-Format) als Datenbank vor.

Um den Bilanzierungsprozess genauer zu verstehen und überprüfbarer zu machen, kann die Entwicklung von eigenen Softwarelösungen erstrebenswert sein. Hierzu ist neben der Einarbeitung in die Programmierschnittstelle der Planungssoftware, das Datenbankmanagement und die Anbindung des XML-Formates zu vertiefen.

Mit Programmierkenntnis der Revit API über C# oder der objektorientierten Oberfläche in Dynamo ist ein Zugriff und Veränderung auf tiefere Parameterebenen möglich. Neben der passenden Datenverknüpfung im Modell, wurden auch Möglichkeiten zur Verknüpfung externer Datenquellen an getestet und ein erstes Konzept für einen eigenen Datenbankentwurf erstellt. Diese Betrachtungen liefern Ansätze für zukünftige Entwicklungsschritte.

Die Ökobilanzierung kann Entscheidungsträgern von Politik bis Privatkunde als eine Unterstützung in der Nachhaltigkeitsbewertung dienen. Die Aussagekraft der Ökobilanz ist jedoch auf die Umweltwirkungen und den energetischen Ressourcenaufwand beschränkt und gibt noch keine Bewertung der Kreislauffähigkeit und allgemeinen Ressourceneffektivität. Für eine ganzheitliche Betrachtung von Gebäude, sind daher weitere Bewertungskriterien erforderlich.

Aufgrund der vom IPCC [3] genannten möglichen natürlichen CO₂-Absorption der Erde, steht bei derzeit rund 7,4 Mrd. Menschen jedem Menschen ein jährliches Kontingent von 1,55 t CO₂-Äq. zur Verfügung (Durchschnitts-Deutscher: t CO₂-Äqv./a). Die Produktion eines Kubikmeters Beton erzeugt bereits ca. 200 kg CO₂, also bereits ein Achtel des Jahres-CO₂-Kontingentes. Neben den hohen Umweltwirkungen von Beton, wird auch die wachsende Ressourcenknappheit von körnigem Sand ein Umdenken der Baubranche hin zu kreislauffähigen Materialien und Konstruktionen erfordern.

Die Branche sollte die Verantwortung ihres Ressourcenverbrauches zeitnah zum Willen des Weltklimas wahrnehmen und umweltschonendere Konzepte entwickeln. Hierzu kann das EU-Forschungsprojekt BAMB (Kapitel 8.3) Maßstäbe für die Integration von Cradle-to-Cradle in Kopplung mit BIM setzen.

Diese Arbeit kann die ersten Grundlagen und Kontakte liefern, um mit der BOB AG diesen Prozess mitzugestalten und eigene F&E-Vorhaben zu betreiben.

8 Ausblick

Zum Abschluss dieser Arbeit soll ein Ausblick über sowie Empfehlungen für kommende Entwicklungen gegeben werden.

8.1 Autodesk Revit

Die Planungssoftware ist bislang noch nicht für alle gewünschten BIM-Funktionen ausgereift, weshalb Autodesk in der Roadmap eigene Softwareentwicklungsziele formuliert [39]. Eine Zeitangabe zur angestrebten Zielerreichung wird nicht gegeben. Besonders interessant kann die Material API werden.

Sollte sich die BOB AG für Revit als zentrale Zeichensoftware für den BIM-Einstieg entscheiden, wird die Erstellung eines eigenen ladbaren BOB-Familienkataloges (z. B. für Wandtypen, Boden-/ Deckenaufbauten, Raumausstattungs-Varianten usw.) empfohlen. Dieser ermöglicht projektübergreifend die BOB-Systemkomponenten planerisch wiederverwenden zu können. Hierfür wird eine Einarbeitung in den Familieneditor empfohlen. Diese Vorlage kann im Laufe der Projekte immer weiter detailliert werden und als Vorlage in neue Projekte eingeladen werden. Im Autodesk Nutzerforum wurden bereits erste Code-Entwürfe für die Erstellung zusätzlicher Materialparameter eingestellt. (siehe [37])

8.2 GaBi3 – Fraunhofer IBP

Der Fachbereich für Gebäudebilanzierung des IBP plant ab Mai 2017 die Entwicklung einer BIM-Schnittstelle, um direkt zwischen dem Bilanzierungstool und dem BIM-Modell zu interagieren. Ab Februar 2017 sollen die Anleitungen des Nutzerhandbuches erweitert und mit Tutorial-Videos ergänzt werden.

8.3 BAMB - Buildings As Material Banks

BAMB ist ein Teilprojekt des EU Forschungsvorhaben Horizon 2020, welches ein finanzielles Gesamtfinanzvolumen von 80 Mrd.€ für den Zeitraum von 2014-2020 besitzt. Allgemeines Ziel ist es nachhaltiges Wachstum und Arbeitsplätze, für ein zukunftsfähiges Europa zu entwickeln. [42]

BAMB hat das Ziel Cradle-to-Cradle serienmäßig in die Baubranche zu integrieren und diese neu zu strukturieren. Gebäude werden zum Ressourcenspeicher und sollen so

konstruiert sein, dass die Materialien nach der Lebenszeit des Gebäudes sortenrein in gleicher Qualität für neue Produkte verfügbar sind.

Das Projekt ist in sechs Themenbereiche *Special Interest Groups* (SIG) unterteilt, zu welchen Beteiligte (Planer, Rohstofflieferanten, Bauunternehmen, Bauherr u. a.) eingeladen sind sich im Entwicklungsprozess zu beteiligen.

Die Bereiche sind:

- SIG 1 Material Passports
- SIG 2 Reversible Building Design
- SIG 3 Data Management (including BIM)
- SIG 4 Circular Building Business Models
- SIG 5 Policies and Standards
- SIG 6 Case Studies and Pilots

Im Bereich 6 werden sechs Pilotprojekte durchgeführt, wovon eines von Drees & Sommer zum Thema *New Office Architecture*. Es soll die Möglichkeiten von BAMB unter Marktbedingungen simulieren und als Referenzbeispiel für Folgeprojekte dienen. Gebaut wird ein Bürogebäude mit einer Fläche von 10.000 m², auf dem Gelände der Zeche Zollverein in Essen. Der Rohbau ist bereits abgeschlossen und die Vollendung ist für Ende 2017 geplant.

Dieses laufende Forschungsprojekt BAMB wird vermutlich neben der Einführung von BIM die Zukunft der Baubranche bestimmen und ist daher ein interessanter Anknüpfungspunkt für die F&E der BOB AG.

8.4 BOB F&E-Richtung

In der Zielverfolgung, ein Bürogebäude mit optimalen Eigenschaften für Nutzer und Umwelt zu entwickeln, bieten die derzeitigen Entwicklungen von BIM und besonders BAMB gute Orientierung und Mitgestaltungsmöglichkeiten. Eine Kontaktaufnahme zu größeren Initiativen kann einen großen Wissens- und Aufmerksamkeitsgewinn für die BOB AG bewirken und die Serienproduktion der Bürogebäude beschleunigen. Die Firma könnte die Schnittstelle in die Praxis darstellen und eventuell eigene Projekte zu Pilotprojekte der übergeordneten F&E erweitern.

Auch unabhängig von größeren Entwicklungen erfordern die Unternehmensziele Planungssoftware und Daten in moderner Qualität. Besonders für die Serienfertigung ist die Standardisierung der Projektabwicklung der zentrale Faktor für die Kosteneffizienz. Es wird daher empfohlen schon ab dem nächsten Projekt in ausgewählter Planungssoftware Vorlagen und eigenen Objekt-Familien-Datensatz zu erstellen. Die Einarbeitung in die Software sowie erweiterte Eingriffsmöglichkeiten über die Programmierschnittstelle bieten aussichtsreiches Potential für die Umsetzung der angestrebten Visionen. Hierfür ist die Verwaltung eines eigenen Datenbank-Systems und Schnittstellen zu Kooperations-Software weiter zu vertiefen. (siehe Kapitel 5)

Die Softwareserie von Autodesk wird vermutlich in der Baubranche viel verwendet werden und ist daher ein guter Einstieg in das moderne Bauen über closedBIM. Das übergreifende Sortiment wird sich weiterhin an aktuellsten Stand für Virtual Reality und 3D-Druck orientieren und somit zukunftsweisende Technologie ermöglichen.

Ein Argument für die Entwicklung eines Revit unabhängigen Programmes wäre die Unabhängigkeit zur Planungssoftware gemäß „openBIM“ (softwareunabhängig), welches von offizieller Seite das Ziel ist.

Wenn die Ökobilanzierung in der Planungssoftware automatisiert ist, kann es von jedem Planer ohne großen Mehraufwand durchgeführt und ausgewertet werden. Ist diese Möglichkeit geschaffen, sollte es Auswirkungen auf die Politik, den Bausektor und den allgemeinen bewussten Umgang mit Ressourcen haben. Die Integration des Cradle-to-Cradle-Konzeptes im Bau, wird ein Umdenken erfordern und folgend vielleicht auch deutliche Veränderungen für die bisherige Bauweise hervorbringen.

Literaturverzeichnis

1. IPCC [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (deutsche Fassung). Genf : IPCC, 2014.
2. Europäische Kommission. Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen zum effizienten Ressourceneinsatz im Gebäudesektor. Brüssel : Europäische Kommission, 2014.
3. Ökosystem Erde. [Online] [Zitat vom: 29. 09 2016.] <http://www.oekosystem-erde.de/html/klimalosung.html#erlaubt>.
4. UBA (Umweltbundesamt). Deutsches Klimaportal. [Online] 22. 04 2016. [Zitat vom: 29. 09 2016.] http://www.deutschesklimaportal.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/UBA/2016/UBA_erstmals_400ppm_CO2_160422.html.
5. Rogelje, J. et al. Emission pathways consistent with 2° C global temperature limit, Nature Climate Change 1 413-418. 2011.
6. Commission, European. European Commission Energy- Buildings. [Online] [Zitat vom: 28. 09 2016.] <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>.
7. VDI - Zentrum Ressourceneffizienz. Ressource Deutschland. [Online] [Zitat vom: 29. 09 2016.] <http://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/>.
8. Gantner, J. Planungsinstrumente - Ökobilanzen in frühen Planungsphase. München : Fraunhofer IBP, TUM, 2015.
9. KlimaExpo. KlimaExpo.NRW - Nachhaltiges Bürogebäude als Gesamtkonzept. [Online] [Zitat vom: 29. 09 2016.] <http://www.klimaexpo.nrw/mitmachen/projekt-vorreiter/vorreitergefunden/bob/>.
10. DGNB e.V., (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen). DGNB-Kriterium ENV 1.1: Ökobilanz - Emissionsbedingte Umweltwirkungen. Stuttgart : DGNB, Version 2015.

11. —. DGNB Kriterium ENV 2.1 - Ökobilanz - Ressourcenverbrauch. Stuttgart : DGNB, Version 2015.
12. Bundesverband Steine und Erden e.V. Baustoff-Ökobilanzen - Leitfaden zur Erstellung von Sachbilanzen in Betrieben der Steine-Erden-Industrie. Frankfurt/Main : Bundesverband Steine und Erden e.V., 1997.
13. DIN, Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes (NAGUS). DIN EN ISO 14040 Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. Berlin : Beuth Verlag, Nov. 2009.
14. —. DIN EN ISO 14044 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen. Berlin : Beuth Verlag, Okt. 2006.
15. Hildebrand, L. Strategic investment of embodied energy during the architectural planning process. Delft : Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built environment, 2015.
16. DIN, Normenausschuss Bauwesen (NABau). DIN EN 15804 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Berlin : Beuth Verlag, Jul. 2014.
17. Egger, M., et al. BIM-Leitfaden für Deutschland - Information und Retgeber Endbericht. s.l. : BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung); BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung), 2013.
18. planen-bauen 4.0 - Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betriebens mbH. Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Bau, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin : Bundesregierung, 2015.
19. buildingSMARTalliance. BIM Project Execution Planning Guide Version 2.1. Pennsylvania, USA : Pennsylvania State University (CIC Research Group), 2011.
20. Przybylo, Jakob. BIM - Einstieg kompakt_Die wichtigsten BIM-Prinzipien in Projekt und Unternehmen; 1.Aufl. Berlin, Wien, Zürich : Beuth, 2015.
21. Bodden, et al. BIM und Recht. [Hrsg.] K. Eschenbruch und S. Leupertz. Köln : Werner Verlag, 2016.
22. Eschenbruch, K. und Leupertz, S. BIM und Recht. s.l. : Werner Verlag, 2016.

23. Knittle, B. (Synergis University). synergis.com. [Online] [Zitat vom: 28. 11 2016.]
<http://www.synergis.com/uploads/resources/Content%20in%20Revit.pdf>.
24. Autodesk. Autodesk Revit 2015 - Hilfe. [Online] Autodesk.
<http://help.autodesk.com/view/RVT/2015/DEU/?guid=GUID-403FFEAE-BFF6-464D-BAC2-85BF3DAB3BA2>.
25. datenbanken-verstehen.de. datenbanken-verstehen - Für Anfänger und Profis.
[Online] [Zitat vom: 25. 10 2016.] www.datenbanken-verstehen.de.
26. Klettke, M. Vorlesungsskript: XML und Datenbanken. Rostock : Universität Rostock, 2003.
27. Bates, R. (Tally Support). Emailverkehr. Philadelphia : Kierantimberlake, 2016-11-29.
28. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). BNB Nutzungsdauern von Bauteilen. [Online] 03. 11 2011. [Zitat vom: 06. 12 2016.]
<http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>.
29. Schmidt, T. Autodesk Community - Forum Revit (deutsch). [Online] 23. 11 2016.
[Zitat vom: 24. 11 2016.] <http://forums.autodesk.com/t5/revit-deutsch/bd-p/3542>.
30. Informationsdienst, BINE. Effizientes Bürogebäude mit flexiblem Raumkonzept - projektinfo. [Online] 07 2013.
31. Ciroth, A. (openLCA). Telefonat zur Automatisierbarkeit des Baumassenimport aus Revit in Ökobilanzierungssoftware OpenLCA/SimaPro. Aachen - Berlin : GreenDelta, 09. 09 2016.
32. IBP, Fraunhofer. SBS Building Sustainability. [Online] Fraunhofer IBP, thinkstep, 16. 08 2016. [Zitat vom: 20. 11 2016.] <https://www.sbs-onlinetool.com/Signin.html>.
33. Hülswitt, H. GaBi3-Auswertung. Aachen : Fraunhofer IBP, 2016-12-10.
34. Gantner, J. (Fraunhofer IBP). Nachfragen zu GaBi3. 08. 12 2016.
35. KT Innovation, thinkstep, Autodesk. Choose Tally. [Online] 2016. choosetally.com.
36. Autodesk. Autodesk Quantity Takeoff - Arbeiten mit Katalogdaten. [Online] [Zitat vom: 06. 11 2016.]
<http://docs.autodesk.com/QTO/2012/DEU/Autodesk%20Quantity%20Takeoff%2020>

12%20Documentation/filesQTO_UG/GUID-04CE09A5-BEFB-44F5-B020-0835BB5A687-121.htm.

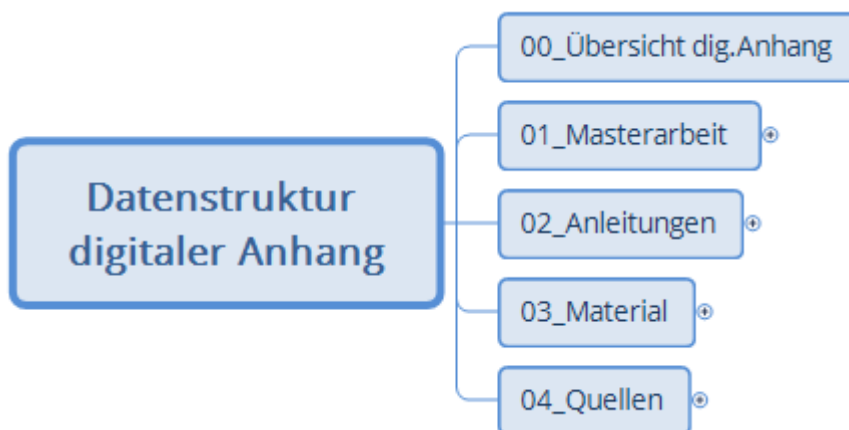
37. Balazs, O. Autodesk Support Team: Anfrage [CaseNo:12382693.] zusätzlich Materialparameter erstellen. München : Autodesk, 12. 12 2012.
38. Autodesk. Autodesk Knowledge Network - Help Autodesk Revit -ODBC. [Online] [Zitat vom: 19. 11 2016.] <http://help.autodesk.com/view/RVT/2017/DEU/?guid=GUID-57CE0EAA-A33B-4DB9-A5F2-81A66F68353B>.
39. Crotty, S. Autodesk Community - Revit Roadmaps. [Online] Autodesk, 19. 10 2016. [Zitat vom: 20. 11 2016.] <http://forums.autodesk.com/t5/revit-roadmaps/the-first-ever-public-revit-roadmap/ba-p/6633199>.
40. mmoschner. Autodesk Community - Forum Revit (deutsch). [Online] 28. 11 2016. [Zitat vom: 28. 11 2016.] <http://forums.autodesk.com/t5/revit-deutsch/material-gewicht-masse-ermitteln/td-p/6695559>.
41. Autodesk. Dynamo. [Online] [Zitat vom: 28. 11 2016.] <http://dynamobim.com>.
42. Europäische Union. Horizon 2020 - The EU Framework Programme for Research and Innovation. [Online] [Zitat vom: 27. 11 2016.] <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>.

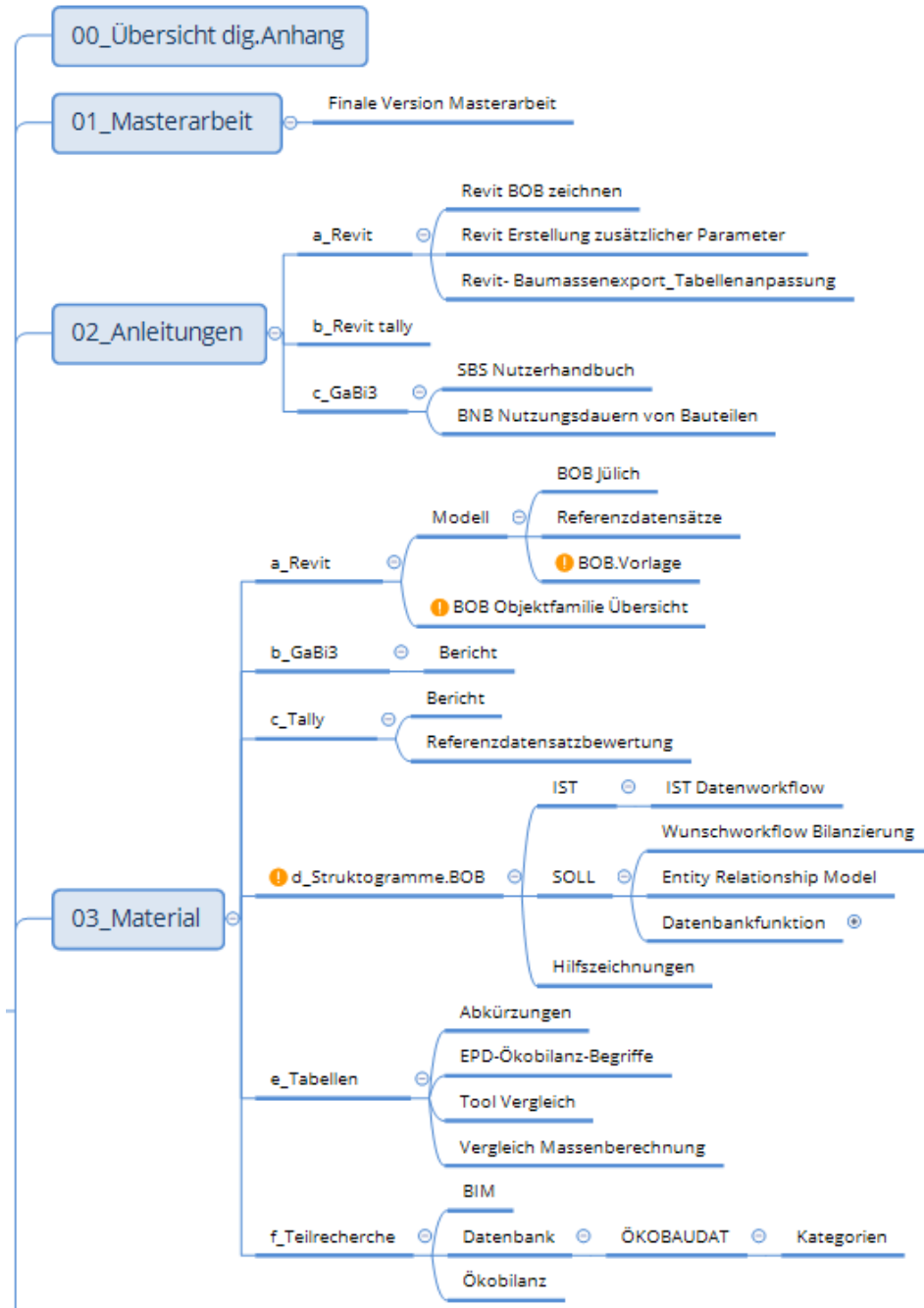
Anhang

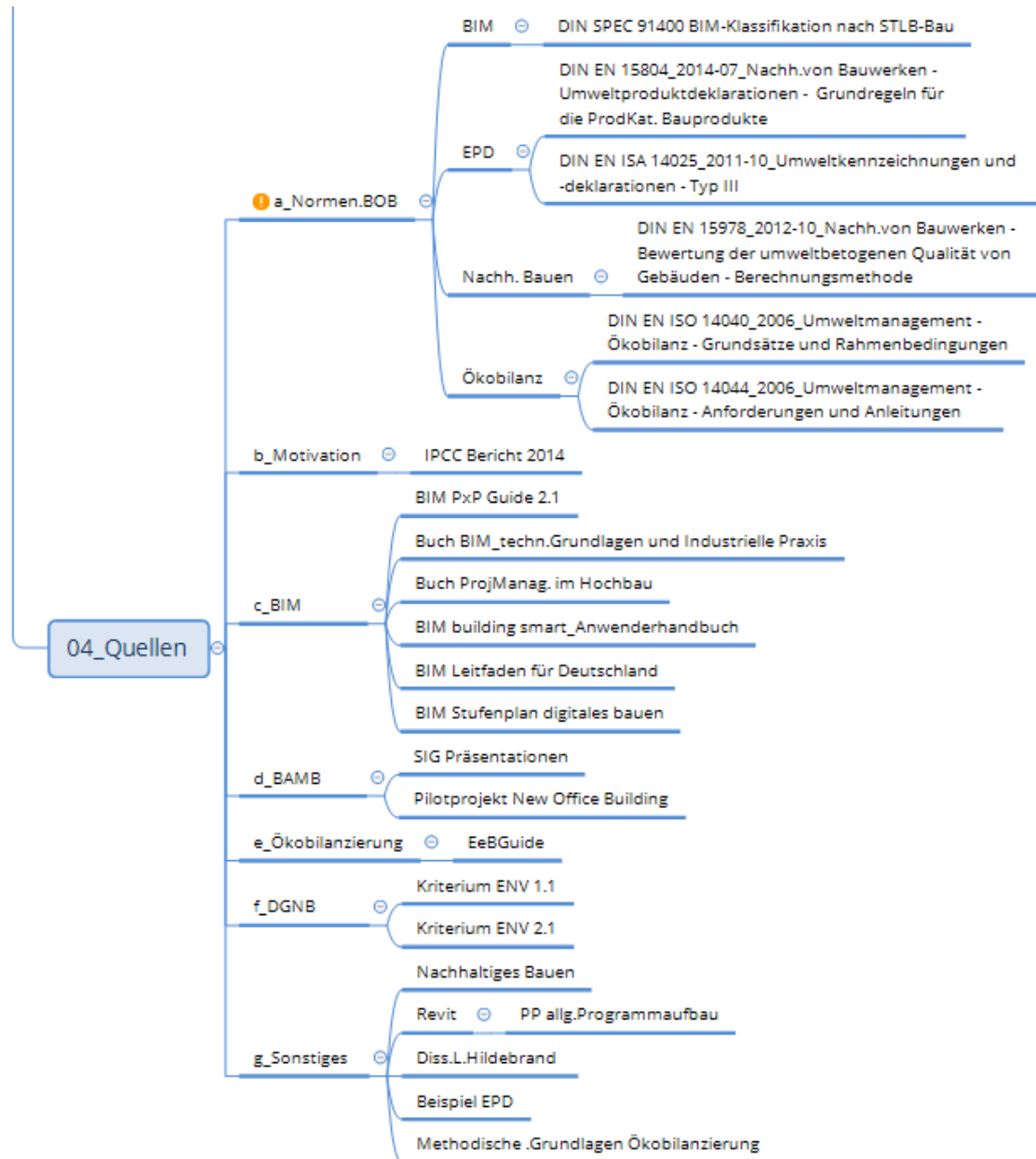
Verzeichnis Anhang

A 1 Zusammenstellung Datenbanken	78
A 2 Definition der DGNB-betrachteten Umweltindikatoren	80
A 2.1 „Treibhauspotential (GWP)	80
A 2.2 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	80
A 2.3 Ozonbildungspotenzial (POCP)	80
A 2.4 Versauerungspotenzial (AP)	81
A 2.5 Überdüngungspotenzial (EP)	81
A 2.6 „Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne).....	81
A 2.7 Gesamtprimärenergiebedarf (PEges)	82
A 2.8 Anteil erneuerbarer Primärenergie	82
A 2.9 Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADPelements)	82
A 2.10 Wasserverbrauch Frischwasser (FW)	83
A 3 Tabelle Vergleich Ökobilanzsoftware	84
A 4 Vergleich Massenermittlung	85
A 5 Email Autodesk Support: zusätzlichen Materialparameter erstellen [36]	88

Verzeichnis Digitaler-Anhang







A 1 Zusammenstellung Datenbanken

Datenbankname <i>Hersteller</i>	Anzahl EPD + Prozesse	Preis	Preis Academi	Themen
		€	€	
ecoinvent <i>(Schweiz)</i>	>10.000	3.800	1.900	Transport; Energie, Materialherstellung, Landwirtschaft uvm.
ELCD <i>JRC der europ. Kommission</i>	300	kostenlos	kostenlos	Energie; Materialherstellung, Entsorgung; Transport
EU & DK Input Output 2.-0 <i>LCA Consultants (Dänemark)</i>	750			Rohstoffe dän. Wirtschaft (Hauptimport & - export)
GaBi professional <i>thinkstep</i>	>8.000	variabel ~ 4.500		
GaBi Databases (Themendatenbank) <i>thinkstep</i>		700... 3.000	-	Construction materials
Industry Data 2.0	74			Industrie
ökobaudat <i>BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit)</i>	1.000	300	150	Bauprodukte nur EPDs ohne vorgelagerte Prozesse zur indiv. Anpassung
Swiss Input Output <i>von ESU-Service für Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU)</i>	154			

Datenbankname <i>Hersteller</i>	Anzahl EPD + Prozesse	Preis	Preis Academi	Themen
		€	€	
US LCI <i>NREL (National Renewable Energy Laboratory, Nordamerika)</i>	423	kostenlos	kostenlos	Energie, Transport, Materialproduktion (Landwirtschaft, Chemikalien, Plastik, Metall, Holz)
ProBas <i>Umweltbundesamt</i>		250	kostenlos	Energie, Materialien, Produkte, Transport, Müll

A 2 Definition der DGNB-betrachteten Umweltindikatoren

Folgend aus DGNB-Kriterium ENV 1.1 [10]

A 2.1 „Treibhauspotential (GWP)

Die Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre führt zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten (Treibhauseffekt). Das Treibhauspotenzial eines Stoffes wird stets im Vergleich zum Treibhauspotenzial von Kohlendioxid (CO₂) angegeben, das heißt, treibhauswirksame Emissionen werden als Kohlendioxid- (CO₂)-Äquivalente ausgedrückt. Da die Treibhausgase unterschiedlich lange in der Atmosphäre verweilen, muss der GWP-Wert auf einen Zeitraum bezogen werden. Für die Charakterisierung der Beiträge zum GWP wird ein Zeitraum von 100 Jahren zugrunde gelegt. Des Weiteren wird über Wirkungsfaktoren beschrieben, in welchem Ausmaß verschiedene Stoffe zum Treibhauspotenzial beitragen. Über den Zeitraum von 100 Jahren betrachtet, hat Methan bei gleicher Masse bspw. den 25-fachen Wirkungsfaktor im Vergleich zu CO₂. Damit beträgt das CO₂-Äquivalent von Methan 25. Das bedeutet, Methan trägt bei gleicher Masse 25-mal mehr zum Treibhauseffekt bei als CO₂ (mit dem GWP-Wert von 1).

A 2.2 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)

Ozon, das nur in geringer Konzentration in der Atmosphäre vorhanden ist, hat für das Leben auf der Erde eine große Bedeutung. Es ist in der Lage, die kurzwellige UV-Strahlung zu absorbieren und diese richtungsunabhängig mit größerer Wellenlänge wieder abzugeben. Die Ozonschicht schirmt einen großen Teil der UV-A- und UV-B-Strahlung der Sonne von der Erde ab, verhindert eine zu starke Erwärmung der Erdoberfläche und schützt Flora und Fauna. Die Anreicherung von schädlichen halogenierten Kohlenwasserstoffen in der Atmosphäre trägt dazu bei, die Ozonschicht zu zerstören. Zu den Folgen gehören u. a. Tumorbildungen bei Mensch und Tier sowie Störungen der Fotosynthese.

Das Ozonschichtabbaupotenzial wird in [kg R11-Äqu./m² NGFa*a] angegeben; die ODP-Werte beziehen sich auf die Vergleichssubstanz Fluorchlorkohlenwasserstoff CFC-11. Alle Stoffe mit Werten unter 1 wirken weniger ozonabbauend, Werte über 1 stärker ozonabbauend als CFC-11 (oder auch R11 genannt; chemische Formel CCl₃F).

A 2.3 Ozonbildungspotenzial (POCP)

Das POCP bezeichnet das auf die Masse bezogene Äquivalent schädlicher Spurengase. Diese Spurengase, wie zum Beispiel Stickoxide und Kohlenwasserstoffe, tragen in Verbindung mit UV-Strahlung dazu bei, bodennahes Ozon zu bilden. Diese

Verunreinigung der bodennahen Luftschichten durch eine hohe Ozonkonzentration wird auch als Sommersmog bezeichnet. Der Sommersmog greift die Atmungsorgane an und schädigt Pflanzen und Tiere. Die Konzentration von bodennahem Ozon wird regelmäßig durch Luftmessstationen ermittelt und in Belastungskarten festgehalten.

A 2.4 Versauerungspotenzial (AP)

Das Versauerungspotenzial gibt die Auswirkung versauernder Emissionen an; es wird in Schwefeldioxid- (SO₂)-Äquivalenten gemessen. Luftschadstoffe wie zum Beispiel Schwefel- und Stickstoffverbindungen reagieren in der Luft mit Wasser zu Schwefel- bzw. Salpetersäure; diese fällt dann als „Saurer Regen“ zur Erde und gelangt so in Boden und Gewässer. Dadurch werden Lebewesen und Gebäude geschädigt. Beispielsweise werden in versauerten Böden Nährstoffe rasch chemisch aufgeschlossen und somit schneller ausgewaschen. Ebenso können im Boden giftige Substanzen entstehen, die die Wurzelsysteme angreifen und den Wasserhaushalt der Pflanzen stören. In der Summe verursachen die vielen einzelnen Wirkungen der Versauerung zwei schwerwiegende Folgen: das Sterben von Wäldern und von Fischen. Saure Niederschläge greifen aber auch Gebäude an. Vor allem der Sandstein an historischen Bauwerken ist davon betroffen.

A 2.5 Überdüngungspotenzial (EP)

Überdüngung (Eutrophierung) bezeichnet den Übergang von Gewässern und Böden von einem nährstoffarmen (oligotrophen) in einen nährstoffreichen (eutrophen) Zustand. Sie wird verursacht durch die Zufuhr von Nährstoffen, insbesondere Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Diese können bei der Herstellung von Bauprodukten und durch die Auswaschung von Verbrennungsemissionen in die Umwelt gelangen. Steigt die Konzentration von verfügbaren Nährstoffen in Gewässern, nimmt dort auch das Algenwachstum zu. Dies kann u. a. Fischsterben zur Folge haben.“

Folgend aus DGNB-Kriterium ENV 2.1 [11]

A 2.6 „Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne)

Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie wird über den Lebenszyklus für Herstellung, Instandsetzung, Betrieb und Rückbau / Entsorgung des Gebäudes ermittelt. Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie wird auf Fläche und Jahr bezogen und in [MJ/m₂NGFa*a] angegeben. Die zur Berechnung notwendigen Werte können (wie im Kriterium ENV1.1 „Ökobilanz – Emissionsbedingte Umweltwirkungen“) aus dem energetischen Nachweis nach EnEV ermittelt werden. Die Umweltwirkung der

Konstruktion und der Anlagentechnik lässt sich aus der Ökobilanz der eingesetzten Materialien ableiten.

A 2.7 Gesamtprimärenergiebedarf (PEges)

Die notwendigen Rechenwerte werden für die Nutzungsphase aus dem energetischen Nachweis nach EnEV gewonnen. Die Ökobilanzierung der eingesetzten Materialien und Bauteile wird herangezogen, um die ökologischen Auswirkungen von Konstruktion und Anlagentechnik zu bestimmen. Referenzwerte eines durchschnittlichen Gebäudes helfen bei der Beurteilung der Konstruktion und Anlagentechnik.

A 2.8 Anteil erneuerbarer Primärenergie

In diesem Indikator wird der Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtprimärenergiebedarf bewertet. Hierfür wird der durchschnittliche Anteil der erneuerbaren Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf des betrachteten Gebäudes mit Werten eines Referenzgebäudes nach EnEV verglichen. Wird der Referenzwert nach EnEV um mehr als 30 % unterschritten, kann die Anforderung an den Anteil erneuerbarer Primärenergie proportional reduziert werden. Dies ermöglicht es den Planern, mit unterschiedlichen Konzepten das übergeordnete Ziel –einen insgesamt reduzierten Bedarf an Primärenergie- zu erreichen.

A 2.9 Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADPelements)

ADP (abiotic depletion potential) erfasst als Wirkungskategorie den Verbrauch und die Knappheit von nicht erneuerbaren (abiotic) Ressourcen. Dabei handelt es sich um die mineralischen Ressourcen im Gegensatz zu den Ressourcen, die aus der Biosphäre kommen. Die mineralischen Ressourcen umfassen die fossilen Rohstoffe mit „ADP fossil fuels“ und die restlichen Mineralien mit „ADP elements“. Zu beachten ist, dass Uran als nicht fossiler Brennstoff den „ADP elements“ zugerechnet wird. Die Charakterisierungsfaktoren für die fossilen Rohstoffe stellen den unteren Heizwert des jeweiligen Rohstoffs dar. Für diese Rohstoffe wird dieselbe Knappheit angenommen, da sie untereinander austauschbar sind. Die Charakterisierungsfaktoren für die restlichen mineralischen Ressourcen berücksichtigen die Menge der vorhandenen Ressource und ihre jährliche Extraktionsrate. Die Abschätzung der Menge hängt davon ab, wie viel von dem Rohstoff in der Erdkruste vorkommt, bzw. technisch und ökonomisch sinnvoll zur Verfügung gestellt werden kann. Hierzu werden verschiedene Rechenansätze genutzt: Für „ultimate reserve“ wird lediglich das Vorkommen in der Erdkruste berücksichtigt. Als „reserve base“ wird die Menge berücksichtigt, die technisch und ökonomisch sinnvoll

verfügbar ist, als „economic reserve“ wird die Menge berücksichtigt, die zum Untersuchungszeitpunkt ökonomisch sinnvoll extrahiert werden kann. Die DIN EN 15804 und DIN EN 15978 berücksichtigt den „ultimate reserve“ Ansatz.

A 2.10 Wasserverbrauch Frischwasser (FW)

Mit Wasserverbrauch oder Wassereinsatz sind alle permanenten oder temporären, von Menschen verursachten Entnahmen aus einem Wassereinzugsgebiet gemeint, die nicht wieder in dasselbe Wassereinzugsgebiet abgegeben werden. Wasserverbrauch kann auf Verdunstung, Transpiration, Einbau in Produkte/ Materialien oder Abgabe in ein anderes Wassereinzugsgebiet oder in ein Meer beruhen. Verdunstung aus einem Wasserreservoir kann ebenfalls zum Verbrauch gezählt werden, ebenso Bewässerungswasser, das verdunstet wenn diese nicht im selben Wassereinzugsgebiet verbleiben. Der Begriff wurde mit der Intention gewählt, Wasser das nur genutzt wird, aber im gleichen Einzugsgebiet bleibt, wie z. B. für Wasserturbinen zur Stromerzeugung oder als Wasserstraße für die Schifffahrt oder als Kühlwasser, nicht zum Verbrauch zu zählen. Regenwasser, das durch natürliche Prozesse verdunstet, zählt ebenfalls nicht zum Verbrauch. In den für die DGNB Kriterien einschlägigen Normen EN 15978 und EN 15804 wird der Indikator „net use of fresh water“ übersetzt mit „Einsatz von Süßwasserressourcen“.

A 3 Tabelle Vergleich Ökobilanzsoftware

Software <i>Hersteller</i>	Schnittstelle BIM		Einlesemöglich -keit Baumassen	Entwick- lung	Preis
	Import	Export			€
GaBi professional <i>thinkstep AG</i>	Excel (teuer)		Softwareextern (Prozesskopie erstellen, skallieren und zurückführen)	aktuell keine F&E- Kapazität	4.500
GaBi Education <i>thinkstep AG</i>			Softwareextern (Prozesskopie erstellen, skallieren und zurückführen)	aktuell keine F&E- Kapazität	Kostenlos
SBS Building Sustainability <i>thinkstep AG</i>					
GaBi3 Frauenhofer IBP	F&E-Vorhaben ab Mai 2017		F&E-Vorhaben ab Mai 2017		
OpenLCA <i>GreenDelta</i>				aktuell keine F&E- Kapazität	Kostenlos
SimaPro professional <i>GreenDelta</i>	csv; SimaPro- Datenbank format und EcoSpold		Softwareextern (Prozesskopie erstellen, skallieren und zurückführen)		
SimaPro educational <i>GreenDelta</i>	csv; SimaPro- Datenbank format und EcoSpold		Softwareextern (Prozesskopie erstellen, skallieren und zurückführen)		Kostenlos
Umberto NXT LCA <i>ifu Hamburg</i>			Softwareextern (Prozesskopie erstellen, skallieren und zurückführen)	aktuell keine F&E- Kapazität (>2Q 2017)	3.000
oekobilanz- bau.de Pro <i>HOINKA</i>					Projektbez- ogene Abrechnung (max. 600€/ Projekt)
Tally <i>KT Innovations</i>	Revit- Plug-in		automatisch		685 \$

A 4 Vergleich Massenermittlung

Revit-Materialauflistung		Excel-Ergänzung			tally			Gewicht-Abweichung Tally/Revit-Material	
Material Name	Typ	zugeord. Mat	Dichte	Masse	zugeord. Mat	Masse	kg	kg	%
			kg/m ³	kg					%
Beton - C25/30(DIN 1045-1)	BOB Aw 17,5Flüg 18wD	C25/30 (DIN 1045-1)	2.550	170.927	structural concrete 5000 psi, 25% fly	160.859	10.068	94,11%	
Beton - C25/30(DIN 1045-1)	BOB Aw 24Flüg 18wD	C25/30 (DIN 1045-1)	2.550	49.700	structural concrete 5000 psi, 25% fly	43.402	6.297	87,33%	
Beton - C25/30(DIN 1045-1)	BOB Aw 42 Flüg 18 wD	C25/30 (DIN 1045-1)	2.550	9.614	structural concrete 5000 psi, 25% fly	8.506	1.108	88,48%	
Beton - C25/30(DIN 1045-1)	BOB BoPI STB 50 MB 10 wD 12	C25/30 (DIN 1045-1)	2.550	138.057	structural concrete 5000 psi, 25% fly	0	138.057		
					Bewehrung	10.072	-10.072		
					Steel, welded wire mesh	17.499	-17.499		
Beton - Estrich	BOB EG FB 8.4 Außenbereich	Beton	2.407	27.945	structural concrete 3000 psi, generic	25.328	2.617	90,63%	
Beton - Estrich	BOB FB 8.4 Nadelvlies	Beton	2.407	253.987	structural concrete 3000 psi, generic	230.131	23.856	90,61%	
BOB Abdichtung	BOB Aw 17,5Flüg 18wD	Kunststoff	1.290	0	EPDM	0	0		
BOB Abdichtung	BOB Aw 24Flüg 18wD	Kunststoff	1.290	0	EPDM	0	0		
BOB Abdichtung	BOB Aw 42 Flüg 18 wD	Kunststoff	1.290	0	EPDM	0	0		
BOB Abdichtung	BOB Boden Flachdach	Kunststoff	1.290	0	EPDM	0	0		
BOB Außenfliesen	BOB Boden Flachdach	Fliesen - Steinbruch	1.700	20.570	Structural concrete 5000 psi, 50% fly	1.634	-1.634		
BOB Außenfliesen	BOB EG FB 8.4 Außenbereich	Fliesen - Steinbruch	1.700	17.952	Structural concrete 5000 psi, 50% fly	26.866	-6.296	130,61%	
					Stahlunterkor	14	-5.485	130,55%	
BOB Fassadenfliesen	BOB Aw 17Flüg 18wD	Ziegel - Lehmziegel	1.700	22.032	Roofing tiles, clay, high profile	157	21.875	0,71%	
BOB Fassadenfliesen	BOB Aw 24Flüg 18wD	Ziegel - Lehmziegel	1.700	4.131	Roofing tiles, clay, high profile	31	4.100	0,75%	
BOB Fassadenfliesen	BOB Aw 42 Flüg 18 wD	Ziegel - Lehmziegel	1.700	442	Roofing tiles, clay, high profile	4	438	0,90%	
BOB Fassadenfliesen	BOB Stützen-Verkleidung 4,5cm	Ziegel - Lehmziegel	1.700	3.247	Roofing tiles, clay, high profile	16	3.231	0,49%	
BOB Flachdachschüttung	BOB Boden Flachdach	Kies	1.840	14.849	Lightweight aggregate structural coat	10.650	10.650	71,72%	
BOB Nadelvlies	BOB FB 8.4 Nadelvlies	Nylon 6/6 Verbundwerkstoff	1.130	5.966	Commercial high-traffic carpet,high	3.218	2.748	53,94%	
					Teppich-Kleber	725	-725		

Revit-Materialauflistung		1		Tally		Gewicht-Abweichung [kg] Revit/Tally-Material		
Material: Name	Typ	zugeord. Mat	Dichte [kg/m ³]	Masse [kg]	zugeord. Mat	Masse [kg]		
Gipswandauplatte	BOB Iw/ Installationsw/ 20	Gipswandauplatte	1.100	484	Wallboard, gypsum, natural	360	124	74,38%
Gipswandauplatte	BOB Iw/ Trockenbauw/ 10	Gipswandauplatte	1.100	57.970	Wallboard, gypsum, natural	42.838	15.132	73,90%
Glas	BOB Aw/ GLAS 2cm	Glas	2.420	8.978	Glazing, monolithic sheet, generic	4.654	4.324	51,84%
Glas	BOB Fenster 1x2,45 1-flg	Glas	2.420	18.319	Glazing, double, insulated (Argon)	7.231	11.088	39,47%
Glas	BOB Iw/ GLAS 1cm	Glas	2.420	8.155	Glazing, monolithic sheet, generic	8.425	-270	103,31%
Holz - Birke	BOB Fenster 1x2,45 1-flg	Gelb-Birke	512	237	Domestic softwood, US	12.252	-11.955	4125,81%
Holz - Birke	BOB Tür 1-flg 86x2,10	Gelb-Birke	512	768	Door, interior, wood, hollow core, flus	939	-231	130,08%
					Türblatt	51		
					Türrahmen	645		
					Türklinke ?			
					Türschließer			
Holz - Bretterlage	BOB Iw/ Installationsw/ 20	Hartholz	694	923	Domestic softwood, US	173	750	18,74%
Holz - Bretterlage	BOB Iw/ Trockenbauw/ 10	Hartholz	694	36.574	Domestic softwood, US	6.860	29.714	18,76%
Kunststoff - Weiß	BOB Fenster 1x2,45 1-flg	Polyethylen - HDPE	952	5.702	Paneling, bio-resin blend, BioPrism \	5.606	96	98,31%
Metall - Chrom	BOB Tür 1-flg 86x2,10	StahlASTMA36	7.849	0		0		
Metall - Lackiert - Grau	BOB Tür 1-flg 86x2,10	Eisen grau	7.150	1.788	Hollow door, Interior, steel, powder-c	1.064	724	59,52%
Metall - Titanzink	Titanzink - Eindeckung	Zink	7.000	2.170	Hollow door, Exterior, aluminium, pow	817		
					Titanium zinc sheet	1.167	1.003	53,78%

Revit-Materialaufistung		1			tally			Gewicht-Abweichung [kg] Revittally-Material	
Material: Name	Typ	zugeord. Mat	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	zugeord. Mat	Masse [kg]			
Misc. Air Layers - Air Film - Outside	BOB Aw 17.5Flig 18wD	Luft		0	dummy material			0	
Misc. Air Layers - Air Film - Outside	BOB Aw 24Flig 18wD	Luft		0	dummy material			0	
Misc. Air Layers - Air Film - Outside	BOB Aw 42 Flig 18 wD	Luft		0	dummy material			0	
Stahlbeton - Fertigbeton	BOB Fertigbetontreppe	Beton 5.0 ksi	2.407	16.031	structural concrete 5000 psi, 30% fly	13.319		2.712	
					Domestic softwood, US	74		-74	
					Wood stain, water based	2		-2	
					Steel Sheet	1.666		-1.666	
Stahlbeton - Ortbeton	BOB Aufzugsschacht STB 25	Beton	2.407	43.374	structural concrete 5000 psi, 25% fly	40.857		2.517	
Stahlbeton - Ortbeton	BOB BoPI STB 50 MB 10 wD 12	Beton	2.407	651.575	structural concrete 5000 psi, 25% fly	600.959		50.616	
Stahlbeton - Ortbeton	BOB GD STB 24	Beton	2.407	867.483	structural concrete 5000 psi, 25% fly	800.259		67.224	
Stahlbeton - Ortbeton	BOB lw STB 20	Beton	2.407	128.149	structural concrete 5000 psi, 25% fly	118.809		9.340	
Stahlbeton - Ortbeton	BOB STB-Stütze 25 v.25	Beton	2.407	12.902	Structural concrete, 10000 psi, 30% fl	11.594		1.308	
Stahlbeton - Ortbeton	BOB STB-Stütze 33x54	Beton	2.407	11.939	Structural concrete, 10000 psi, 30% fl	10.748		1.191	
Wärmedämmung - hart	BOB Aw 17.5Flig 18wD	Polystyrol - Styropor EPS	50	3.689	Expanded polystyrene (EPS), board	1.491		2.198	
Wärmedämmung - hart	BOB Aw 24Flig 18wD	Polystyrol - Styropor EPS	50	730	Expanded polystyrene (EPS), board	293		437	
Wärmedämmung - hart	BOB Aw 42 Flig 18 wD	Polystyrol - Styropor EPS	50	80	Expanded polystyrene (EPS), board	33		47	
Wärmedämmung - hart	BOB Boden Flachdach	Polystyrol - Styropor EPS	50	3.832	Polystyrene board (XPS)	4.905		-1.073	
Wärmedämmung - hart	BOB BoPI STB 50 MB 10 wD 12	Polystyrol - Styropor EPS	50	3.249	Polystyrene board (XPS)	4.158		-910	
Wärmedämmung - hart	Titanzink - Eindeckung	Polystyrol - Styropor EPS	50	782	Polystyrene board (XPS)	2.362		-1.581	
Gesamt				2.625.358		2.267.220		358.138	
								86,36%	

A 5 Email Autodesk Support: zusätzlichen Materialparameter erstellen [36]

Von: Autodesk Customer Support <customersupport@autodesk.com>

12.12.2016 um 10:07 Uhr

Hallo,

Ihre Anfrage in Autodesk Forum wurde für 1:1 Support eskaliert. Ich verstehe dass Sie praktisch ein neues Parameter für Materialien erstellen möchten. Mit der Standard Funktionalität von Revit kann man individuelle Parameters nur für Elementkategorien hinzufügen, aber via API wäre Möglichkeit diese auch zur Materialien zuzuordnen. Ich habe mittlerweile kurz mit unserer API Support konsultiert und sie sehen so dass es theorätisch machbar wäre. Prüfen Sie bitte die folgende Materials, die meine Kollegen freigegeben wurden:

"it seems it is possible that shared parameters can be added to material elements. You can see so by checking out and running version

<https://github.com/jeremytammik/AdnRevitApiLabsXtra/releases/tag/2017.0.0.6>

I switched backl to the standard test using doors again after that, in version

<https://github.com/jeremytammik/AdnRevitApiLabsXtra/releases/tag/2017.0.0.7>

The link to the list of things i already tested has changed, since the line numbers moved:

<https://github.com/jeremytammik/AdnRevitApiLabsXtra/blob/master/XtraCs/Labs4.cs#L518-L539>"

Mit freundlichen Grüßen

Orsolya Balazs

Autodesk Support Team

Autodesk GmbH

Aidenbachstrasse 56

81379 München

Geschäftsführer: Roland Zelles, Paul Underwood, William James Pflugh

Sitz der Gesellschaft: München, HRB 96324 (Amtsgericht München)