



Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU

(Projekt EnBa)

ACTION 7.4

Operationalisierung der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und – recycling für Baurestmassen IV: Einführung des Lebenszyklusdenkens auf der Gebäudeebene

Endbericht



Dieses Projekt wird im Rahmen von LIFE+ von der Europäischen Union finanziert

finanziert durch:

Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt u. Wasserwirtschaft

Land Niederösterreich Land Oberösterreich
Land Steiermark Land Kärnten

Die Ressourcen Management Agentur (RMA)
ist ein Klimabündnisbetrieb





Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Ab- fallvermeidung und Abfallrecyc- ling der EU

(Projekt EnBa)

ACTION 7.4

**Einführung des Lebenszyklusdenkens auf
der Gebäudeebene**

Endbericht

**Stanimira Markova
Kerstin Hammer**

**Anton Zuser
Helmut Rechberger**

finanziert
im Rahmen von LIFE+ von der Europäischen Union

durch das
Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft
Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Amt der Kärntner Landesregierung

IMPRESSUM :

(Vers.1.0)

Projektsachbearbeitung:

Stanimira Markova, Kerstin Hammer, Anton Zuser, Helmut Rechberger

TU Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft,
Forschungsbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement

Karlsplatz 13/226

1040 Wien

Tel.: +43 (0)1 58801.22641

Fax: +43 (0)1 58801.22697

Email: office@iwa.tuwien.ac.at; <http://iwr.tuwien.ac.at/ressourcen>

Leadpartner:

Ressourcen Management Agentur (RMA)

Initiative zur Erforschung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung

ZVR Zahl: 482686233

Argentinerstraße 48/2. Stock

1040 Wien

Tel.: +43 (0)1 913 22 52.0

Fax: +43 (0)1 913 22 52.22

Email: office@rma.at; www.rma.at

Kurzfassung

Das Konzept des Gebäudepasses soll mit der vollständigen Dokumentation der materiellen Information die nachhaltige Nutzung des Gebäudes in allen Lebensphasen (Errichtung - Nutzung – Abbruch) gewährleisten. Aufbauend auf Literaturrecherchen wurde ein System entwickelt, welches Informationen über die Art, Menge und Zusammensetzung der eingebauten Materialien, deren Lage und Verbindungsarten dokumentiert. Dies erfolgt hierbei sowohl qualitativ als auch quantitativ.

Als Grundlage dient die Unterteilung des Gebäudes auf die Ebenen *Bereiche*, *Unterbereiche*, *Bauelemente* und *Aufbau*, wobei jede Ebene eine detaillierte Beschreibung der nächsthöheren Ebene darstellt. So erfassen beispielsweise die Unterbereiche „Außenwände“, „Innenwände“, „Dach“ alle eingebauten Bestandteile des Bereiches „Rohbau“.

Wenn die eingesetzten Materialien der untersten Ebene über die Bauelemente, Unterbereiche und Bereiche summiert werden, erhält man die Information über die Gesamtmengen der einzelnen Materialien im Bauwerk. Dieses Konzept wird anhand zweier Beispiele dargestellt. Entscheidend für die Anwendung des Gebäudepasses ist in jedem Fall die gesammelte materielle Information während der Planungsphase. Bei den Beispielen handelt es sich um einen gut dokumentierten Gewerbebau in Massivbauweise und um ein Einfamilienhaus in Massivbauweise.

Ein wichtiger Einflussfaktor für die nachhaltige Nutzung von Gebäuden ist die Rezyklierbarkeit der eingesetzten Materialien nach dem Abbruch. Der diesbezügliche Vergleich am Beispiel einer Leichtbaufassade (LBF) mit einer Beton – und Ziegelfassade soll die Bedeutung des Begriffs „Design for Recycling“ deutlich machen. Wenn man ausschließlich den Anteil an CO₂ – Äquivalenten und den kumulierten Energieaufwand (KEA) als Indikator betrachtet, ergeben sich bei der LBF wesentlich höhere Werte als für Beton bzw. Ziegel. Diese resultieren aus dem großen Einsatz von Aluminium, welches eine energieaufwändige Primärproduktion erfordert, und in der komplexeren Gestaltung der Materialien. Ziegel hingegen weist im Hinblick auf die Herstellung die geringsten CO₂-Äquivalente und den niedrigsten Energiebedarf auf.

Auch wenn die LBF den Vorteil hat, fast zu 100% selektiv rückbaubar zu sein, können nur ca. 30% recycelt werden. Aufgrund der hohen Werte im ersten Zyklus der Verwendung (der Herstellung) liegen auch bei einer Wiederverwendung die Werte beider Indikatoren über jenen von Beton und Ziegel. Ein tatsächlicher Vorteil der Leichtbaufassade ergibt sich erst dann, wenn man das eingesetzte Volumen und die benötigten Massen in Betracht zieht, die geringer sind als bei den Vergleichsfassaden. Dies resultiert in einem geringeren Schadstoffausstoß beim Transport und in einer Schonung des Deponievolumens.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	V
INHALTSVERZEICHNIS	I
1 EINLEITUNG	1
2 ZIELSETZUNG, FRAGESTELLUNG.....	2
3 METHODE.....	3
3.1 Analyse der allgemeinen Funktionen und Konstruktionen innerhalb eines Bauwerks.....	3
3.2 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Analyse des Planungsprozesses im Bauwesen	5
3.2.1 <i>Klassischer Planungsprozess</i>	5
3.2.2 <i>Integrale Planung</i>	5
3.2.2.1 <i>Die Zusammenarbeit</i>	6
3.2.2.2 <i>Gleichzeitigkeit</i>	7
3.2.2.3 <i>Kontinuität</i>	9
3.2.2.4 <i>Die integrale Planung und Generierung der materiellen Information</i>	10
3.2.3 <i>Industry Foundation Classes (IFC) und Building Information Modeling (BIM)</i>	10
3.2.3.1 <i>Industry Foundation Classes (IFC)</i>	10
3.2.3.2 <i>Building Information Modeling (BIM)</i>	11
3.2.3.3 <i>IFC und BIM in der Praxis</i>	12
3.2.4 <i>Analyse der Planungsprozesse und Tools als Rahmenbedingung für die Implementierung eines materiellen Gebäudepasses</i>	14
3.2.4.1 <i>Klassische Planung</i>	15
3.2.4.2 <i>Integrale Planung</i>	15
3.2.4.3 <i>IFC und BIM</i>	15
3.2.5 <i>Konstruktiv-funktionelle Aufteilung des Bauwerks</i>	16
4 ERGEBNISSE	17
4.1 Erstellung des Gebäudespass-Konzeptes	17

4.1.1	<i>Erstellung des analytischen Modells</i>	17
4.1.2	<i>Qualitative Dokumentation</i>	19
4.1.3	<i>Quantitative Dokumentation</i>	19
4.1.4	<i>Bestimmung der Rahmenbedingungen für die Implementierung</i>	20
4.1.4.1	<i>Politische Rahmenbedingungen</i>	20
4.1.4.2	<i>Technische Rahmenbedingungen</i>	21
4.1.5	<i>Dokumentation anhand ausgewählter Beispiele</i>	21
4.1.5.1	<i>Ausgewählten Fallbeispiele</i>	21
4.1.5.2	<i>Dokumentationsaufwand</i>	21
4.1.5.3	<i>Ergebnisse der Erfassung der materiellen Information mit dem Modell des Gebäudepasses</i>	22
4.2	<i>Lebenszykluskonzept: Implementierung des DFR Ansatzes (Fallbeispiel)</i>	29
4.2.1	<i>Gegenüberstellung des kumulierten Energiebedarfs (KEA) und der CO₂-Äquivalente</i>	32
4.2.2	<i>Gegenüberstellung Relevanz des Energieinhaltes der Fassade vs. Lebenszyklus des Gebäudes</i>	35
4.2.3	<i>Schonung der Primärressourcen und des Deponieraumes</i>	36
4.2.4	<i>Design for Recycling - Optimierungspotential</i>	37
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	39
6	LITERATUR	41
7	ANHANG	43

1 Einleitung

Bauwerke stellen in Form von Siedlungen und Infrastrukturanlagen den wichtigsten Bestand an vielen wesentlichen materiellen Ressourcen (z.B. Stahl, Aluminium, Holz, Kunststoffe, Kupfer) in einer Volkswirtschaft dar. Dieser Bestand wird auch weiterhin rasch anwachsen (+3%/a) und daher eine immer wichtigere Rolle für den Ersatz von Primärrohstoffen spielen. Langfristig ist dieser Bestand hinsichtlich der Nutzungsdauer und (noch wichtiger) des Recyclings optimal zu bewirtschaften.

Nachhaltigkeit im Bauwesen bedeutet unter anderem Rahmenbedingungen zu schaffen, die es ermöglichen, Bauwerke und Siedlungen in Zukunft effektiv und planbar als Quelle für Sekundärressourcen zu nutzen. Dies erfordert die Entwicklung von Strategien und Verfahren für effizientes Recycling und effektive Wiederverwendung, die aber erst dann möglich sind, wenn die Zusammensetzung von Bauwerken und Siedlungen ausreichend bekannt ist. Um dies zu erreichen wird im diesem Teil des Projektes ein Konzept des Gebäudepasses entwickelt, durch welches die materielle Information eines Gebäudes klar dokumentiert werden soll um den Umgang in späteren Phasen des Lebenszyklus (Abbruch) zu erleichtern und zu sichern. Um dieses Konzept zu erstellen sind jedoch zwei Voraussetzungen notwendig – die Erweiterung des vorhandenen Wissens und die Berücksichtigung des Lebenszyklusdenkens. Während in anderen Industriebereichen, wie der Auto- und Elektroindustrie bereits beim Zusammenbau auf eine gute Trennbarkeit und Wiederverwendung der Wertstoffe bzw. Trennung der Schadstoffe geachtet wird, ist dies im Bauwesen noch nicht der Fall. Durch die immer komplexere Bauchemie und die Entwicklung von Verbundstoffen sind moderne Bauwerke sogar schlechter trennbar als alte Gebäude, die noch zum Großteil aus Naturstein und Ziegel oder Beton bestehen. Um das Problemfeld Baurestmassen in Zukunft nicht größer werden zu lassen, müssen entsprechende Maßnahmen entwickelt und ehestmöglich umgesetzt werden. In der Teilaktion 7.4 soll mit dem Gebäudepass eine Möglichkeit geschaffen werden, um zukünftig Baurestmassen umweltverträglich rezyklieren zu können.

2 Zielsetzung, Fragestellung

Ein wesentliches Problem im Umgang mit Baurestmassen liegt im mangelnden Wissen über eingebaute Materialien und Bauteile. Der in dieser Action entwickelte Gebäudepass leistet einen Beitrag, um die Wissensgrundlage zu verbessern. Durch dieses Dokumentationskonzept wird die materielle Information, die während der Planungsphase von Bauwerken generiert wird festgehalten bzw. ergänzt, so dass sie in späteren Phasen des Lebenszyklus zur Verfügung stehen. Diese Dokumentation beschreibt das Bauwerk in materieller Hinsicht so eindeutig, dass genaue qualitative und quantitative Aussagen über die spätere Wiederverwendungsmöglichkeit der eingesetzten Materialien als Produkte in der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen getroffen werden können. Sie ermöglicht des Weiteren eine Prognose des Aufkommens und der Qualität der Baurestmassen und leistet somit einen Beitrag zur bedarfsgerechten Planung der Recyclingkapazitäten und -technologien.

Ein Teil der Action 7.4 ist es, die Umsetzung des Gebäudepasses anhand von Fallbeispielen zu testen und zu verifizieren. Es wird in Zusammenhang mit den Rahmendbedingungen des klassischen Planungs- und Bauprozesses versucht, dieses Konzept als Begleitdokumentation eines beliebigen Bauwerks zu integrieren. Bei den Fallbeispielen werden Bauwerke verschiedener Größen verglichen. Dadurch soll die flexible und universelle Anwendung des Gebäudepasses überprüft und nachgewiesen werden. Dies soll anhand von 2 Gebäuden erfolgen, einem Massivhaus, welches vom Österreichischen Ökologie Institut zur Verfügung gestellt wurde, einem Wohnhaus in Holzmassivbauweise.

Außerdem sollen die Defizite für diese Implementierung untersucht und Empfehlungen erarbeitet werden. Diesem Zweck geht eine detaillierte Analyse des klassischen Planungs- und Bauausführungsprozesses voraus.

Mit dem Wissen über die gängige Praxis des klassischen Planungsprozesses wird ein Schritt Richtung Implementierung von Design for Recycling-Ansätzen (DFR) im Bauwesen gemacht. Die Grundlagen des klassischen Planungsprozesses sowie eine Zusammenstellung von DFR-Ansätzen aus anderen Industriebranchen wurden im Zuge der Action 5 recherchiert und notwendige Rahmenbedingungen für die Umsetzung im Bauwesen aufgezeigt. Die Implementierung von Design for Recycling-Ansätzen wird mittelfristig zu einer Änderung in der Werterhaltung führen. Planer (Architekten, Bauingenieure) werden dadurch in die Pflicht genommen, bereits beim Design eines Bauwerkes an das Lebensende desselbigen zu denken und dafür Sorge zu tragen, dass ihr Produkt bestmöglich rezykliert werden kann, ohne Kontaminationen der großen Abfallmassenströmen zu verursachen. Anhand eines Beispiels soll der Zusatznutzen aufgezeigt werden, der durch die Anwendung von DFR-Ansätzen im klassischen Planungsprozess entsteht.

3 Methode

3.1 Analyse der allgemeinen Funktionen und Konstruktionen innerhalb eines Bauwerks

Um ein Konzept zur Dokumentation eines Bauwerkes in Hinsicht auf Materialverbrauch erstellen zu können, ist die erste Voraussetzung das fundierte Wissen und das Verständnis über die Prozesse und Zusammenhänge in einem Bauwerk.

Zu diesem Zweck wurde ein digitales Modell eines virtuellen Bauwerkes erstellt. Anhand dessen wurden die funktionellen und konstruktiven Bereiche, sowie die möglichen Materialien, die in diesen Bereich zum Einsatz kommen können, definiert. Dieses Modell hat erste allgemeine Informationen über die möglichen Schnittstellen auf Material- und Elementebene geliefert.

Die Erkenntnisse aus diesem Modell wurden in der Praxis auf laufenden Baustellen verschiedener Größe getestet. Damit wurden die Hypothesen über funktionelle und konstruktive Zusammenhänge verifiziert und somit die Wissensbasis vervollständigt.

Aus der Arbeit am Modell, sowie aus der Analyse des klassischen Planungsprozesses in einem vorhergehenden Arbeitsschritt und den Erfahrungen bei der Untersuchung eines Bauwerkes in der Praxis konnten folgende Schlussfolgerungen gezogen werden. Eine Betrachtung und Aufteilung nach „funktionellen Bereichen“ in einem zukünftigen Dokumentationskonzept ist sinnvoll. Diese „funktionellen Bereiche“ sind in der klassischen Planung die einzelnen Sparten (oder Gewerke) und können als relativ unabhängig voneinander betrachtet werden. Ihre Planung liegt oft in den Händen verschiedener Planungsgruppen, welche sich aber unbedingt miteinander abstimmen sollten. Die Sprache und Symbolik in der Planung ist oft unterschiedlich genau wie die Stellung und Gewichtung der Dokumentationsformen (Planunterlagen, Massenauszüge; z.B. Haustechnikpläne und Elektrotechnikpläne: die ersten beinhalten die materielle und konstruktive Information im Detail, die zweiten arbeiten mit Trassen und Stromgrößen, eine Darstellung der Materialien in Form von Anzahl und Art der Leitungen ist vom Plan nicht ablesbar).

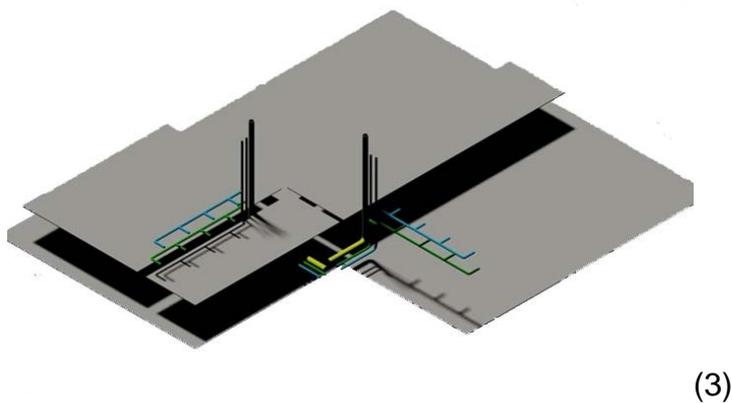


Abbildung 3-1: Screenshots vom digitalen Model: 1) Ansicht, 2) Bodenplatte mit Gesamtinstallationen (TGA und Elektro, Wasser), Türen, Fenster und UK für Trennwände (Ermittlung von Holz, Kunststoff und Metall ausgenommen Baustahl), 3) Ermittlung des Kunststoffeinsatz im Bauwerk

3.2 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Analyse des Planungsprozesses im Bauwesen

3.2.1 Klassischer Planungsprozess

Die Analyse des Planungsprozesses in Theorie und Praxis war einerseits für die Entwicklung des Konzeptes notwendig, hat aber andererseits auch wichtige Hinweise für die mögliche Implementierung geliefert.

Es wurde der Umfang des Projekts vor dem eigentlichen Planungsanfang erkannt. Der mögliche Streuungsgrad bei der Generierung der materiellen Information (z.B. der Zeitpunkt: während der Ausschreibung/Planung/Ausführung; und die Zuständigkeiten: Planleistungen seitens des Bauherrn/Gesamtplaners oder Generalplaners mit Spartenplaner), aber auch die verschiedenen Dokumentationsformen für die materielle Information (Leistungsverzeichnisse, Pläne, Massenauszüge) sind an dieser Stelle zu nennen.

Weiterhin wurde ersichtlich, dass die materielle Information zurzeit nicht ausreichend genug dokumentiert wird, so dass eine nachträgliche Erfassung in jedem einzelnen Fall nötig wäre. Die materielle Information ist am genauesten und detailliertesten im Moment der Fertigstellung und Übergabe des Objektes vorhanden und geht danach in der Regel verloren. Aber auch im Moment der Übergabe, wenn sie am besten beschrieben ist, ist die Informationszusammensetzung mit einem enormen Zeitaufwand verbunden.

Diese Erkenntnisse weisen darauf hin, dass im Rahmen der klassischen Planung, eine vollständige Dokumentation der materiellen Information nur dann möglich ist wenn:

- im Voraus festgestellt wird, welche die Hauptparameter bei der Planung des konkreten Objekts sind (Auftraggeber, Vertragsform, Auftragnehmer, wer ist für die Planung zuständig und von wie vielen Seiten wird daran gearbeitet)
- ermittelt wird, wo die Koordinationsstelle für die Planung ist.

3.2.2 Integrale Planung

Die integrale Planung ist ein holistischer Ansatz in der Bauplanung, bei dem alle Stakeholder und Beteiligten in einer stark ausgeprägten Vernetzung während des gesamten Lebenszyklus arbeiten. Die Ziele sind möglichst effektive Abläufe in allen Phasen des Lebenszyklus, sowie möglichst effiziente Bauwerke (Elvin 2007).

Die Hauptmerkmale der Integralen Planung, die sie von der Klassischen unterschieden sind:

- Zusammenarbeit, Vernetzung und Austausch zwischen den einzelnen Disziplinen und Gewerken

- Ermöglichung und Förderung der Gleichzeitigkeit der Planungs- und Ausführungsphasen
- Möglichkeit für das Planungsteam, das Gebäude durchgehend über den gesamten Lebenszyklus zu beeinflussen und zu optimieren (Kontinuität)

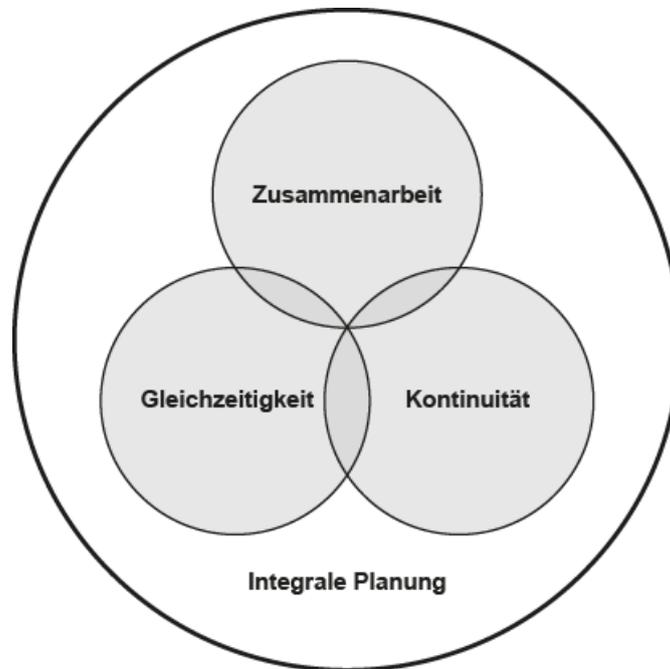


Abbildung 3-2: Die Säulen der integralen Planung: stark ausgeprägte Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Disziplinen, Gleichzeitigkeit von Planung und Ausführung, kontinuierliche Mitwirkung des Planungsteams über den gesamten Gebäudelebenszyklus (Elvin 2007)

3.2.2.1 Die Zusammenarbeit

„Zusammenarbeit“ in der integralen Planung bedeutet, dass Architekten, Ingenieure, Subunternehmer und Bauherren in integrierten, vernetzten Teams von Beginn des Vorhabens miteinander arbeiten. Sie wirken zusammen, um die Ziele des Projektes, sowie den dafür notwendigen Weg zu definieren. Die integrale Planung fördert dadurch die Effizienz, spart Zeit und Geld und ermöglicht die Erstellung von besseren Bauwerken.

Die Beziehungen in einem integralen Team werden in der Regel durch einen einzigen Planungs-Ausführungsvertrag geregelt anstatt der üblichen getrennten Planungs- und Ausführungsverträge in der klassischen Planung. Die Planungs-Ausführungseinheit kann ein Unternehmen mit integraler Struktur sein (eigene Planungs- und Ausführungsabteilungen) oder ein Joint-Venture zwischen Planungsbüros und Bauunternehmen. Möglich ist auch, dass ein Architekt im Auftrag eines Bauunternehmens die Planungsarbeit ausführt oder umgekehrt (Elvin 2007).

Unabhängig davon welche der möglichen Varianten gewählt wird, ist einer der größten Vorteile der integralen Planung die alleinige Verantwortungsschnittstelle zwischen dem Bauherrn und der Planungs-Ausführungseinheit. Eine integrale Planungs-Ausführungseinheit fördert eine gemeinsame Lösung von Problemen in der Planung und Ausführung durch Architekten und Ingenieure.

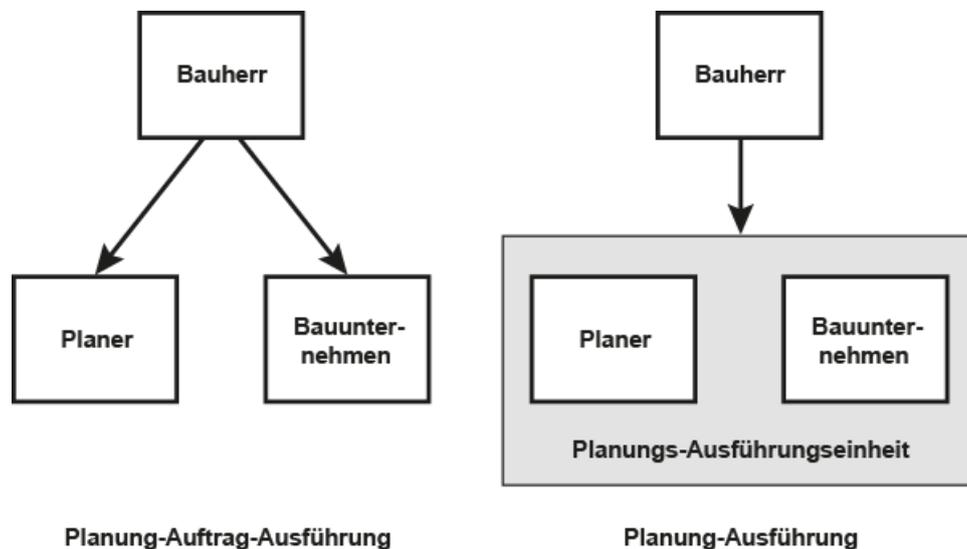


Abbildung 3-3: Organisationsstrukturen in der Planung und der Ausführung: In der Planungs-Auftrags-Ausführungs – Struktur haben Planer und Ausführer getrennte Verträge mit dem Bauherrn, in der Planungs-Ausführungseinheit (rechts) dagegen gibt es nur einen Vertrag über die gesamte Leistung mit dem Bauherrn

3.2.2.2 Gleichzeitigkeit

Das zweite Hauptmerkmal der integralen Planung ist die steigende Überschneidung der Planungs- und Ausführungsphase. Die spezifische Team-Struktur der integralen Teams und die Kontrolle über den gesamten Bauprozess, die dadurch ermöglicht wird, erlaubt es, dass die Ausführungsphase wesentlich früher beginnt, noch bevor die Planungsphase abgeschlossen wird. Die Überlappung von Planung und Ausführung erlaubt eine signifikante Verkürzung der gesamten Bauzeit, die in der klassischen Planung nicht möglich wäre.

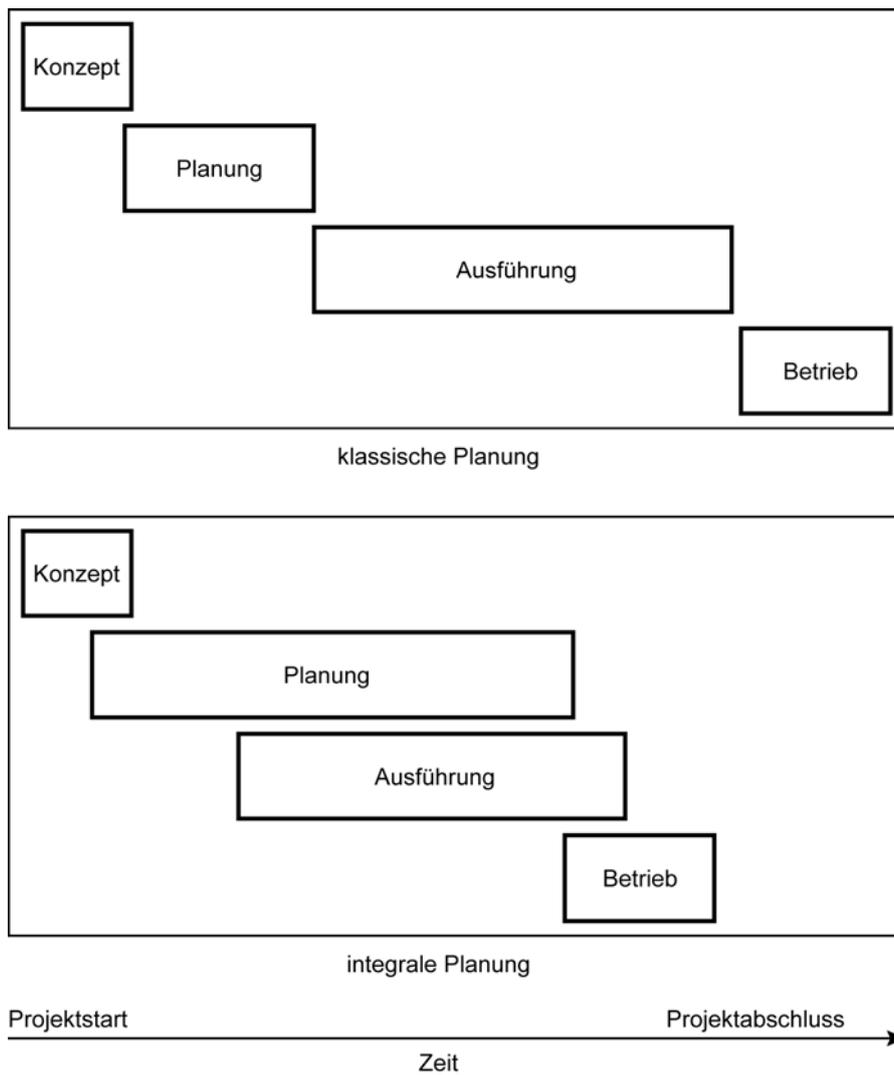


Abbildung 3-4: Die Überschneidung der Planungs- und der Ausführungsphase erlaubt eine signifikante Verkürzung der gesamten Bauzeit (Elvin 2007)

Die Überlappung von Planungs- und Ausführungsphase wird oft auch in Projekten, welche der klassischen Planung entsprechend organisiert sind, angestrebt. Der Unterschied zwischen der Überlappung in der integralen zur klassischen Planung ist, dass es sich im zweiten Fall um zwei getrennte Tätigkeiten von zwei verschiedenen Teams und daher Verantwortlichen handelt. Das macht einerseits die Kommunikation und andererseits die Steuerung komplizierter und führt dazu, dass diese Überlappungen selten zu dem angestrebten Ziel führen (Zeit- und Kostenersparnis) und die Qualität beeinflussen (Elvin 2007). Im Gegensatz dazu beruht die integrale Planung auf Methoden, welche die Gesamtzeiten reduzieren ohne dabei die Qualität von Planung und Ausführung zu beeinträchtigen. Dies gelingt durch den verringerten Kommunikationsbedarf und Informationsaustausch, da hier mit nur einem Team gearbeitet wird und somit Arbeitsschritte der klassischen Planungen wegfallen können.

3.2.2.3 Kontinuität

Die Kontinuität ist das dritte Hauptmerkmal der integralen Planung. Kontinuität steht für den Einfluss des Planungsteams auf das Bauwerk während des gesamten Lebenszyklus. Sie ergibt sich aus der Erkenntnis, dass aus der Sicht eines Bauherrn, Planungs- und Ausführungsfragen genau so relevant sind, wie die Vermarktung, die Nutzung und die Umnutzung etc. des Bauwerkes.

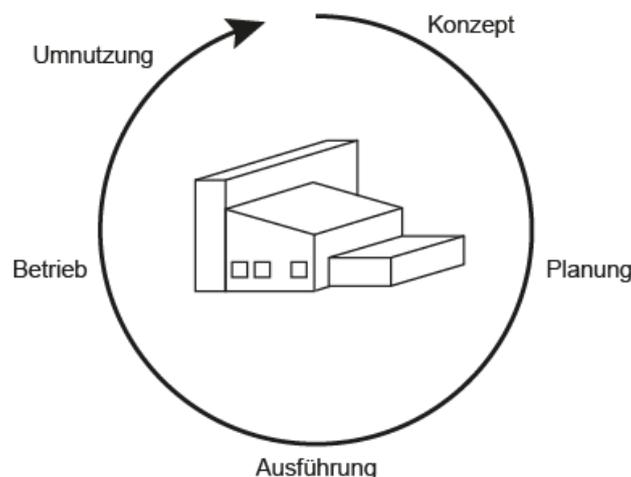


Abbildung 3-5: Die integralen Teams bieten ein breites Spektrum von zusätzlichen Leistungen über den gesamten Lebenszyklus wie z.B. Konzepte für das Facility Management oder für den Umbau und Umnutzung des Gebäudes.

3.2.2.4 Die integrale Planung und Generierung der materiellen Information

Die integrale Planung weist wesentliche Vorteile gegenüber der klassischen Planung in Bezug und Qualität, Vollständigkeit und Verfügbarkeit der materiellen Information in der Planungsphase auf.

- die Generierung, Dokumentation und Aktualisierung der materiellen Information über den gesamten Lebenszyklus liegt in einer Hand
- dadurch besteht die Möglichkeit für die direkte Erfassung der materiellen Information in einem Gebäudepass an der Anlaufstelle.

3.2.3 Industry Foundation Classes (IFC) und Building Information Modeling (BIM)

3.2.3.1 Industry Foundation Classes (IFC)

Industry Foundation Classes (IFC) ist ein Standard zur objektbezogenen Beschreibung von Gebäudemodellen. Die allgemeine Bezeichnung der digitalen Gebäudemodelle, die auf den IFC basiert nennt man heute Building Information Models (BIM). Die IFC wurden von der Organisation 'Industrieallianz für Interoperabilität (IAI)' entwickelt und aktualisiert und sind unter ISO16739 registriert. Seit 1995 nennt sich die IAI 'buildingSMART', welche weiter für die Entwicklung und Aktualisierung von Industry Foundation Classes zuständig ist (<http://www.buildingsmart.de>). Die IFC definiert ein Datenmodell, das aus Einheiten und ihren Beziehungen besteht. Diese Einheiten werden in einer objektorientierten Hierarchie organisiert. Die Wechselwirkungen und Parameter, welche die IFC definiert und somit auch in einem BIM zu finden sind, gehen weit über die Informationskategorien des klassischen Planungsprozesses hinaus.

Folgend sind die Hauptgruppen, denen die Einheiten zugeordnet sind, aufgelistet:

- IfcActor – bezieht sich auf alle Personen und Organisationen, die mit dem Bauvorhaben zu tun haben
- IfcControl – definiert alle Regeln, wodurch Zeit, Kosten, Ziele und Arbeitsanweisungen kontrolliert werden
- IfcGroup – bezeichnet jede Objektsammlung mit derselben gemeinsamen Nutzung/Widmung (z.B. alle Objekte in einem elektrischen Kreislauf oder Objekte, die sich auf den elektrischen Kreislauf beziehen, wobei diese auch logische Objekte und nicht nur physische Objekte sein können)
- IfcProduct – sind Raumvorkommnisse wie z.B. physische Objekte (Wände, Stützen etc.) oder Raumaussparungen (Aussparungen für Fenster, Türen, Wanddurchbrüche etc.)

- IfcProcess – sind Zeitereignisse wie z.B. Aufgaben, auf das Bauvorhaben bezogene Ereignisse, Prozeduren
- IfcRessource – bezeichnet die Verwendung von allem, was im Rahmen eines Bauvorhabens zur Verfügung steht, wie z.B. Materialien, Arbeitskraft, Anlagen etc.
- IfcRelationship – bezeichnet alle Wechselwirkungen zwischen Objekten

Der IFC-Standard beinhaltet aktuell mehr als 700 Einheiten (Stand ifc2x3, Juni 2007), die mit der zu erwartenden Aktualisierung am Ende des Jahres 2010 (ifc2x4) weiter ergänzt werden. Eine wichtige Besonderheit und ein Vorteil des Standards ist, dass es sich dabei um eine Opensource-Software handelt. Das bedeutet, dass alle Nutzer die Möglichkeit haben, den Standard ihren Bedürfnissen entsprechend zu erweitern und zu ergänzen.

Somit ermöglicht die IFC eine vollkommene Erfassung des Bauvorhabens, einschließlich aller Ressourcen, Konstruktionen, logischer und physischer Wechselwirkungen in einem einzigen digitalen Modell. Dieses Modell oder anders ausgedrückt, die Visualisierung dieses Modells ist das Building Information Model (BIM).

3.2.3.2 Building Information Modeling (BIM)

Eastman definiert BIM als Modellierungstechnologie mit assoziiertem Satz aus Prozessen und Verfahren, um Gebäudemodelle zu produzieren, zu kommunizieren und zu analysieren (Eastman, 2007). Die Hauptmerkmale eines BIM nach Eastman sind:

- Die Gebäudekomponenten – diese werden durch intelligente, digitale Darstellungen (Objekte) repräsentiert, welche „wissen“ was sie sind und durch Computergraphik, Datenattribute und parametrische Regel verbunden werden können
- Komponenten mit der Information darüber wie sie sich verhalten können/müssen – diese Komponenten sind für die Analyse und die Arbeitsprozesse notwendig, wie z.B. Spezifizierungen, Energieanalysen etc.
- Koordinationsinformation – somit sind alle Aussichten des Modells in einem Koordinatensystem dargestellt
- Bestandsinformation – die sich in Komponenteninformation verwandelt und in jeder Ansicht der Komponente gleich bleibt (z.B. Information über die Geometrie oder das Material der Komponente)

Nach Mortenson erfüllt ein BIM folgende Kriterien (Eastman 2008):

- Digital
- Räumlich (3D)
- Messbar (quantifizierbar, dimensionierbar, rückfragbar)

- Übergreifend (kommunikatives Design, Bauwerksleistung und Effizienz, Konstruierbarkeit, räumliche und Kostenaspekte)
- Zugänglich (für das gesamte Netzwerk bestehend aus dem Bauherrn, dem Architekt, den Ingenieuren und den Subunternehmern)
- Beständig (verwendbar und verfügbar während aller Phasen des Gebäudelebenszyklus)

Ein BIM darf nicht mit einem CAD-3D-Modell verwechselt werden: die reinen 3D- Modelle sind nur zur Visualisierung geeignet, sie beinhalten jedoch keine intelligente objektbezogene Information und können daher nicht für Datenintegration und Analyse oder als planerische Unterstützung in diesem Sinne verwendet werden. (Eastman 2007).

Die Verwendung von BIM aus der Sicht der Ressourceneffizienz im Bauwesen weist signifikante Vorteile gegenüber den Methoden und den Dokumentationsformen der klassischen Planung auf:

- Die materielle Information aus allen Gewerken wird gleichzeitig in einem einheitlichen Format generiert, standardisiert (in Bezug auf Detailliertheit, Parameter etc.) und sofort dokumentiert
- Die relevanten Beziehungen zwischen den Bauelementen (konstruktive Kollisionen, Trennbarkeit etc.) können automatisch ermittelt werden
- Die Information wird für ein einzelnes Gebäude und Planungsmodell generiert, dokumentiert und erhalten
- Dieses Modell bleibt über den gesamten Lebenszyklus erhalten

3.2.3.3 IFC und BIM in der Praxis

Der IFC, internationaler Format-Standard, stellt aus Sicht des Ressourcenmanagement s in Zusammenhang mit gängigen BIM Anwendungen eine mögliche Datenquelle dar, die sowohl die Verfügbarkeit als auch Qualität gewährleisten könnte. Nichtsdestotrotz ergeben sich nach wie vor in der Praxis Probleme in der Anwendung. Diese sind zum einen auf die unterschiedlichen Standards der gängigen BIM-Anwendungen für Architekten, wie(a) Revit Building, (b) AchiCAD, (c) Digital Project und (d) Bentley Architecture und zum anderen auf Schnittstellenprobleme mit anderer BIM-Software, die bei Produzenten zum Einsatz kommen, z.B. Tekla Structure oder Structureworks Precas, zurückzuführen

Jeong et al. (Jeong et al. 2008), prüften anhand eines Referenzobjektes den Datentransfer eines BIM-Tools in dreierlei Weise:

1. Datenexport aus einem BIM-Tools ins IFC-Format
2. Rückführung der Information aus dem IFC ins BIM-Tool (Roundtrip)
3. Datenexport aus einem BIM-Tool für Architekten in jenes eines Herstellers

Ein Problem besteht darin, dass das IFC-Format im Vergleich zu den BIM-Tools einen geringeren Umfang in den möglichen darzustellenden Objekten aufweist. Im Zuge der Konvertierung werden demnach Objekte im IFC Format z.T. anders definiert als in der entsprechenden BIM Anwendung. Die Größe der Abweichungen, ist je nach BIM Anwendung unterschiedlich. So werden bei einem exemplarischen Datenexport von Revit Building ins IFC-Format 31 Objekte als Säule definiert und bei einem Export aus ArchiCAD nur 2. Aufgrund dieser Schwäche ist im Zuge eines Roundtrips (BIM Format – IFC – BIM Format), also bei der Rückführung der Daten aus dem IFC-Format in das BIM-Tool mit Fehlern und Ungenauigkeiten zu rechnen. Bei der Weitergabe der Daten vom Architekten zum Hersteller ist demnach mit den gleichen Problemen zu rechnen.

Durch die großen Unterschiede bei dem Export von IFC-Daten wird deutlich, dass Standards für BIM-Tools festgelegt werden müssen. Diese sollen klar definieren, welches IFC-Objekt für die Darstellung eines Elements verwendet werden muss und wie diese untereinander in Beziehung stehen.

Der momentane Standard reicht für als zuverlässige und langfristige Basis nicht aus. Hinzu kommt, dass eine breite Palette von IFC- und daher auch von BIM-Alternativen (z.B. OmniClasses) existiert. Daher ist nicht klar, ob sich dieser Standard und das darauf aufgebaute Digitalmodell langfristig durchsetzen werden. Im Sinne einer Life-Cycle Betrachtung wäre es jedoch wünschenswert, wenn für die Übermittlung von Daten ein einheitlicher Standard existiert worauf Anwendungen in allen Phasen aufbauen können. Somit können auch graphische Anwendungen für das Ressourcenmanagement, insbesondere im Bereich des Abrisses und der Entsorgung, entwickelt werden und Einzug finden.

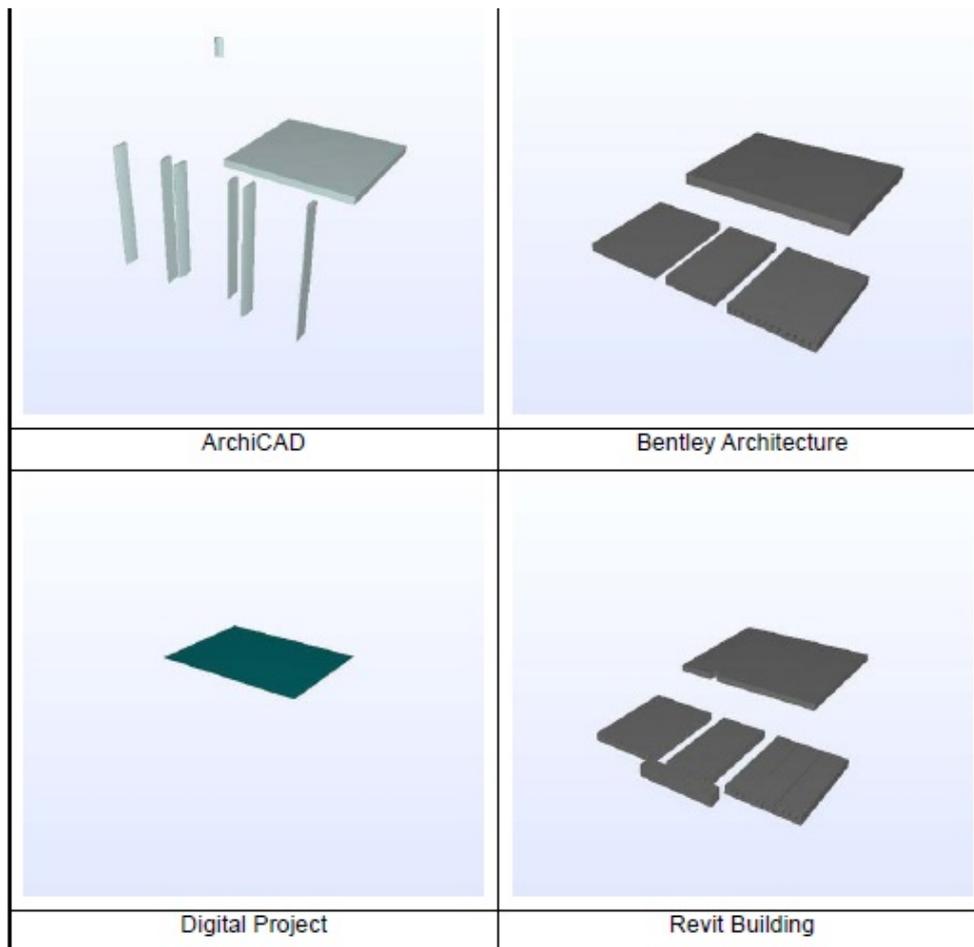


Abbildung 3-6: Vergleich der Interpretation von IFC-Daten von vier verschiedenen BIM-Tools (im Test Archicad, Digital Project, Bentley Architecture und Revit): es ist ersichtlich welche Unterschiede in der Visualisierung und der Interpretation der Daten bei den unterschiedlichen Tools auftreten (Eastman 2008)

3.2.4 Analyse der Planungsprozesse und Tools als Rahmenbedingung für die Implementierung eines materiellen Gebäudepasses

Die Planungsprozesse und Tools werden anhand von zwei Hauptindikatoren auf ihre Eignung überprüft. Dies dient als Basis für die Entwicklung und Implementierung eines Gebäudepasses:

- Qualität der generierten materiellen Information – umfasst die Verfügbarkeit, Zugänglichkeit, Detailliertheit, Handhabbarkeit, den Aufwand bei der Sammlung und die Auswertung der Information für die Zwecke der Erfassung in einem materiellen Gebäudepass
- Implementierbarkeit – berücksichtigt die tatsächliche Anwendung und Verbreitung des Planungsansatzes in der Praxis

3.2.4.1 Klassische Planung

- Qualität der generierten materielle Information

Ausreichende Detailliertheit, Verfügbarkeit und Vollständigkeit sind nur bei großen Vorhaben und oft nur während der Ausführungsphase gegeben. Die Planung in den einzelnen Gewerken wird in verschiedenen Standards ausgeführt. Es besteht keine Verpflichtung zur Sammlung der Planungsinformation bei einer Anlaufstelle, was einerseits die nachträgliche Sammlung, aber vor allem die Dokumentation und Erfassung der materiellen Information signifikant erschwert.

- Implementierbarkeit

Die klassische Planung ist und wird langfristig ohne legislative Maßnahmen die maßgebende Planungsweise im Bereich Einfamilienhaus bleiben. Im Bereich Mehrfamilienwohnbau, Büro- und Industriebau verliert sie zugunsten der integralen Planung an Bedeutung, da die Komplexität der Bauwerke, besonders im Bereich der technischen Gebäudeausstattung (TGA/Energieeffizienz) mit den Vorgehensweisen der klassischen Planung nicht effizient bewältigt werden kann.

3.2.4.2 Integrale Planung

- Qualität der generierten materielle Information

Die Planung in den einzelnen Gewerken erfolgt wieder in unterschiedlichen Standards, die Integrität der Teams gewährleistet jedoch, dass die Information bei einer Anlaufstelle gesammelt, dokumentiert und aktualisiert wird. Durch die Ausdehnung der integralen Planung auf den gesamten Lebenszyklus (vor allem bei der Planung des Facility Managements und der Gebäudeerhaltung) wird gewährleistet, dass die materielle Information auch über den gesamten Lebenszyklus erhalten bleibt und teilweise aktualisiert wird.

- Implementierung

Die integrale Planung gewinnt immer mehr an Bedeutung. Besonders bei komplexen Bauwerken ist die Planung, Ausführung und später der Betrieb nur mit diesem Ansatz zu bewältigen. Solche Bauwerke sind Bürohäuser, zunehmend Mehrfamilienhäuser und die gewerblichen und industriellen Bauten.

3.2.4.3 IFC und BIM

- Qualität der generierten materielle Information

Die IFC und das BIM bieten eine vollständig erfasste und dokumentierte materielle Information, die Freiraum für weitere komplexe Auswertungen und Integration bietet.

Die Information entsteht in einem einheitlichen Standard und Format und in einem einzigen Modell, das zwecks Gebäudebetriebs über den gesamten Lebenszyklus erhalten bleiben soll.

- Implementierung

Die IFC und das BIM sind neue, nicht etablierte Technologien. Europaweit existieren noch keine Referenzobjekte, die sinngemäß mit allen Gewerken und von Anfang der Planung bis zum Ender der Ausführung mit einem BIM durchgeführt wurden. Im deutschsprachigen Raum wird die Anwendung des Weiteren dadurch erschwert, dass die führenden Software-Anbieter von BIM-Tools (Autodesk, Nemetschek etc.) diverse Normen (EN, DIN und ÖN) in den Software-Tools noch nicht integriert haben.

3.2.5 Konstruktiv-funktionelle Aufteilung des Bauwerks

Bei der Betrachtung des Objektes wurden (wie oben schon beschrieben) folgende Aspekte berücksichtigt:

- Die gemeinsame Funktion (die unabhängig von Größe, Nutzung des Objektes, Bauherr und Vergabeform immer auftritt)
- Der Zeitpunkt der Erstellung des Bereiches während des Bauprozesses
- Besonderheiten der materiellen Informationsdokumentation

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte, wird das Bauwerk im Einzelnen wie folgt unterteilt und betrachtet:

- Bereiche - die Bereiche entsprechen im Allgemeinen den einzelnen Gewerken und stellen funktionelle und/oder konstruktive und planerische Einheiten (z.B. Rohbau, Haustechnik, Fundament) dar.
- Unterbereiche – die Unterbereiche sind thematische, funktionelle und konstruktive Bestandteile der übergeordneten Bereiche und unterscheiden sich nach ihrer Aufgabe voneinander (Fundament – Pilote und Streifenfundamente; Rohbau – Kern, Fassade/Gebäudehülle, Dach)
- Bauelemente – sind die Bestandteile der einzelnen Unterbereiche (z.B. Kern im Rohbau – tragende und aussteifende Wände, Decken, Stützen und Träger, Liftschacht, Stiegenhaus)
- Material - die Materialien, aus denen ein Bauelement besteht (z.B. Außenwand – Wärmedämmung, Dampfsperre, massiver Teil (Beton, Mauerwerk) – Anm.: Putze, Estriche und Anstriche, sowie Beschichtungen und Farbe werden aus ressourcenrelevanten Überlegungen als Beschichtungen und nicht als Materialien bezeichnet)

4 Ergebnisse

4.1 Erstellung des Gebäudespass-Konzeptes

Das gesamte Konzept „Materieller Gebäudepass“ besteht aus drei Teilen: analytisches Modell, Bestimmung der Rahmenbedingungen für die Implementierung und Testbeispiele. Das analytische Modell entspricht dem allgemeinen konstruktiven Aufbau eines Bauwerks.

4.1.1 Erstellung des analytischen Modells

Mit diesem Konzept wird keine Bewertung von Bauwerken oder Materialien erzielt. Das Ziel dieses Konzeptes ist es eine qualitative und quantitative Aussage über die Materialien in einem beliebigen Bauwerk machen zu können. Darin sollen Informationen über ihre Lage im Bauwerk, die möglichen Schnittstellen, sowie über die Art des Materials und der Elemente und Materialverbindungen in Bezug auf Trennbarkeit enthalten sein. Diesen Anforderungen entsprechend wurde eine baumartige Struktur wie in Abbildung 4-1 aufgebaut. Die Hauptparameter in dieser Struktur sind die Strukturelemente (im Modell als Bereiche, Unterbereiche, Bauelemente und Aufbau definiert) und die relevante Wechselwirkungen zwischen jenen, die entscheidend für die Ermittlung, Zuordnung und Auswertung der materiellen Information sind. Die Dokumentation der Materialien wird in zwei Phasen durchgeführt und in zwei verschiedenen Richtungen: zuerst qualitativ top-down, anschließend quantitativ bottom-up.

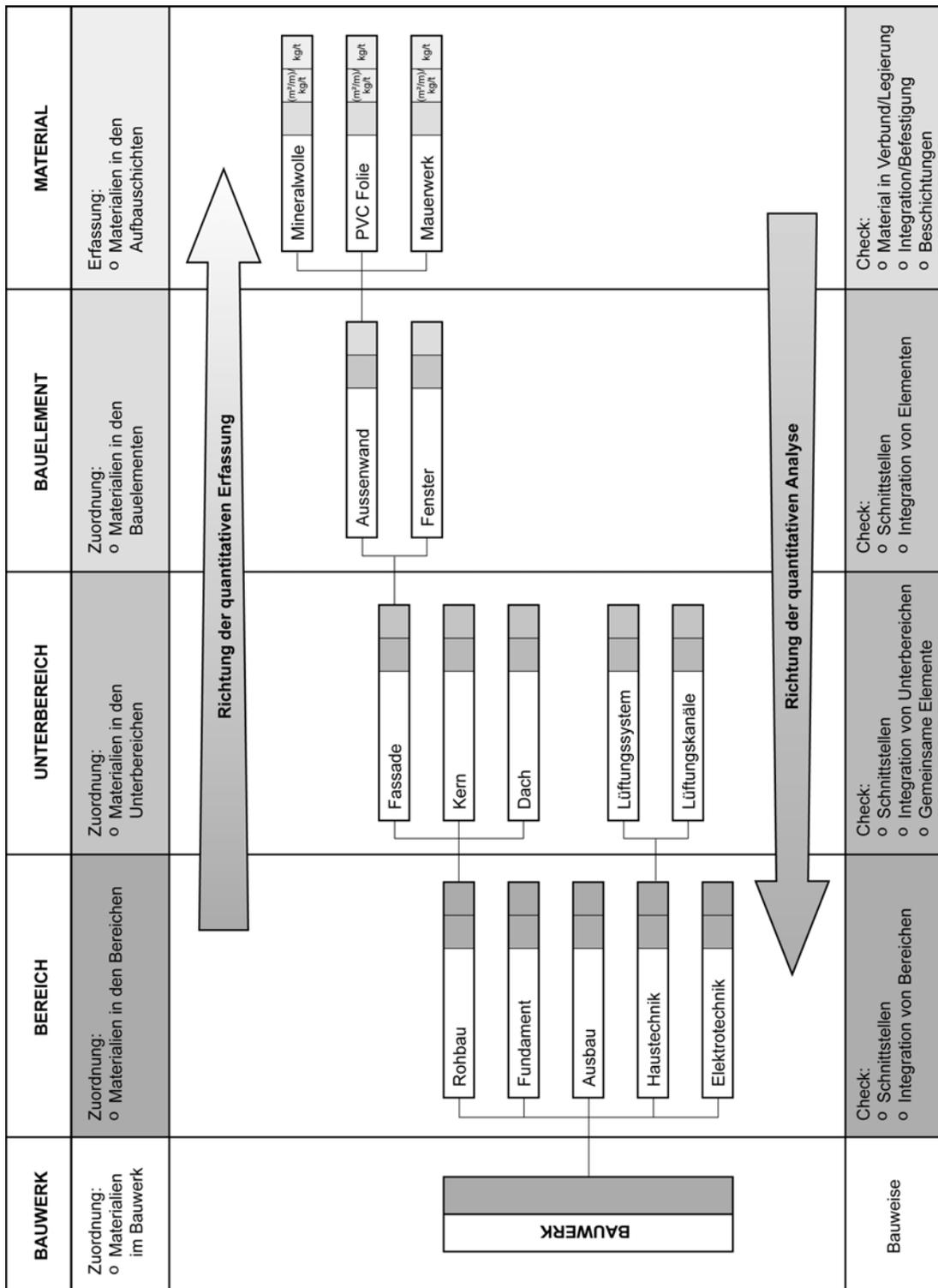


Abbildung 4-1: Die Struktur des Gebäudepasskonzeptes mit beispielhafter Gliederung des Bereiches Rohbau, des Unterbereiches Fassade und des Bauelements Außenwand

4.1.2 Qualitative Dokumentation

In einem ersten Schritt werden die Bereiche bestimmt, die für das konkrete Bauvorhaben relevant sind. Im Allgemeinen entsprechen die Bereiche den einzelnen Gewerken im Bauvorhaben (Rohbau, Ausbau, Haustechnik etc.). Das Fundament und der Rest des Rohbaus sind hierbei getrennt zu betrachten. Da die Dokumentation der materiellen Information in einem Gebäudepass dazu führen soll, dass die eingebauten Materialien später in einen Materialkreislauf zurückgeführt werden, ist die Unterscheidung zwischen diesen beiden Bereichen sinnvoll. Grund dafür ist, dass die Rückgewinnung von unterirdisch und oberirdisch eingebauten Materialien unterschiedliche Technologien und Arbeitsaufwand voraussetzen wodurch sie Unterschiede in der Rezyklierbarkeit, der Wiederverwendbarkeit etc. aufweisen.

Als nächstes werden die Bereiche anhand der baumartigen Struktur auf die dazugehörigen Unterbereiche aufgeteilt. Diese Zuordnung ist stark von der Bauweise abhängig. So kann eine Fassade als Unterbereich je nach Funktion und Ausführung entweder den Bereichen Rohbau (massive Außenwand), dem Ausbau (Leichtbau) oder der Haustechnik (intelligente Fassaden) zugeordnet werden.

Auf der nächst tieferen Ebene werden alle Bauelemente, aus denen ein Unterbereich besteht, dem Unterbereich zugeordnet. Unter Bauelementen sind sowohl in situ hergestellte Konstruktionen und Elemente zu verstehen (z.B. Ortsbetondecken), als auch im Voraus hergestellte Elemente, die auf die Baustelle geliefert und montiert werden (Betonfertigteile, Fenster, Türen, Fassadenelemente etc.). Für jedes dieser Elemente wird der Materialaufbau als Schichtenaufbau dargestellt.

Auf der letzten Ebene (der Materialebene) wird der Aufbau der Bauelemente aus verschiedenen Materialien dokumentiert. Auf jeder Ebene ist auf geometrische Kollisionen (untrennbare Verbindungen von Bauteilen) und auf Verbunde zu achten. Diese sind dementsprechend zu dokumentieren, da sie eine Auswirkung auf die spätere Kreislauffähigkeit der Materialien haben. Beispiele für einen Verbund sind die untrennbare Integrationen von Bereichen, Unterbereichen und Bauelementen (Verklebungen, konstruktive Integration) oder die Verwendung von Verbundmaterialien auf der Ebene des Materialaufbaus. Das Zwischenergebnis am Ende dieser Phase ist eine vollständige Material- und Konstruktionskarte des Bauwerks mit Angaben aller relevanten Wechselwirkungen.

4.1.3 Quantitative Dokumentation

Diese Phase verläuft von der tiefsten Ebene beginnend (die Materialebene) bis hin zur Bauwerksebene (bottom-up). Allen Materialpositionen in der Materialebene werden eine geometrische und eine Gewichtsgröße zugeordnet, deren Produkt die Menge ergibt. Summiert über die Bauelemente, Unterbereiche, Bereiche bis hin zum Bauwerk ergeben diese den Materialeinsatz.

An diesem Punkt sollen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Wie sieht die quantitative Zusammensetzung des Bauwerks aus (Materialpalette)?
- Welche Gesamtmengen von jedem Material sind im Bauwerk eingesetzt?
- Wie sind die Materialien im Bauwerk verteilt und in welchem Bereich und Unterbereich sind die größten Mengen eines konkreten Materials vorhanden?

4.1.4 Bestimmung der Rahmenbedingungen für die Implementierung

Die Ergebnisse aus den Interviews (siehe Anhang von Bericht der Action 5), die Analyse des Planungsprozesses und des Einsatzes von Design for X Maßnahmen in Referenzindustrien (siehe Action 5), sowie die Arbeit an den Testbeispielen zeigen, dass zwei wichtige Gruppen von Rahmenbedingungen für die erfolgreiche praktische Implementierung des Konzeptes entscheidend sind.

4.1.4.1 Politische Rahmenbedingungen

Die Geschichte der Design for X –Ansätze und ihre Anwendung in der elektronischen und Automotiven Industrie demonstrieren sehr deutlich welche Bedeutung der politische Eingriff für die Ressourceneffizienz und den Materialkreislauf haben können. Während die ersten Ansätze heuristisch und von der Industrie nur soweit entwickelt und eingesetzt wurden, solange die Wirtschaftlichkeit von diesen gegeben war, wurden mit der Einführung der EU-Normen und Richtlinien hochkomplexe und detaillierte Methoden entwickelt und eingeführt, die den Material- und Stoffkreislauf um ein Vielfaches verbesserten. Da die politisch neugesetzten Ziele der Ressourceneffizienz bindend sind, werden diese Methoden eingesetzt und die Ziele verfolgt, auch wenn in einzelnen Fällen die direkte Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist. Ohne diese entsprechenden gesetzlichen Regelungen wäre die Produzentenverantwortung nur auf freiwilliger und daher nicht planbarer Basis möglich.

Das ist vor allem für langlebige Güter entscheidend, da hier die direkte Wirkung des Einsatzes von Ressourceneffizienzkonzepten erst nach vielen Jahrzehnten spürbar ist. Die Anwendung eines solchen Konzeptes während der Planung ist auch für Vertreter aus Bereichen der späteren Lebenszyklusphasen des Gebäudes (z.B. Abbruchunternehmen, Betreiber von Recyclinganlagen etc.) von Interesse. Die Ergebnisse aus der Praxis zeigen, dass der entscheidende Faktor für die Qualität der materiellen Information beim Bauherrn und dessen Anforderungen liegt. Um den Gebäudepass bestmöglich einzusetzen, ist es daher notwendig, die Bauherren, unabhängig von der Größe des Bauvorhabens, zu verpflichten, ein Mindestmaß an Detailliertheit und Vollständigkeit der materiellen Information am Ende der Planungsphase zu verlangen. Mit dem zusätzlichen Einsatz der Prinzipien der integralen Planung könnte man in diesem Bereich einen weiteren Beitrag leisten.

4.1.4.2 Technische Rahmenbedingungen

Die technischen Rahmenbedingungen sollen gewährleisten, dass die materielle Information in der notwendigen Qualität und Vollständigkeit generiert wird, so dass sie als Basis für einen materiellen Gebäudepass dienen kann. Sie sollte sich über den gesamten Lebenszyklus erstrecken, da die Information zwar am Anfang des Lebenszyklus am intensivsten generiert wird, aber während des gesamten Lebenszyklus aktualisiert und schließlich am Ende gebraucht wird. Ein Vergleich der Planungsansätze und Tools zeigte, dass die integrale Planung am besten die analytischen und praxisbezogenen Voraussetzungen erfüllt, um die Implementierung des materiellen Gebäudepasses zu gewährleisten. Durch die Zusammenarbeit aller Gewerke von Anfang an werden nicht nur alle materiellen Informationen gebündelt, sondern auch geometrische Kollisionspunkte früh erkannt und dokumentiert. Es können sowohl der Bauherr als auch alle weiteren Beteiligten, ihre Anforderungen in Bezug auf die Ressourceneffizienz am besten kommunizieren. Wenn in der Planungsphase ein Verantwortlicher mit der Steigerung der Ressourceneffizienz beauftragt wird (z.B. Beauftragter für Chemikalienmanagement), werden die Rezyklierbarkeit, die Wiederverwendbarkeit und die allgemeine Kreislauffähigkeit der Materialien signifikant gesteigert. Somit ist die integrale Planung die zweite notwendige Bedingung für die praktische Implementierung des Gebäudepasses.

4.1.5 Dokumentation anhand ausgewählter Beispiele

4.1.5.1 Ausgewählten Fallbeispiele

Ursprünglich bestand der Wunsch, das Konzept an möglichst vielen, unterschiedlichen Bauwerken im Bestand zu testen. Bedingt durch die Schwierigkeiten bei der Beschaffung von Referenzobjekten wurden schlussendlich folgende Beispiele gewählt:

1. Mehrfamilienhaus in Massivbauweise: dieses Objekt wurde mit Plänen, Massenermittlungen und dem Leistungsverzeichnis (LV) für die Technische Gebäudeausrüstung (TGA) vom Österreichischen Ökologie Institut zur Verfügung gestellt
2. Mehrfamilienhaus in Holzmassivbauweise: auch dieses Gebäude wurde mit den vollständigen Plänen vom Österreichischen Ökologie Institut zur Verfügung gestellt
3. Einfamilienhaus in Massivbauweise: hier ist eine vollständige Dokumentation vorhanden

4.1.5.2 Dokumentationsaufwand

Bei der Suche nach geeigneten Referenzobjekten wurden die Unterschiede im Detaillierungsgrad der Dokumentation sowie deren spätere Erhaltung in Abhängigkeit von Nutzung und Größe des Objektes, ermittelt. Im Folgenden soll deutlich gemacht werden, dass die Basis für das Konzept des Gebäudepasses, nämlich die vollständige Dokumentation der einge-

setzten Materialien, sehr oft nicht gegeben ist. Es wurden zu Beginn zwei Einfamilienhäuser in Massivbauweise in Betracht gezogen. Eines konnte für die Anwendung des Gebäudepasses allerdings nicht berücksichtigt werden, da die Dokumentation, Planqualität und Detailliertheit, besonders in den Bereichen Elektrotechnik und Haustechnik, keine Möglichkeit zur Ermittlung des Materialaufwandes ergeben haben. Die Situation war zusätzlich durch die Tatsache erschwert, dass die Eigentümer des Hauses die einzelnen Gewerke, die Planungsleitung und die Ausführung, an verschiedene Einzelunternehmer vergeben hatten und nach Fertigstellung keine Pläne verlangt hatten.

Beim zweiten Einfamilienhaus wurde die Planung und Ausführung von einem Unternehmer übernommen. Es handelte sich außerdem um einen Eigentümer, der auf die Übersichtlichkeit und die Detailliertheit der Planungsunterlagen ausdrücklich bestanden hat. Dennoch waren zusätzliche Gespräche, Objektbesuche und Vermessungen zur Klärung einiger Sachverhalte notwendig.

Im Bereich Gewerbebau mit öffentlichem Auftraggeber war die gesamte Dokumentation im Detail vorhanden (bis auf die Massenermittlungen in der Elektrotechnik, da sich das Objekt im Bau befand). Der größte Zeitaufwand wurde dadurch verursacht, dass die einzelnen Gewerke an Einzelunternehmer vergeben waren und die Dokumentation von jedem separat organisiert werden musste. Der gesamte Prozess der Beschaffung der Dokumentation von diesem Objekt erstreckte sich damit über Monate.

Das Ergebnis aus der Organisation der Referenzobjekte war eine Bestätigung der Vermutung, dass angesichts der Komplexität im Vergabewesen eine aufwandsneutrale, nachträgliche Ermittlung der materiellen Information generell nicht möglich ist, da die Planungs- und Dokumentationsstandards in ihrer jetzigen Form dafür nicht optimiert sind. Darüber hinaus ist eine Dokumentation von Verbund in den Konstruktionen nur während der Planungsphase möglich. Da es sich bei den vorliegenden Referenzobjekten um fertiggestellte Bauwerke handelt, konnte diese Auswertung nicht durchgeführt werden.

4.1.5.3 Ergebnisse der Erfassung der materiellen Information mit dem Modell des Gebäudepasses

Materialerfassung für den Fall „Massiv“ (Aufbautenliste der Bauelemente vom Österreichischen Ökologie Institut)

Tabelle 4-1: Materialerfassung - Kellerdecke

	Dicke	Masse/m ²	Fläche	Masse
Kellerdecke	m	kg/m ²	m ²	kg
Estrichbeton	0,05	100	275	27.500
Dampfbremse PE		0,20		55
Polystyrol expandiert (EPS) Trittschall-dämmung	0,03	0,33		91
Polystyrol expandiert (EPS)-W20-Dämmplatte	0,20	4		1.100
Normalbeton	0,30	690		189.682
Armierungsstahl		24		6.598

Tabelle 4-2: Materialerfassung Außenwand

	Dicke	Masse/m ²	Fläche	Masse
Außenwand	m	kg/m ²	m ²	kg
Silikatputz		3,50	540	1.890
Putzgrund (Silikat)		0,25		135
Glasfaserarmierung		0,16		86
Klebspachtel		8		4.320
Dübel kompl. 38cm		7,00		3.780
Polystyrol expandiert (EPS) -F- Fassadendämmplatte	0,27	4,86		2.624
Klebspachtel		4,50		2.430
Normalbeton	0,18	414		223.560
Armierungsstahl		12,50		6.750
Gipsspachtel	0,0003	0,48		259

Tabelle 4-3: Materialerfassung – Dach

	Dicke	Masse/m ²	Fläche	Masse
Dach	m	kg/m ²	m ²	kg
Dachziegel		45	312	14.040
Schnittholz Fi rauh, lufttrock.	0,03	2,43		758
Schnittholz Fi rauh, lufttrock.	0,05	2,70		842
Polyethylenbahn Dächer		0,08		25
Schnittholz Fi rauh, lufttrock.	0,024	12,96		4.044
Schnittholz Fi rauh, tech.trock.	0,04	1,28		399
OSB-Platte OSB 3 MUPF/PMDI	0,36	3,73		1.163
Schnittholz Fi rauh, tech.trock.	0,04	1,28		399
Glaswolle MW-WF	0,36	6,98		2.179
Normalbeton	0,18	414		129.168
Armierungsstahl		16		4.992
Gipsspachtel	0,003	4,80		1.498
Stahl niedriglegiert		0,50		156

Tabelle 4-4: Materialerfassung – Geschoßdecke

	Dicke	Masse/m ²	Fläche	Masse
Geschoßdecke (4 Geschoßdecken)	m	kg/m ²	m ²	kg
Massivparkett	0,01	7,45	275	8.195
Parkettkleber		1		1.100
Estrichbeton	0,06	120		132.000
Polyethylenbahn		0,20		220
Polystyrol expandiert (EPS) Trittschall-dämmung	0,04	0,44		484
Normalbeton	0,2	460		506.000
Armierungsstahl		16		17.600
Gipsspachtel	0,003	4,80		5.280

Tabelle 4-5: Materialerfassung – Keller, Bodenplatte

	Dicke	Masse/m ²	Fläche	Masse
Keller Bodenplatte	m	kg/m ²	m ²	kg
Sand, Kies lufttrocken	0,2	360	275	99.000
Stahlbeton Schwarze Wanne	0,375	882,38		242.653

Tabelle 4-6: Materialerfassung – Keller, Trennwand

	Dicke	Masse/m ²	Fläche	Masse
Trennwand Keller	m	kg/m ²	m ²	kg
Stahlbeton mit 60 kg/m ³ Armierungsanteil	0,25	600	120	72.000

Anm.: Wandflächen sind Annahme

Tabelle 4-7: Materialerfassung – Keller, erdberührte Wand

	Dicke	Masse/m ²	Fläche	Masse
Erdberührte Wand Keller	m	kg/m ²	m ²	kg
Stahlbeton mit 80 kg/m ³ Armierungsanteil	0,25	600	212,48	127.488
Polystyrol extrudiert CO ₂ -geschäumt (XPS)	0,25	9,50		2.019

Materialerfassung für den Fall „Einfamilienhaus Holzmassiv“

Tabelle 4-8: Materialerfassung – Außenwand

	Dicke	Masse/m ²	Fläche	Masse
Außenwand	m	kg/m ²	m ²	kg
Schnittholz Lä tech.trock. gehobelt	0,025	15,75	540	8.505
Schnittholz Fi rauh, lufttrock.	0,05	2,70		1.458
MDF-Platte	0,016	12,48		6.739
OSB-Platte OSB 3 MUPF/PMDI	0,3	3,11		1.679
Schnittholz Fi rauh, tech.trock.	0,3	2,55		1.377
Glaswolle MW-WF	0,3	5,8		3.132
Dampfbremse PE		0,20		108
Schnittholz Fi rauh, tech.trock.	0,12	60		32.400
Stahl niedriglegiert		0,50		270
Stahl niedriglegiert		0,30		162

Tabelle 4-9: Materialerfassung – Dach

	Dicke	Masse/m ²	Fläche	Masse
Dach	m	kg/m ²	m ²	kg
Kies	0,06	108	312	33.696
Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)	0,08	3,04		948
Polymerbitumen-Dichtungsbahn		8,60		2.683
Spanplatte V100 PF	0,018	12,24		3.819
OSB-Platte OSB 3 MUPF/PMDI	0,3	3,69		1.151
Furniersperrholz PF	0,3	2,34		730
Glaswolle MW-WF	0,3	5,83		1.819
Spanplatte V100 PF	0,018	12,24		3.819
Alu-Dampfsperre		0,20		62
Schnittholz Fi rauh, lufttrock.	0,05	2,70		842
Glaswolle MW-WF	0,05	0,90		281
Gipskartonplatte (Flammschutz)	0,03	25,50		7.956
Stahl niedriglegiert		0,50		156

Tabelle 4-10: Materialerfassung – Haustechnik (Materialerfassung basiert auf den Massenauszügen, die bei diesem Objekt von dem Österreichischen Ökologieinstitut durchgeführt wurden)

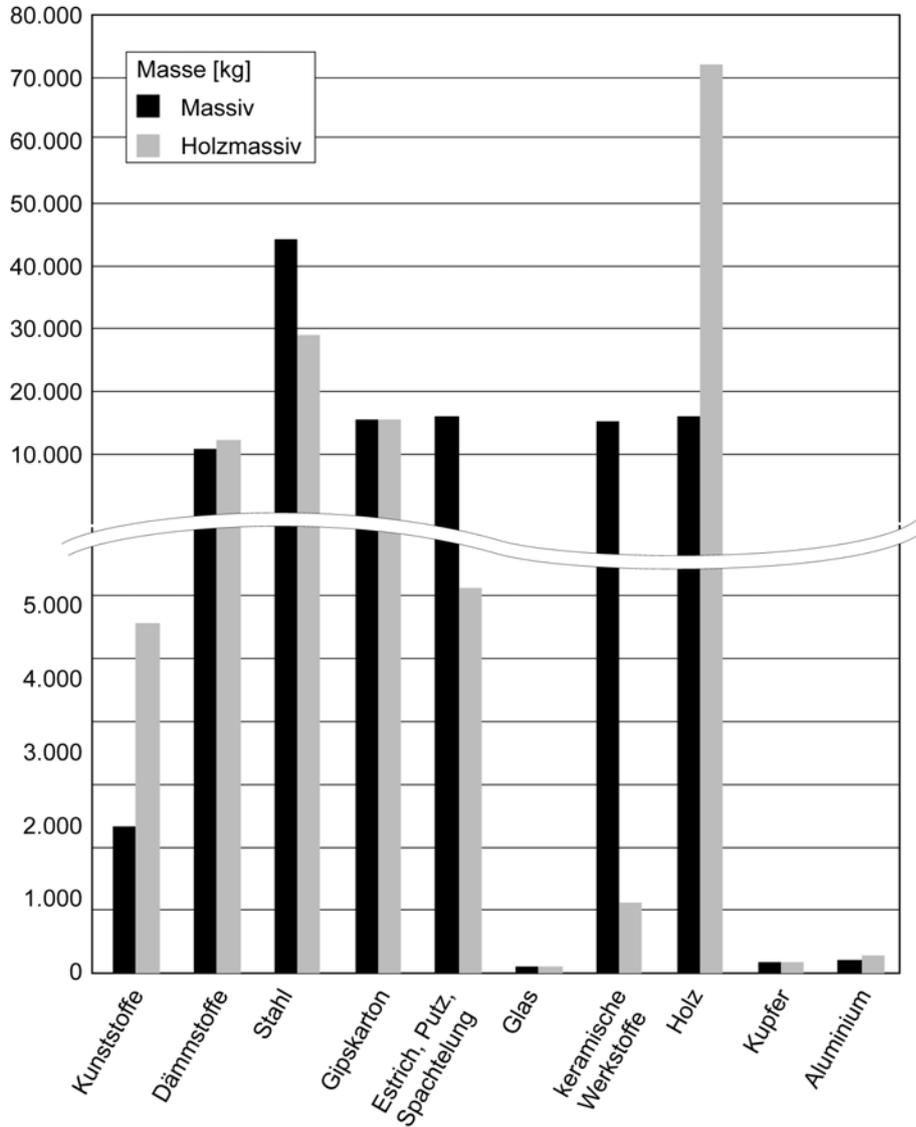
	Material	Masse
Haustechnik	-	kg
Heizung	Stahl	340
	Kupfer	61
	MW	151
Lüftung	Stahl	1940
	Aluminium	186
	MW	630
Wasserver- /Entsorgung	keramische Werkstoffe	964
	Stahl	120
	PE	334
	PP	295
	PVC	2
	Kupfer	11
	MW	371
	Messing	78

Anm.: Eine Erfassung des Materialaufwands von den elektrotechnischen Anlagen wurde wegen fehlender Dokumentation (Massenauszüge und Planunterlagen) nicht durchgeführt.

Tabelle 4-11: Zusammenfassung und Vergleich des Materialaufwands für die Objekte „Massiv“ und „Holzmassiv“

VERGLEICH DES MATERIALAUFWANDS	Massiv	Holzmassiv
Material	Masse [kg]	Masse [kg]
Beton	1.650.051	1.650.051
Kunststoffe	2.031	4.797
Dämmstoffe	10.728	12.105
Stahl	43.500	28.410
Gipskarton	15.300	15.300
Estrich, Putz, Spachtelung	15.812	5.280
Glas	86	86
keramische Werkstoffe	15.004	964
Holz	15.801	70.715
Sand, Kies	99.000	132.696
Kupfer	150	150
Aluminium	186	248

Tabelle 4-12: Vergleich des Materialverbrauchs für die Referenzobjekte in Massiv- und Holzmassivbauweise



4.2 Lebenszykluskonzept: Implementierung des DFR Ansatzes (Fallbeispiel)

Um die Bedeutung des Gebäudepasses und des Ansatzes des DFR (Design for Recycling) zu illustrieren soll an dieser Stelle ein Fallbeispiel erörtert werden. Als Beispiel dient eine Leichtbaufassade die 2009 in Wien an einem Wohnbau realisiert wurde. Alle Daten, die als Berechnungsgrundlage dienten, wurden der TU Wien vom ausführenden Planer (Baum-schlager Eberle ZT) zur Verfügung gestellt. Wenngleich der Gebäudepass in diesem Fall nicht angewandt wurde, wird von der Tatsache ausgegangen, dass die gesamte Information bzgl. Baumaterialien und Art und Weise der Zusammensetzung vorhanden ist, und demnach ein selektiver Rückbau einfach zu realisieren ist. Um die Wichtigkeit der Rezyklierbarkeit dieses Systems hervor zu streichen wird es zwei weiteren Systemen, die die gleiche Funktion erfüllen, gegenübergestellt. Als Indikatoren wurden der kumulierte Energieaufwand (KEA) (VDI 1997), die Menge an ausgestoßenen CO₂-Äquivalenten und die Massenbilanz herangezogen. Es wird gezeigt, dass die Rezyklierung einzelner Materialien von erheblicher Bedeutung ist und teilweise nur so der Einsatz von Metallen in Fassaden gerechtfertigt werden kann.

In diesem Beispiel gelangen zum Vergleich:

1. eine Leichtbaufassade – LBF – mit einer Aluminiumständer Unterkonstruktion
2. eine Betonwand mit konventioneller EPS Dämmung
3. eine Ziegelwand aus 38cm Hochlochziegel, plan geschliffen und verklebt

Als Ausgangsbasis für den Vergleich dient die tatsächlich realisierte LBF. Um einen möglichst validen Vergleich zu erstellen, wurde „1 Fassade“¹ als funktionelle Einheit gewählt. Diese Einheit erlaubt es die Quantifizierung der beiden übrigen Systeme über die Fläche (siehe *Tabelle 4-13*) durchzuführen. Bei der Wahl der Systeme Beton und Ziegel wurde darauf geachtet, dass der Wärmedurchgangskoeffizient gleich jenem der Leichtbaufassade ist. Die U- Werte sind für die Leichtbaufassade 0,36W/m²K, für das System Beton 0,35/m²K und das System Ziegel 0,30 W/m²K. Die alternativen Systeme wurden so gewählt, dass sie mit realen Produkten zu bauen sind und den gleichen oder einen besseren U-Wert² aufweisen. Für die letzten beiden Systeme wird davon ausgegangen, dass die Witterungsschutzschicht aus einem Silikatputz inkl. Putzgrund besteht. Für den detaillierten Aufbau siehe *Tabelle 4-13*. Wie daraus ersichtlich ist, wird bei der Leichtbaufassade keine Spachtelung bzw. Befestigungsmaterialien berücksichtigt. Dies begründet sich zum einen aus dem Umstand, dass

¹ Üblicherweise werden bei LCA Betrachtungen die Daten auf ein Jahr und einem Quadratmeter Wohnfläche ausgewiesen. Dieser Ansatz wurde hier bewusst vermieden, da de facto kein gesamtes Gebäude sondern nur ein Teil davon betrachtet wird.

² EPS Dämmung im Fall des Systems Beton ist in der Dicke nur in 5cm Schritten verfügbar. 15cm wären deutlich zu viel und 5 cm deutlich zu wenig. Hochlochziegel sind in den Stärken 50, 38, 30 und 25 cm erhältlich. Zweiterer lag am nächsten unter dem geforderten U-Wert

diese Materialien nur schwer quantifizierbar sind, zum anderen spielen diese beiden Faktoren für die gewählten Indikatoren kaum eine Rolle (Waltjen 2007, S.162).

Als Datengrundlage dienten (BauGenial 2007; Waltjen 2007; Öko-Institut 2010). Der Energieaufwand der Errichtung selbst wurde nicht betrachtet da keine Daten vorhanden sind und davon ausgegangen werden kann, dass dieser Teil nicht relevant für die Gesamtbilanz ist (Blengini and Di Carlo 2010).

Im Falle des Systems Beton wurde implizit angenommen, dass die außenliegende Dämmung von der Betonwand getrennt werden kann. Da es auf diesem Feld noch sehr wenige Erfahrungswerte gibt, und generell gesagt werden kann, dass die übliche Praxis der Verklebung als problematisch im Sinne der Demontage bzw. des Recyclings zu sehen ist, kann diese Annahme als optimistisch bezeichnet werden. Für die Rezyklierbarkeit der LBF kann die Annahme der generellen Demontage der Fassade auch als optimistisch gewertet werden. Zwar sind die einzelnen Elemente durch Schraubverbindungen verbunden, demnach leicht lösbar, aber dennoch sind die Schrauben zu einem Großteil von Spachtelungen überdeckt und können somit nur schwer gefunden werden. Im Falle der Ziegelwand sind bezüglich der Demontage keine Annahmen zu treffen, da es sich um ein monolithisches Bauwerk handelt.

Demontage bedeutet im Falle der LBF eine tatsächliche, manuelle Zerlegung der Bauteile und für die beiden anderen Systeme eine maschinelle Zerlegung. In einer umfangreichen Bewertung muss diesem Umstand in jedem Fall Rechnung getragen werden. In diesem Fall wird dieser Unterschied jedoch nicht beachtet und des Weiteren wird sowohl im einen wie auch anderen Fall kein Energetischer Aufwand für die Demontage in Rechnung gestellt. Wenngleich dies bzgl. des Ergebnisses eine Unschärfe bedeutet, ist davon auszugehen, dass dieser Aufwand kaum einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Siehe hierzu auch (Sartori 2007).

Tabelle 4-13: Zusammensetzung der Fassadenvarianten LBF, Beton und Ziegel

Leichtbau		Beton		Ziegel	
Lage (innen nach außen)	Dicke [m]	Lage	Dicke [m]	Lage	Dicke [m]
Gipskartonfeuerschutzplatten 2 Lagen	0,025	Betonwand	0,200	Ziegel	0,300
Mineralwolle	0,040	Kleber	0,000	Silikatputz	0,015
Alu - C Profile für GKP		EPS	0,100		
Gipskartonfeuerschutzplatten 2 Lagen	0,025	Dübel			
Dampfsperre	0,000	Armierung	0,000		
Mineralwolle	0,125	Spachtelung	0,005		
Alu-C Profile für GKP		Silikatputz	0,015		
Stahlunterkonstruktion für Fassadenplatten					
Zement- Bauplatte	0,025				
Hinterlüftung	0,030				
Plattenverkleidung (Aluverbund)	0,015				
Wandstärke [m]	0,285		0,320		0,315

Für die metallischen Bestandteile wird jeweils von einem Rezyklierungsfaktor von 95% ausgegangen. Für die Rezyklierung von Gipskartonplatten wurde im Rahmen einer studentischen Arbeit ein Versuch durchgeführt, welcher zum Resultat kam, dass 68%¹ des Gipses wieder in die Produktion rückgeführt werden können. Bzgl. des Energieaufwandes bei der Gipsrezyklierung in der Sekundärproduktion wird mangels Daten davon ausgegangen, dass dieser sich in der gleichen Höhe bewegt wie bei der Verwendung von Primärrohstoffen. Für Beton wurden die Daten aus (Weil, Jeske et al. 2002) übernommen. In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass der Betonabbruch als Zuschlagsstoff in frischem Beton verwendet wird. In der erwähnten Arbeit ist eine maximale Beimengung von 50% ausgewiesen, weshalb auch in der vorliegenden Studie von einem Rezyklinggrad von 50% ausgegangen wird. Bei der Produktion der Zementbauplatten können laut Herstellerangaben 10% wieder in den Kreislauf rückgeführt werden.

Für die restlichen Materialien wird davon ausgegangen, dass eine stoffliche Rezyklierung ohne downcycling (Verwendung in minderwertigeren Produkten) nicht möglich ist. Bei Manchen könnte in weiterer Folge eine energetische Verwertung zur Anwendung kommen, jedoch wird diese zunächst außen vor gelassen und nicht in die Berechnung des 2.Zyklus einbezogen.

¹ Diese Zahl wurde in den Einreichunterlagen zu Phönix 2008 erwähnt. Siehe

http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/dokumente/10939375_10365297/e7626c6e/Ph%C3%B6nix_Einreichung.pdf

4.2.1 Gegenüberstellung des kumulierten Energiebedarfs (KEA) und der CO₂-Äquivalente

Wie in Tabelle 4-14 erkennbar weist die Leichtbaufassade in dieser Betrachtung in jedem Fall einen deutlich höheren Anteil an CO₂-Äquivalenten und Energiebedarf (KEA) aus. Dies ist im Wesentlichen auf den hohen Aluminium Anteil in der Fassade zurückzuführen. Wenn gleich das Aluminium in der LBF nur 5,3% des Gewichtes beträgt, ist es für 54,2% des Energieverbrauches und 55,2% der CO₂-Äquivalente verantwortlich (siehe *Tabelle 4-15*). Aluminium ist in der LBF in drei verschiedenen Lagen zu finden. In Bezug auf Aluminium wird der massenmäßig größte Anteil durch die außen abgehängten, sichtbaren Teile der Fassadenkonstruktion verursacht. Diese besteht zu zwei Drittel aus einem Aluminium Verbundwerkstoff mit mineralischem Kern. Die andere Anwendung von Aluminium in der LBF ist in Form von Aluminiumprofilen, welche als Unterkonstruktion zur Befestigung der Gipskarton- und Zementbauplatten dienen. An zweiter Stelle befindet sich die Mineralwolle, welche als Dämmung in den Zwischenräumen (zwischen den Alu Profilen) verwendet wurde. Diese trägt 19% zum KEA und 14% zu den CO₂-Äquivalenten bei. An dritter Stelle befinden sich die Zementbauplatten, welche die äußere Deckschicht der Leichtbaukonstruktion bildet. Ihre Beiträge errechnen sich zu 13% zum KEA und zu 23% zu den CO₂-Äquivalenten. Danach folgenden die Gipskartonplatten und die Stahlständer. Die restlichen Bauteile wie z.B.: Faserzementplatten, Armierung, Spachtelung, Kleinteile etc. tragen nur kaum zu den beiden Indikatoren KEA und CO₂-Äquivalente bei.

Tabelle 4-14: Hoch aggregierte Ergebnisse der Indikatoren KEA, CO₂ und Masse

Fassaden Typ	Fläche (exkl. Fenster)	KEA	CO ₂ -Äquiv.	Masse	Rezykliert		Deponie
	[m ²]	[TJ]	[t]	[t]	[t]	[%]	[t]
LBF	1429	2,87	274,94	156,3	47,58	30%	109
Beton	1429	1,16	122,80	769,1	384,42	50%	385
Ziegel	1429	0,90	68,56	342,0	0,00	0%	342

Im System Beton gestaltet sich die Betrachtung verhältnismäßig einfacher. So ist der Stahlbeton zu 69% für den Energiebedarf und zu 77% für den CO₂ - Ausstoß verantwortlich. Die Dämmung trägt 22% zum kumulierten Energieaufwand und 7% zu den CO₂-Äquivalenten bei. Die restlichen Materialien tragen nur noch geringfügig zu den beiden Indikatoren bei. Einzig die Armierung auf der Dämmung, welche im Regelfall aus Kunststoff besteht, trägt noch 8% zu den CO₂-Äquivalenten bei. Im Ziegel System trägt, aufgrund des monolithischen Systems, einzig der Ziegel zu beiden Indikatoren bei. Der Silikatputz liefert keinen signifikanten Beitrag zu KEA und nur rund 2% zum CO₂ Indikator.

Werden nur jene Indikatoren betrachtet, ist der Schluss zulässig, dass die Leichtbaufassade einen wesentlich höheren Energieinhalt und deutlich mehr CO₂-Äquivalente verursacht als die beiden anderen Systeme. Jedoch muss auch jener Aspekt betrachtet werden unter dessen Prämisse das erste System gebaut wurde - Design for Recycling. Aufgrund des Um-

standes, dass die Leichtbaufassade zu 100% selektiv rückgebaut werden kann, ist davon auszugehen, dass entscheidende Materialien wieder in den Kreislauf als Sekundärrohstoff rückgeführt werden können. Gerade im Fall des Aluminiums, dem Hauptverursacher der vergleichsweise hohen Werte, ist der Unterschied beträchtlich. Die Erzeugung von Aluminium aus Primärrohstoffen benötigt 189MJ/kg bei der Erzeugung von Aluminium aus Aluminium Schrott reduziert sich dieser Wert zu 25,7MJ/kg. Im Falle von Stahl reduziert sich der Energieaufwand, durch den Einsatz verschiedener Verfahren, in der Primär- bzw. Sekundärproduktion – Blasverfahren respektive Elektroofen – von 22,8 MJ/kg zu 7,22 MJ/kg. Für Beton muss ein höherer Energieaufwand in der Sekundärproduktion als in der Primärproduktion angesetzt werden. Dies lässt sich auf den Umstand zurückführen, dass beim Einsatz von Betonbruch in frischem Beton ein erhöhter Anteil von Zement verwendet werden muss. Für die restlichen Materialien wurde angenommen, mangels Daten, dass sich der Energieaufwand in der Sekundärproduktion gleich verhält wie in der Primärproduktion.

Tabelle 4-15: Auflistung der Bauteile in den Zyklen eins und zwei mit den wichtigsten Indikatoren

Fassaden Typ	Bestandteile	1. Zyklus					Rezykling-grad	Aufwand Sekundär- produktion	2. Zyklus	
		KEA		CO ₂ - Äquiv.		Masse			KEA	
		[TJ]	[%]	[t]	[%]	[t]			[TJ]	[%]
Leichtbaufassade	Aluminium	1,56	54	152,26	55	8,2	95	0,0257	1,63	39
	Mineralwolle	0,55	19	38,50	14	23,5	0		1,09	26
	Zementbauplatte	0,37	13	62,91	23	59,7	10	0,00	0,70	17
	Gipskartonplatten	0,18	6	1,93	1	42,9	68	4,30	0,37	9
	Stahl	0,12	4	9,43	3	5,1	90	7,22	0,16	4
	Rest	0,10	4	9,91	4	16,9	0		0,20	5
	Summe	2,87	100	274,94	100	156,3			4,16	100
Beton	Beton	0,43	37	71,45	58	714,5	50	0,72	0,90	41
	Stahl	0,37	32	22,87	19	28,6	95	7,22	0,59	26
	Dämmung	0,25	22	8,62	7	2,6	0		0,51	23
	Rest	0,11	9	19,86	16	23,5	0		0,22	10
	Summe	1,16	100	122,80	100	769,1			2,21	100
Ziegel	Ziegel	0,90	100	65,99	96	336,7	0		1,80	100
	Rest	0,00	0	2,57	4	5,4	0		0,00	0
	Summe	0,90	100	68,56	100	342,0			1,80	100

In Tabelle 4-15 sind die quantitativen Auswirkungen der Rezyklierung dargestellt. Im zweiten Zyklus ist berücksichtigt, wie sich zum einen der potentielle Rezyklierungsgrad der Baustoffe und zum anderen der reduzierte Aufwand der erneuten Produktion durch die Verwendung von Sekundärrohstoffen auf die Energiebilanz niederschlägt. Wenngleich einzelne Teile der LBF einen sehr hohen Grad der Rezyklierung aufweisen werden in Summe nur 30,4% der eingesetzten Masse rezykliert. Das Ergebnis zum kumulierten Energieaufwand liefert folgendes Bild. Das Verhältnis des Energieaufwandes beläuft sich für die Reihenfolge Ziegel:Beton:LBF im ersten Zyklus zu 1:1,3:3,2 und im zweiten Zyklus zu 1:1,2:2,3. Wenngleich sich die Leichtbaufassade durch die Rezyklierung der eingesetzten Materialien verbessert, so liefern die Indikatoren dennoch deutlich höhere Werte. Selbst die Berücksichtigung des 2. Lebenszyklus lässt für diese Indikatoren keine positive Beurteilung zu. Durch die Erhöhung des kumulierten Energieaufwandes der LBF in jedem Zyklus um 1,31TJ und der Tatsache, dass der KEA für die beiden anderen Systeme bereits im ersten Zyklus geringer ist als der Aufwand der LBF im zweiten Zyklus, würden selbst bei einer unendlichen Kreislaufführung die Werte des KEA stets höher bleiben. Bei der Gegenüberstellung der CO₂-Äquivalente zeigt sich ein ähnliches Bild. Die LBF weist bei dem Indikator CO₂-Äquivalente die höchsten Werte auf gefolgt von jenen des Systems Beton und des Systems Ziegel.

4.2.2 Gegenüberstellung Relevanz des Energieinhaltes der Fassade vs. Lebenszyklus des Gebäudes

Tabelle 4-16: Abschätzung KEA für relevante Gebäudeteile

	Masse [t]	KEA [MJ/t]	[TJ]
Energieaufwand Skelett (ohne Keller)			
Beton	2560,22		1,54
Stahl	106,68		2,43
Innenausbau			
Aluminium	4,20	189.000	0,79
Gipskartonplatte	62,53	4.300	0,27
Dämmung innen	4,49	49.800	0,22
E-Strich	334,30	880	0,29
Trittschalldämmung	1,47	98.500	0,14
Bodenbeläge			
70% Holzparkett	21,65	18.670	0,40
30% Fliesen	10,03	13.900	0,14
Fensterfläche		Fläche [m²]	KEA [MJ/m²]
Best Case Fenster	1429,00	798	1,14
Betrieb			
Heizenergie			29,60
Strom			54,00
Summe Exkl. Fassade			90,98
		Anteil Fassade	
		[%]	[TJ]
LBF		3,16%	2,87
Beton		1,28%	1,16
Ziegel		1,04%	0,90

Wenngleich die LBF aus energetischer Sicht deutlich schlechtere Ergebnisse liefert als die beiden anderen Systeme, ist die Bedeutung des Energieaufwands und der CO₂ Äquivalente sehr stark von der Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes, über den Lebenszyklus betrachtet, abhängig. Ein erster Überblick zu dieser Thematik ist in (Sartori 2007) zu finden. Laut Energieausweis benötigt das Wohngebäude einen Heizwärmebedarf von 49,1KWh/m²a. Für die weiteren Berechnungen wird eine Lebensdauer von 50 Jahren angenommen. Die zu beheizende Fläche beläuft sich auf 3.343m². Daraus ergibt sich ein Heizwärmebedarf über den Lebenszyklus von 29TJ. Der kumulierte Energieaufwand der LBF würde sich demnach auf rund 10% des Heizwärmebedarfs belaufen.

Die bisher berücksichtigten Komponenten des Gebäudes beinhalten jedoch nicht alle Materialien und Anlagen. Für eine detaillierte Auswertung sind keine ausreichenden Daten vorhanden. Bei der vorherrschenden Datenlage kann davon ausgegangen werden, dass der Anteil der Fassade am KEA des gesamten Gebäudes als obere Grenze zu sehen ist. In Tabelle 4-16 wurde eine überschlägige Erfassung des Skelettbaues, der Trockenbauwände

und der Fußbodenaufbauten durchgeführt. Der KEA dieser Komponenten beläuft sich auf ca. 6,0TJ. Fensterflächen liefern je nach Ausführung einen Beitrag von 1,14TJ bis 2,0 TJ. Wird für den Strombedarf eine konservative Schätzung¹ durchgeführt, können für diesen ca. 54 TJ in Rechnung gestellt werden. Werden der Energieaufwand für Heizwärme, Strom und die oben angeführten Abschätzungen addiert, beläuft sich die Summe auf ca. 90TJ. Mit dieser überschlägigen Abschätzung des Energiebedarfes kann gezeigt werden, dass der Anteil der Fassade, welches System auch gewählt wird, in Bezug auf den kumulierten Energieaufwand dieses Gebäudes, keinen sehr großen Einfluss hat. Je nach System würde sich der Anteil zwischen (90,98TJ=100% = Summe exkl. Fassade) 1 und 3% belaufen.

4.2.3 Schonung der Primärressourcen und des Deponieraumes

Allein aus Sicht der Massen² und der Volumina ist die LBF die zu favorisierende Variante. Wie aus Tabelle 4-14 ersichtlich ist, werden zum Bau der LBF Massen im Umfang von 155t bewegt. Die beiden anderen Systeme sind um ein vielfaches schwerer. Gegenüber dem System Ziegel ist die LBF um den Faktor 2,2 und gegenüber dem System Beton um den Faktor 4,9 leichter. Diese Faktoren haben direkten Einfluss auf die Umweltbelastung durch Transport und am Ende des Lebenszyklus auf die Schonung des Deponievolumens. Die Umweltbelastung durch den Transport fällt erwartungsgemäß für das System Beton am schlechtesten aus. Unter der Annahme der mittleren Transportweite im System Beton und Ziegel von 50km und bei der LBF von 100km belaufen sich die CO₂-Äquivalente auf 5,6t(Beton), 1,6t(Ziegel) und 1,4t(LBF) Dieses Ergebnis hebt die Auswirkung der hohen zu transportierenden Massen und den daraus resultierenden Umweltauswirkungen hervor. Die LBF schneidet diesbezüglich wesentlich besser ab. Es muss jedoch festgehalten werden, dass der Transport im Falle des Systems Beton nur 4,55% der CO₂-Äquivalente der Produktion der Materialien beträgt.

Obwohl im System Beton der Rezyklinggrad deutlich höher ist, müssen im Falle der LBF die geringsten Massen deponiert werden. Dieser Umstand wird logischerweise durch den hohen Unterschied der eingesetzten Primärmassen verursacht. Wie in Tabelle 4-14 zu sehen ist müssen im Falle der LBF ca. 100t einer Deponierung zugeführt werden. In den beiden anderen Systemen müssen wesentlich höhere Volumina bzw. Massen deponiert werden. Bei der Betrachtung mehrerer Lebenszyklen verbessert sich die Situation immer deutlicher zugunsten der LBF.

¹ Es wurde angenommen, dass in dem gesamten Wohngebäude 100Personen leben. Pro Person wurde ein durchschnittlicher Stromverbrauch von 3000kWh/a angenommen. Zusammen mit den restlichen Annahmen errechnet sich der Strombedarf = $54 [TJ] = 100 [Pers] \cdot 3000 \left[\frac{kWh}{Pers \cdot a} \right] \cdot 30 [a] \cdot 3,6 \left[\frac{kWh}{MJ} \right] \cdot 10^{-6} \left[\frac{MJ}{TJ} \right]$

² In diesem Fall wurden nur jene Massenströme betrachtet welche in der Fassade zum Einsatz kamen. Eine genauere Betrachtung, welche die versteckten Ströme berücksichtigt, könnte zu einem anderen Ergebnis führen.

4.2.4 Design for Recycling - Optimierungspotential

Durch die Massen und Energiebetrachtung lassen sich bei der LBF in Bezug auf eine Lebenszyklusbetrachtung Optimierungsmaßnahmen durchführen. Werden die Recyclinggrade einzelner Materialien betrachtet, so sind diese im Einzelnen sehr hoch, aber im gesamten lässt sich die LBF nur zu ca. 30Masse% rezyklieren. Entscheidende Faktoren sind hier die Zementbauplatten und die Mineralwolle. Da bei der Zementbauplatte im heutigen Produktionsprozess nur 10% rückgeführt werden können, muss danach getrachtet werden, diesen Wert auf ein Maximum zu erhöhen. Unter Umständen ist es vielleicht möglich eine andere Verwertung, die eine Kreislaufführung erlaubt, zu finden. Die eingesetzte Mineralwolle müsste durch einen anderen Baustoff (z.B.: EPS Dämmung) ersetzt werden. Diese lässt sich weder energetisch noch stofflich verwerten und wird zu 100% deponiert.

Tabelle 4-17: Auswirkung der Optimierungsmaßnahmen

	Bestandteile	1.Zyklus			Rezykling-grad [%]	2.Zyklus	
		Masse	KEA	CO2		KEA	CO2
		[TJ]	[TJ]	[t]		[TJ]	[t]
Leichtbaufassade	Aluminium-Ständer	3,43	0,65	63,53	95%	0,77	72,41
	Aluminium-Fassade	4,90	0,91	88,73	95%	1,07	101,14
	Mineralwolle	23,48	0,55	38,50	0%	1,09	76,99
	Zementbauplatte	59,66	0,37	62,91	10%	0,73	125,82
	Gipskartonplatten	42,91	0,18	1,93	68%	0,37	4,01
	Stahl	5,12	0,12	9,43	95%	0,16	12,47
	Faserzementplatte	7,94	0,08	9,45	95%	0,09	9,93
	Rest	8,92	0,02	0,46	0%	0,04	0,91
	Summe (alt)	156,27	2,87	274,94	-	4,31	403,69
	Brettschichtholz	6,23	0,05	-7,84	0%	0,10	-15,69
	Sägeholz	2,41	0,01	-3,47	0%	0,02	-6,93
	Dämmung EPS	3,25	0,32	11,83	0%	0,64	23,67
	Gipskartonplatten	36,54	0,16	1,64	68%	0,31	3,41
	Faserzementplatte	22,02	0,23	26,21	95%	0,24	27,52
LBF (neu)	135,36	1,17	49,65		1,97	59,30	
Andere	Beton	769,14	1,16	122,80	50%	2,21	252,94
	Ziegel	342,05	0,90	68,56	0%	1,80	137,13

Wird versucht die LBF aus energetischer Sicht zu optimieren, so muss der Anteil des Aluminiums reduziert werden. Die Mineralwolle und die Zementbauplatten, insbesondere die darin verwendeten Zuschlagsstoffe, verursachen einen sehr hohen Energieaufwand. Die Mineralwolle könnte durch EPS Dämmung ersetzt werden, welche zum einen, einen reduzierten Energieaufwand im ersten Zyklus bedeutet und zum anderen am Ende des Lebenszyklus thermisch verwertet werden kann. Die Zementbauplatten könnten, unter entsprechenden konstruktiven Veränderungen, durch Gipskartonplatten ersetzt werden. Wie in *Tabelle 4-13* zu sehen ist, wird Aluminium in drei Schichten eingesetzt. Zum einen in der Vorsatzschale außen und zum andern als Unterkonstruktion in der eigentlichen Wand. Die verwendeten Profile in der Unterkonstruktion könnten beispielsweise durch Brettschichthölzer mit den Abmessungen 12,5cm*5cm (Hauptkonstruktion) bzw. 5cm*3cm (Vorsatzschale innen) ersetzt

werden. Des Weiteren könnte überlegt werden, ob die sichtbaren Fassadenteile, welche mit einer Aluminiumdeckschicht versehen sind, durch andere, weniger energieintensive Materialien, ersetzt werden können. Die ebenfalls eingesetzten Faserzementplatten weisen, bezogen auf 1 m^2 Fassade, nur ein Viertel des Energieaufwandes auf. Werden diese Optimierungsmaßnahmen durchgeführt, siehe Tabelle 4-17, reduziert sich der kumulierte Energieaufwand der Fassade von 2,87TJ auf 1,17TJ. Diese Einsparungen entsprechen in etwa dem Heizenergiebedarf für das gesamte Gebäude von drei Jahren. Durch diese Maßnahmen kann die LBF neben dem Indikator verbaute Masse auch bei den Indikatoren KEA und CO_2 -Äquivalente bessere Werte erreichen. Wie aus Tabelle 4-17 ersichtlich ist, erzielt die LBF nun auch bei den Faktoren KEA und CO_2 -Äquivalente ähnliche Werte als die beiden anderen Systeme. Bei den CO_2 -Äquivalenten werden nach den Optimierungsmaßnahmen bereits im 1. Zyklus niedrigere Werte erreicht. Im Bezug auf den KEA kann unter der Berücksichtigung der Rezyklierung, die LBF im zweiten Zyklus niedrigerer Werte als das System Beton und im vierten Zyklus niedrigere Werte als das System Ziegel erreichen.

5 Schlussfolgerungen

Um erfolgreich das Konzept eines Gebäudepasses umsetzen zu können, ist das Vorhandensein ausführlicher Daten über die materielle Zusammensetzung des Gebäudes unumgänglich. Im Moment erfolgt die Planung eines Gebäudes überwiegend durch den klassischen Planungsprozess, der jedoch keine vollständige Dokumentation der materiellen Information erlaubt, da die Informationen der einzelnen Akteure nicht zusammengeführt werden. Effektiver wäre die Anwendung der integralen Planung, bei der Informationen der einzelnen Ausführungseinheiten (Bauherr, Planer, Bauunternehmen etc.) zusammengeführt werden und so ausreichend dokumentiert sind.

Die integrale Planung stellt also einen zentralen Punkt für die Anwendung eines Gebäudepasses dar. Aber selbst bei gewissenhafter Dokumentationen aller Beteiligten sind Unsicherheiten möglich. Diese ergeben sich aus den unterschiedlichen Standards in den zur Verfügung stehenden elektronischen Tools. Das internationale Standardformat, IFC beschreibt digitale Gebäudemodelle durch einzelne Objekte. Dieses Format weicht jedoch von diversen Softwareanwendungen zur Gebäudemodellierung (BIM), wie sie von Architekten und Herstellern verwendet werden, ab. Hinzu kommt, dass sich die Darstellungsmöglichkeiten der einzelnen BIM Anwendungen ebenfalls unterscheiden. Als Folge kann es bei der Übertragung von Daten von einem Format ins andere zu Fehlern und somit zu Unsicherheiten kommen. Diese Fehlerquelle könnte man allerdings durch eine Vereinheitlichung der Standard beheben.

Aus dem Wissen über vorhandene Konzepte der Datensammlung wurde der Gebäudepass abgeleitet. Dieser ermöglicht eine quantitative und qualitative Analyse der eingesetzten Materialien. Hierfür wird das Gebäude in mehrere Ebenen bzw. Bereiche unterteilt, wobei jede Ebene durch die nachfolgende Ebene genauer beschrieben wird. Nach dem das Bauwerk in Bezug auf die Bereiche, Unterbereiche und Bauelemente betrachtet wurde, werden die in den Bauelementen erfassten Materialien beschrieben. Auf diese Art kann man den vollständigen Materialeinsatz erfassen. Um mit Hilfe des Gebäudepasses eine Steigerung des Recyclings von Baustoffen zu erzielen, ist es jedoch notwendig, bereits beim Einbau des Baustoffes auf dessen Trennbarkeit und Rezyklierbarkeit zu achten.

Zur Veranschaulichung der Bedeutung des Designs for Recycling, auch auf den Lebenszyklus wurden bestimmte Indikatoren geprüft. Durch den Vergleich der Leichtbaufassade mit einer Fassade aus Beton bzw. Ziegel wird deutlich, dass unter den getroffenen Annahmen und den herrschenden Rahmenbedingungen die LBF in zwei von drei Indikatoren den herkömmlichen Systemen unterlegen ist. Selbst unter der Prämisse der Rezyklierung kann sich die LBF nicht durchsetzen. Jedoch konnten durch die detaillierte Betrachtung einige Optimierungspotentiale identifiziert werden. Kämen diese Maßnahmen zur Anwendung, würde die LBF deutlich bessere Ergebnisse liefern und könnte unter Betrachtung mehrerer Zyklen in allen Indikatoren die niedrigsten Werte erreichen. Dies verdeutlicht insbesondere, dass diese Betrachtungen bereits in der Planungsphase durchgeführt werden müssen. Die Anwendung

des Gebäudepasses kann hierbei eine entscheidende Hilfestellung sein. Durch die gesammelte Information der konstruktiven und stofflichen Zusammensetzung der Fassade bzw. des gesamten Gebäudes, lassen sich jene Indikatoren um ein vielfaches schneller und genauer auswerten. Dadurch können in Hinblick auf gewählte Indikatoren bessere Lösungen entwickelt werden.

6 Literatur

Eastman, Ch., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K.(2008): BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Constructors. John Wiley & Sons, Inc.

Elvin, G.: Integrated practice in Architecture (2007): Mastering Design-Build, Fast-Track, and Building Information Modeling, John Wiley & Sons, Inc.

Howard, R., Björk, B.-Ch.(2008): Building information modeling – Experts' views on standardisation and industry deployment; Advanced Engineering Informatics, Advanced Engineering Informatics Vol. **22**, 271-282

Jeong, Y.-S., Eastman, C.M., Sacks, R., Kaner, I.(2008): Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete; Automation and Construction Vol. **18**, 469-484

Kymmel, W.: Building Information Modeling (2008): Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulation. McGraw Hill Construction

Blengini, G. A. and T. Di Carlo (2010): "The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings." Energy and Buildings **42**(6): 869-880.

Öko-Institut (2010): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Uwe R. Fritsche Klaus Schmidt.

Sartori, I. and A. G. Hestnes (2007): "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article." Energy and Buildings **39**(3): 249-257.

VDI (1997): Cumulative energy demand - Terms, definitions, methods of calculation. VDI Guidelines - 4600.

Waltjen, T. (2007): Passivhaus Bauteilkatalog. IBO- Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie. SpringerWienNewYork.

Weil, M., U. Jeske, et al. (2002): "Stoffstromanalyse und Ökobilanz als Hilfen zur umweltorientierten Positionsbestimmung von Beton mit und ohne rezykliertem Zuschlag im mineralischen Baustoffstrom." Technologiefolgenabschätzung 1(11): 14.

Internetquellen:

BauGenial (2007): Schwerpunkt Nachhaltigkeit - Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus, BauGenial. Online: <http://www.baugenial.at/publikationen.php>

www.buildingsmart.de; abgerufen am 15.11.2010

7 Anhang