

Building Information Modeling (BIM) als Basis für den Umgang mit digitalen Informationen zur Optimierung von Stoffkreisläufen im Bauwesen

BIM – Prozesse - Stoffkreislauf

Dipl.-Ing. Holger Kesting ^{1,2}, Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus ¹, Dr.-Ing. Anica Meins-Becker ¹, Prof. Dr.-Ing. Steffen Anders ²,

¹Bergische Universität Wuppertal, Baubetrieb und Bauwirtschaft, Wuppertal

²Bergische Universität Wuppertal, Wertstoffe im Bauwesen, Wuppertal

Kurzfassung

In dem Forschungsprojekt „BIM – Prozesse – Stoffkreislauf“, gefördert durch die „Deutsche Bundesstiftung Umwelt“, werden zwei Lebenszyklen betrachtet. Einerseits der Lebenszyklus des Baustoffes mit den Phasen „Herstellung, Verarbeitung, Rückbau und Aufbereitung bzw. Entsorgung“ und andererseits der Bauwerkslebenszyklus mit den im Hinblick auf die Baustoffe wichtigen Phasen der „Bauausführung und des Rückbaus“.

Durch die Betrachtung beider Lebenszyklen aus Sicht der Prozesse und des Informationsflusses werden alle relevanten Informationen der wichtigsten Konstruktions- und Massenbaustoffe analysiert und modelliert. Die Fragestellung: „Wer braucht welche Information? Von wem? Wann und wofür?“ definiert das erforderliche Datenprofil, in diesem Fall für einen Um- oder Rückbau bzw. das Baustoffrecycling. Dem gegenüber steht das vorhandene Datenprofil, das sich für Neubaumaßnahmen vor allem aus verpflichtenden Unterlagen zur Qualitätssicherung wie z. B. Leistungserklärungen, Verwendbarkeitsnachweisen oder Sicherheitsdatenblättern ergibt. Diese Prozesse und Anforderungen an die baustoffspezifischen Informationen werden in tieferer Detaillierung aus den jeweiligen Blickwinkeln eines Abbruch- und Recyclingunternehmens sowie aus Baustoffsicht betrachtet, standardisiert und idealtypisch abgebildet.

Durch das Überlagern der Prozesse aus den unterschiedlichen Phasen der beiden Lebenszyklen werden die entstehenden Anforderungen an ein notwendiges Datenprofil für Baustoffe herausgearbeitet. Im Kern wird untersucht, inwieweit sich die Prozesse durch Nutzung der Methode BIM standardisieren und Stoffkreisläufe optimieren lassen. Ein Nebeneffekt dieser Standardisierung kann eine Verbesserung und Vereinfachung der verpflichtenden Qualitätssicherung im Rahmen der Bauausführung sein. Dabei liegt der Fokus auf dem Informationsfluss, d. h. der Bereitstellung benötigter Informationen aus vorangegangenen Prozessen.

In diesem Beitrag werden die skizzierten Methoden zum Abgleich notwendiger Datenprofile im Um- und Rückbau mit den vorhandenen Datenprofilen aus der Bauausführung exemplarisch am Aufbruch von Stahlbeton und Mauerwerk z. B. als Wiederverwendung als recycelte (RC-)Gesteinskörnung diskutiert.

Dieses Projekt dient dazu, mit Hilfe der Methode BIM einen möglichst hohen Baustoffanteil, nach Möglichkeit sortenrein, wieder in den Stoffkreislauf zurückzuführen. Hierbei wird das Ziel verfolgt, ein Recycling auf möglichst hoher Qualitätsstufe zu erreichen.

1. Inhalt

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Thematik, wie sich Stoffkreisläufe im Bauwesen mit der Anwendung der BIM-Methode (Building Information Modeling) optimieren lassen. Hierbei besteht der

neue Aspekt darin, dass die Lebenszyklusphasen der Baustoffe und die Bauwerkslebenszyklusphasen gemeinsam betrachtet werden. Durch den Vergleich und eine Überlagerung der Informationen aus beiden Lebenszyklen können einheitliche Standards (digitale Datenprofile der Baustoffe) entwickelt werden, die für die Anwendung der BIM-Methode sinnvoll und notwendig sind.

Zunächst wird eine kurze Einführung in das Thema „Digitalisierung der Bauwirtschaft“ gegeben und die Methode „Building Information Modeling (BIM)“ erläutert. Für die Digitalisierung der Informationen und Anwendung der BIM-Methode sind die Definitionen von „Prozessen“ und „Lebenszyklen“ notwendig, die im Anschluss erläutert und behandelt werden.

Neben der Betrachtung der BIM-Methodik ist es auch notwendig die in Europa und Deutschland zur Qualitätssicherung notwendige Dokumentation der verwendeten Bauprodukte hin zur Optimierung der Stoffkreisläufe zu analysieren. Die wichtigsten Verordnungen und Normen werden in dem Abschnitt „Bauprodukte“ erläutert. Am Beispiel der Verwendung von Abbruchmaterial aus Beton und Kalksandsteinmauerwerk wird zum Abschluss diskutiert, welche Datenprofile und Informationen für den Um- und Rückbau notwendig sind, um das Abbruchmaterial als RC-Gesteinskörnung in Beton wieder verwenden zu können.

2. Digitalisierung der Bauwirtschaft

2.1 Einleitung

Das Thema Digitalisierung sowie die Schonung natürlicher Ressourcen hat in Deutschland einen hohen Stellenwert. Abbildung 1 zeigt den Stand des Digitalisierungsgrades im Branchenvergleich im Jahre 2014. Für diese Untersuchung ist ein Digitalisierungsindex entwickelt worden, der analysiert, inwieweit ein Unternehmen seine Strategien, Angebote an Kunden und internen Prozesse digitalisiert hat. Hierbei bedeutet „Eins“ „größtenteils digitalisiert“, „zwei“ „teilweise“, „drei“ wenig“ und „vier“ leitet sich zu „ansatzweise digitalisiert“ ab. Als Grundlage der Befragung dienten die 500 größten Konzerne in Deutschland. Hierbei ist zu erkennen, dass sich die Bau- und Immobilienwirtschaft mit einem Digitalisierungsgrad von 3,33 weit hinter der Branche der Automobilhersteller liegt, die einen Digitalisierungsgrad von 2,05 aufweist. Er liegt auch deutlich hinter dem branchenübergreifenden Mittelwert von 2,80.

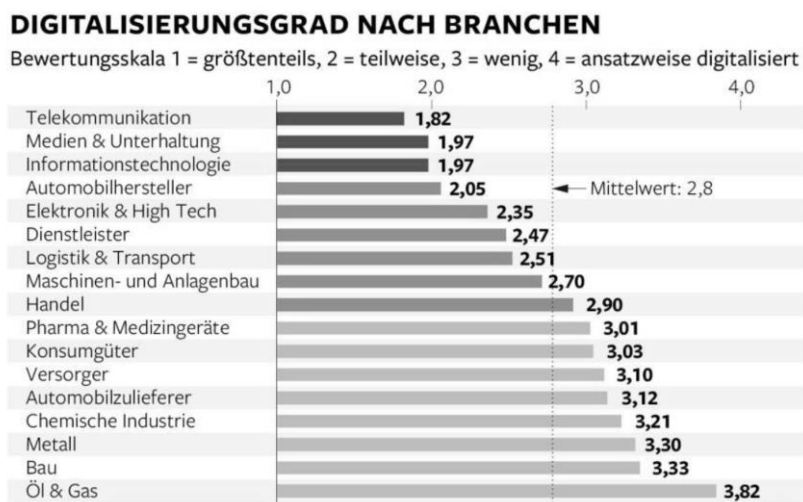


Abbildung 1: Digitalisierungsgrad nach Branchen [1]

Im Zusammenhang mit der Schonung von Ressourcen befasst sich eine Initiative der Baustoffindustrie, der Bauwirtschaft und der Entsorgungswirtschaft (Kreislaufwirtschaft Bau) mit der Förderung von geschlossenen Stoffkreisläufen [2]. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf mineralischen Bauabfällen. Die Mitglieder der Initiative sind gegenüber der Bundesregierung die Selbstverpflichtung

eingegangen, die Menge „mineralischer Bauabfälle mit Verwertungspotential“ weiter zu steigern und nicht zu deponieren.

Aus der Abbildung 2 kann entnommen werden, dass im Jahr 2014 rund 202 Mio. t mineralische Bauabfälle angefallen sind. Die erfassten Mengen unterteilen sich in die Fraktionen Boden und Steine, Bauschutt, Straßenaufbruch, Baustellenabfälle und Bauabfälle auf Gipsbasis. Der Anteil Boden und Steine stellt mit 118,5 Mio. t (58,7 %) die mit Abstand größte Fraktion dar. Der zweitgrößte Anteil besteht aus Bauschutt (54,6 Mio. t) mit 27,0 %. Die weiteren Fraktionen nehmen nur noch einen untergeordneten Anteil, gemessen an den beiden vorgenannten Fraktionen, ein.

Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle 2014
(in Mio. t)

Anfall insgesamt: 202,0 Mio. t

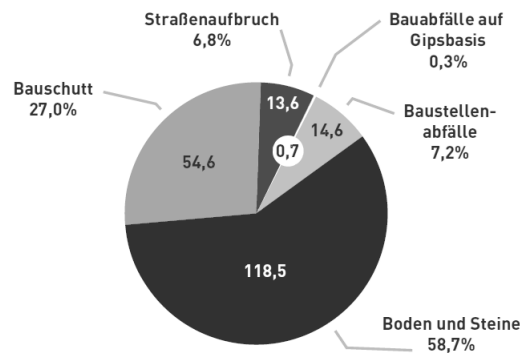


Abbildung 2: Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle 2014 [3]

Von den 54,6 Mio. t Bauschutt die 2014 angefallen sind, wurden 93,8 % wiederverwertet. Abbildung 3 kann entnommen werden, dass 77,8 % (42,5 Mio. t) recycelt wurden und lediglich 16 % (8,7 Mio. t) einer sonstigen Verwertung (Verfüllungen von Abgrabungen, etc.) zugeführt wurden. Die restlichen 6,2 % (3,4 Mio. t) wurden auf Deponien beseitigt.

Anfall und Verbleib der Fraktion Bauschutt 2014 (in Mio. t)

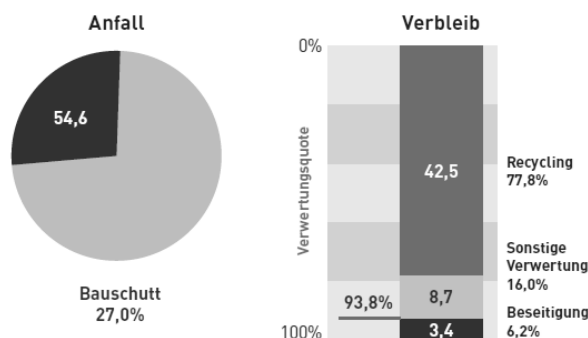


Abbildung 3: Anfall und Verbleib der Fraktion Bauschutt 2014 [4]

Werden die Jahre von 1996 bis 2014 betrachtet, so sind auf Grundlage der gesamten Monitoringberichte der Initiative Kreislaufwirtschaft Bau, im Durchschnitt 205,3 Mio. t mineralische Bauabfälle angefallen [5]. Hierbei sind industrielle Nebenprodukte wie Aschen oder Schlacken nicht enthalten. Der Anteil Bauschutt, einschließlich Bauabfällen auf Gipsbasis, beläuft sich auf 55,1 Mio. t, dies entspricht einem durchschnittlichen Anteil von 26,8 %. Hieraus ist ersichtlich, dass das Aufkommen der Fraktion Bauschutt aus dem Jahr 2014 dem Mittelwert der letzten 20 Jahre entspricht.

Die Digitalisierung der Wirtschaft schreitet seit einigen Jahren in Deutschland voran. Angefangen mit den ersten zweidimensionalen CAD-Anwendungen (2D computer-aided design), über die Erweiterung

zum dreidimensionalen (3D) Zeichnen bis hin zu den heute verfügbaren 3D Bauwerksdatenmodellen. In den vergangenen Jahren kristallisierte sich heraus, dass die Digitalisierung der Daten in der Baubranche im Wesentlichen durch den Einsatz der Methode BIM vorangetrieben wurde. Aktuell wird bei der Anwendung der BIM-Methoden die Planung innerhalb des Lebenszyklus von Bauwerken fokussiert. Die Phasen des Abbruchs und des Bauproduktes blieben bislang weitestgehend unberücksichtigt. Dabei kann die Methode BIM über den gesamten Lebenszyklus hinweg zur Optimierung von Stoffströmen herangezogen werden. Hierdurch können Recyclingprozesse ebenso wie Sanierungen, mit den zur Verfügung stehenden Informationen, deutlich vereinfacht umgesetzt werden.

2.2 Building Information Modeling (BIM)

Die Arbeitsmethode Building Information Modeling setzt sich mit drei wesentlichen Kernpunkten der Bauwelt auseinander: dem Bauwerk bzw. Liegenschaft (Building), den Informationen (Information) und dem Managen/Modellieren (Modeling). Das Wort „Information“ steht für das benötigte Wissen, auf das die beteiligten Akteure angewiesen sind, um die zu erfüllende Aufgabe zu lösen. Mit dem dritten Ausdruck „Modeling“, ist das Modellieren und Managen, die Vernetzung der Informationen untereinander zu verstehen. Mitunter wird hier oftmals ausschließlich das 3D-Gebäudedatenmodell bedacht, welches aber nur einen Teil des Begriffes „Modeling“ abdeckt.

Die Methode BIM kann aber auch als Basis für den Umgang mit digitalen Informationen zur Optimierung von Stoffkreisläufen herangezogen werden. An die Stelle des Begriffs Bauwerk kann der Begriff „Bauprodukt“ gesetzt werden. Die Begriffe Information und Modeling behalten ihre zuvor genannten Eigenschaften bei. Im Wesentlichen geht es um die Informationsmodellierung rund um ein definiertes Bauprodukt.

„Building Information Modeling bedeutet: Die Integration und Vernetzung aller relevanten Daten eines Bauwerks in einem virtuellen Datenmodell während des gesamten Lebenszyklus, also von der Konzeption, Planung und Realisierung bis zur Nutzung und zum Rückbau.“[6]

Um die relevanten Daten und Informationen für die Anwendung der BIM-Methode zusammenzutragen zu können ist es unerlässlich zunächst übergeordnete Prozesse zu beschreiben. Prozesse sind kompakte Beschreibungen eines Ablaufs vom Anfang bis zum Ende, die im Weiteren durch einzelne Arbeitsschritte näher beschrieben werden.

2.3 Prozesse

Für die Digitalisierung der Informationen rund um die Liegenschaft im gesamten Bauprozess bedarf es der vorherigen Aufbereitung und Darstellung bzw. Visualisierung von diesen. Die Darstellung und Zurverfügungstellung von Informationen erfolgt über die Modellierung von Prozessen. Hier wird zwischen verschiedenen Prozessbetrachtungen – Blickwinkeln, unterschieden. [7]

Unterschieden wird zwischen strategischen und operativen Prozessmodellen. Unter einem strategischen Prozessmodell wird die kompakte Beschreibung eines Ablaufs vom Anfang bis zum Ende verstanden, unter dem operativen Prozessmodell die Abbildung von Prozessflüssen. Diese dienen den Beteiligten als Orientierung und Hilfestellung bei der täglichen Arbeit. Weiterhin bilden sie die Grundlage für Prozessanalysen und können als Ausgangspunkt für die technische Prozessumsetzung dienen.

Bei dem Prozessfluss wird zwischen dem fachlichen und dem technischen Prozessfluss unterschieden. Der fachliche Prozessfluss beschreibt die Tätigkeit auf einer rein fachlichen Ebene, unabhängig von den zur Verfügung stehenden technischen bzw. nicht-technischen Hilfsmitteln. Der fachliche Prozessfluss beschränkt sich zumeist auf die von Menschen durchgeführten Schritte, wie zum Beispiel die Erstellung eines Angebotes, die hierzu gehörende Mengenermittlung, etc. Der fachliche Prozess bleibt an sich auch im Zuge der weiteren Digitalisierung unverändert. Der technische Prozessfluss beschreibt die zu übernehmende Tätigkeit von Maschinen als Ergänzung zu dem fachlichen Prozessfluss. Hierzu wird die Digitalisierung der Branche weiterhin ihren Beitrag leisten und unterstützend eingreifen.

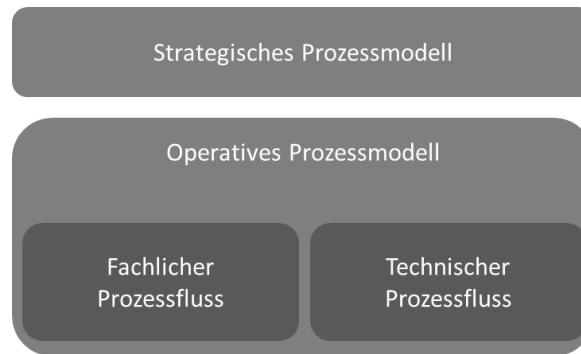


Abbildung 4: Schichtenmodell Prozessmodelle und -Flüsse [8]

In einer übergeordneten Prozessebenenendarstellung wird zur besseren Verständlichkeit das strategische Prozessmodell angewendet. Je tiefer sich die Prozessebenen gliedern, je genauer bilden sie einzelne Arbeitsschritte ab und gehen in ein operatives Prozessmodell über.

Die am Lehr- und Forschungsgebiet „Baubetrieb“ der Bergischen Universität Wuppertal entwickelte Gliederung der Prozessebenen kann der Abbildung 5 entnommen werden. Hierbei werden mindestens vier Ebenen in der Prozessmodellierung festgelegt. Die Ebenen 1 und 2 werden als übergeordneter Prozess (strategisches Prozessmodell) verstanden. Diese Ebenen beschreiben den Ablauf so kompakt wie möglich, von Anfang bis Ende. Die sich anschließende Ebene 3 wird als Operativer Prozess auf Dokumentenebene festgesetzt. Hier werden die wesentlichen Abläufe und die daraus resultierenden Dokumente (wie z. B. Leistungserklärung, Sicherheitsdatenblätter, etc.) als Prozess dargestellt. Hierdurch wird verdeutlicht, in welcher Reihenfolge die Informationen (Dokumente) nacheinander aufgebaut und erzeugt werden. Ab der Prozessebene 4 wird von Operativen Prozessen auf Detailinformationsebene gesprochen. Diese dienen zur Generierung der Inhalte in den Dokumenten.

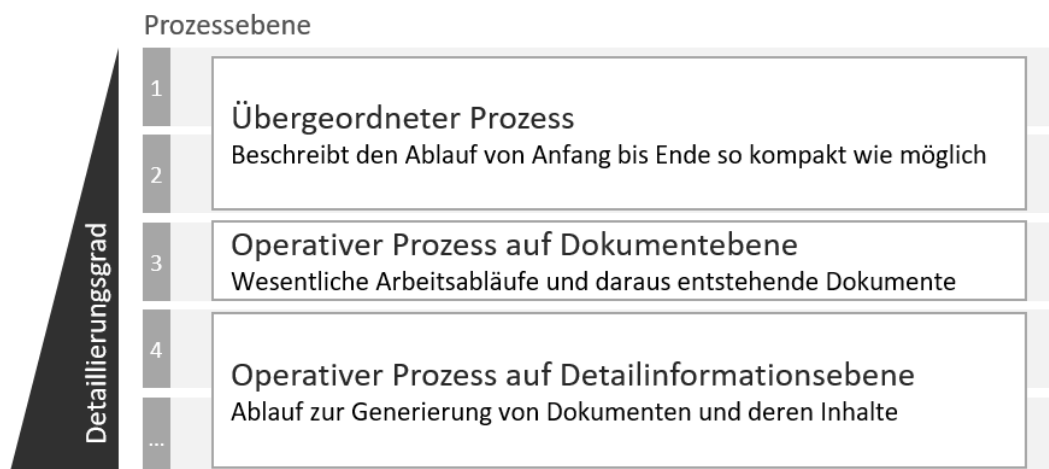


Abbildung 5: Detaillierungsgrad von Prozessebenen

Ein Prozess lässt sich wie folgt beschreiben und zusammenfassen (vgl. Abbildung 6): Übergeordnet wird ein Prozessziel festgelegt. Hierfür werden die nachfolgenden Fragestellungen beantwortet und zusammengefasst: WANN startet der Prozess, WER ist verantwortlich, WARUM wird der Prozess benötigt, WAS wird an Informationen als „Input“ (Voraussetzung) benötigt, WIE kann die Prozessbeschreibung erfolgen, WONACH muss sich gerichtet werden (Mitgeltende Informationen), WOMIT wird der Prozess gestaltet (Hilfsmittel), WAS soll das Ergebnis sein (Output) und WANN endet der Prozess.

Unter den „Mitgeltenden Informationen“ werden ergänzende Informationen verstanden, die nicht innerhalb der modellierten Prozesskette (Wertschöpfungskette) erstellt werden, sondern als feststehende, von außen bereitgestellte Inputs betrachtet werden (DIN-Normen, etc.).

Um einen Prozess zu erarbeiten, wird ein Informationsinput benötigt. Der Input besteht zum einen aus den „Mitgeltenden Informationen“ und zum anderen aus den Ergebnissen anderer, bereits beschriebener Prozesse (Prozessoutputs). Der in einem Prozess generierte Informationsoutput dient im Anschluss wiederum als Informationsinput für weitere Prozesse (vgl. Abbildung 6). Durch die konsequente Modellierung der Prozesse können somit Abhängigkeiten der Prozesse untereinander sowie der Anfang bzw. das Ende eines jeden Prozesses genau dargestellt werden.

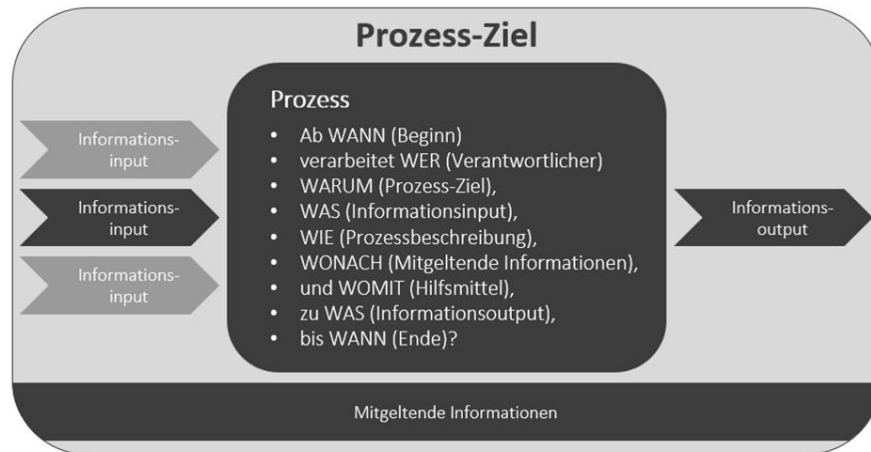


Abbildung 6: Zusammensetzung des Prozesses

2.4 Lebenszyklen

In der Bau- und Immobilienwirtschaft wird in der Regel der Lebenszyklus einer Liegenschaft betrachtet. Hier spielt zusätzlich der Lebenszyklus eines Bauproduktes eine Rolle, das sich wiederum aus mehreren Baustoffen zusammensetzen kann. Die Lebenszyklen bilden die Grundlage der darzustellenden Prozesse und werden nachfolgend erläutert.

Lebenszyklus Liegenschaft

Die Grundlage für die Darstellung der Prozesse des Abbruchs bildet der zu analysierende Lebenszyklus einer Liegenschaft. Er stellt den beschriebenen strategischen Prozessfluss dar und wird in folgende Lebenszyklusphasen untergliedert: Entwicklung, Planung, Realisierung, Betrieb und Abbruch (vgl. Abbildung 7).

Die einzelnen Lebenszyklusphasen gliedern sich wiederum in die erste Prozessebene auf (vgl. Abbildung 5). Sie werden auch Hauptprozesse genannt. Die jeweiligen Hauptprozesse der Lebenszyklusphasen können der Abbildung 7 entnommen werden. Für den Bereich „Abbruch“ sind die Hauptprozesse z. B. Planung, Rückbau, Verwertung und/oder Beseitigung.

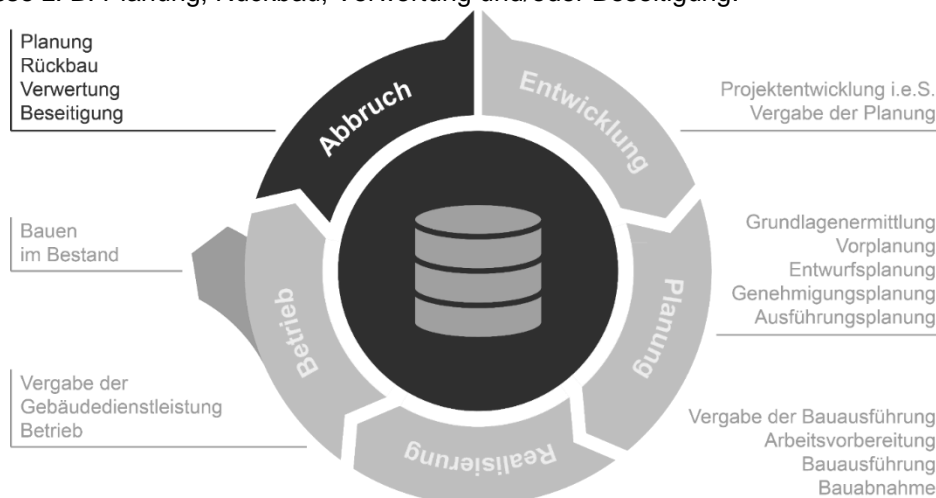


Abbildung 7: Lebenszyklusphasen und Hauptprozesse einer Liegenschaft

Lebenszyklus Stoffkreislauf

Die Grundlage für die Darstellung der Prozesse eines Baustoffs stellen ebenfalls Lebenszyklusphasen dar und können untergliedert werden in: Rohstoffe, Herstellung, Verarbeitung, Nutzung, Rückbau, Beseitigung und Verwertung (vgl. Abbildung 8).

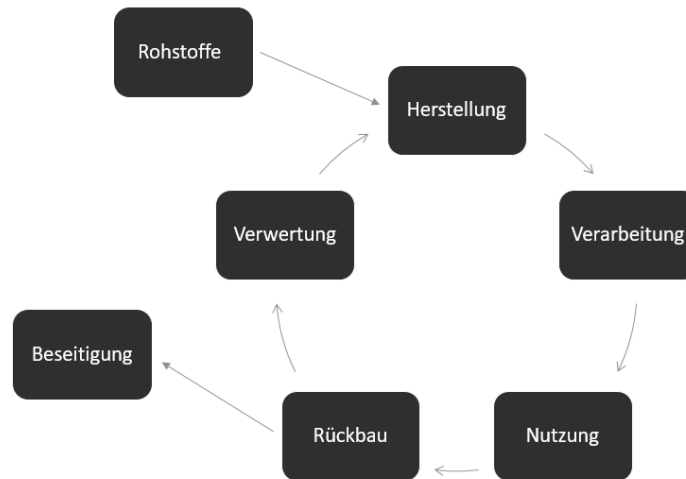


Abbildung 8: Lebenszyklusphasen Bauprodukt

2.5 Überlagerung Liegenschaft – Stoffkreislauf

Für die Optimierung des Stoffkreislaufs eines Bauproduktes ist es zunächst erforderlich, dass die Lebenszyklusphasen der Liegenschaft und des Bauproduktes überlagert werden.

Durch das Überlagern der beiden Lebenszyklen können „gemeinsame“ Anforderungen an ein notwendiges Datenprofil für Baustoffe herausgearbeitet werden. Diese Überlagerung kann auch genutzt werden, um die verpflichtende Qualitätssicherung im Rahmen der Bauausführung zu verbessern und zu vereinfachen. Hierbei geht es im Wesentlichen darum, den Informationsfluss (die Bereitstellung benötigter Informationen aus vorangegangenen Prozessen) zusammenzufassen.

Die Überlagerung der beiden Lebenszyklusphase ist beispielhaft in Abbildung 9 skizziert. Aus der Lebenszyklusphase Liegenschaft entstehen im Wesentlichen Überschneidungen in den Phasen Realisierung, Betrieb und Abbruch. Mit dieser Methodik können gemeinsame Schnittmengen (Prozesse, Dokumente und Informationen) ermittelt werden. Wie aus der Abbildung 9 zu erkennen ist, überlagern sich die meisten Prozesse in der Lebenszyklusphase „Abbruch“ aus der Liegenschaft mit den Phasen „Rückbau“, „Verwertung“, „Wiederherstellung“ und „Beseitigung“ aus dem Stoffkreislauf.

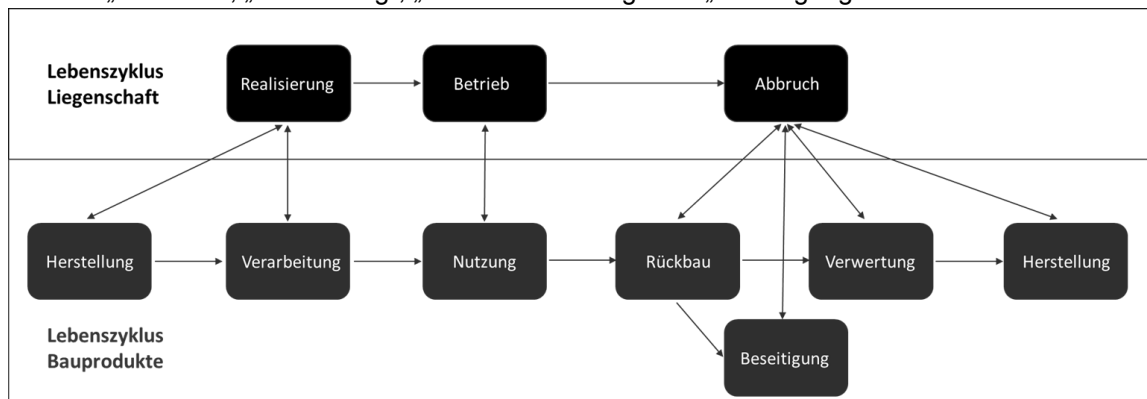


Abbildung 9: Überlagerung der Lebenszyklusphasen Liegenschaft mit der des Bauproduktes

Nachdem die Überlagerung der einzelnen Phasen und Hauptprozesse erfolgt ist, werden die Prozesse im dritten Detaillierungsrad (auf der Ebene 3, vgl. Abbildung 5) identifiziert. Es werden die

wesentlichen Arbeitsabläufe dargestellt und entsprechende Dokumente erstellt. Entstehende Dokumente (Outputs) sind z.B. die Leistungserklärung, das Sicherheitsdatenblatt, der Lieferschein, etc. Diese Outputs fließen als Input wieder in weitere Prozesse, auch lebenszyklusübergreifend, ein (vgl. Abbildung 6). Durch diese Zuordnungen werden erste Verbindungen relevanter Prozesse erstellt. In einem weiteren Schritt sind die operativen Prozesse auf der Ebene 4 zu betrachten, in dem die Informationen im Detail aufzuarbeiten sind. Beispielsweise sind die erklärten Leistungen, d. h. die Eigenschaften der Bauprodukte im Detail zu betrachten.

Für die Zusammenstellung der Informationen im Detail ist es notwendig, die für den Um- und Rückbau erforderlichen Informationen mit den vorhandenen Datenprofilen die in der Bauausführung hinterlegt werden müssen, zu vergleichen. Es liegen in Europa und Deutschland unterschiedliche Verordnungen und Normen in Bezug auf die Informationen und Daten von Baustoffen vor, die im nachfolgenden Abschnitt aufgezeigt und analysiert werden. Am Beispiel von Beton und Kalksandsteinmauerwerk werden exemplarisch die unterschiedlichen Standards an Bauprodukte aufgezeigt und diskutiert, welche (digitalen) Informationen zur Optimierung des Stoffkreislaufs (aus den unterschiedlichen Normen und Verordnungen) notwendig sind.

3. Bauprodukte

3.1 Einleitung

Für die Zusammenstellung der Informationen zur Optimierung des Stoffkreislaufs eines Bauproduktes wird wieder auf das Beispiel der Lebenszyklusphase „Abbruch“ zurückgegriffen. Im Detail ist es notwendig, die aus der Qualitätssicherung der Bauphase vorhandenen Datenprofile der Bauprodukte aus den unterschiedliche Verordnungen und Normen aufzuarbeiten. Um eine Optimierung der Stoffströme erreichen zu können, sind die aus der Sicht eines Recycling- bzw. Verwertungsunternehmens notwendigen Informationen zu betrachten.

Unter Abbruch wird allgemein die Beseitigung von technischen und/oder baulichen Anlagen oder deren Teilen verstanden. [9] Hierbei wird zwischen dem konventionellen, selektiven Abbruch sowie dem Teil- oder Totalabbruch unterschieden. Der konventionelle Abbruch findet bei einfachen Konstruktionen mit wenig unterschiedlichen Baumaterialien Anwendung. Der selektive Abbruch wird als häufigstes Verfahren für den Komplettabbruch eines Bauwerkes verstanden. Er stellt den Stand der Technik dar und löst den vorgenannten konventionellen Abbruch ab. Beim konventionellen Abbruch ist keine Anforderung hinsichtlich einer Entkernung, Entrümpelung oder einer Separierung sowie Wiedergewinnung von Abbruchmaterial notwendig. Wohingegen beim selektiven Abbruch eine vorhergehende Begehung mit Forderungen zum sortenspezifischen Erfassen und Entsorgen von Abbruchmaterial gefordert wird. Der Teilabbruch beinhaltet die Erhaltung der Standsicherheit der verbleibenden Teile nach der Beseitigung von Bauwerksabschnitten. Insofern kann das klassische Bauen im Bestand als Teilabbruch ebenfalls mit der hier vorgestellten Systematik untersucht werden.

Aus den vorgenannten Definitionen lässt sich ableiten, dass neben den verbauten Massen der einzelnen Bauprodukte viele Informationen über die im Bauwerk verwendeten Bauprodukte benötigt werden. Je nach benötigtem Informationsdetaillierungsgrad werden diese über die Informationsprozesse der Ebenen 3 und 4 bereitgestellt. Eine Grundlage für die Erstellung der Prozessoutputs auf der dritten Ebene sind die während der Bauphase zwingend an den Bauherrn/Auftraggeber zu übergebenden Informationen und Dokumenten zu den verwendeten Bauprodukten. Dies sind z. B. die Anforderungen nach der europäischen Bauproduktenverordnung Nr. 305/2011, der europäischen Chemikalien Verordnung REACH-Verordnung EG Nr. 1907/2006 sowie zusätzlichen nationalen Anforderungen, die sich bislang aus der Bauregelliste des Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) ergeben haben bzw. zukünftig aus der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) ergeben werden.

3.2 Europäische Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) Nr. 305/2011 / harmonisierte europäische Normen

In harmonisierten europäischen Normen sind wesentliche Merkmale von Bauprodukten teils einschließlich ihrer Klassifikationen festgelegt, die vom Hersteller des Bauproduktes in einer Leistungserklärung anzugeben sind bzw. angegeben werden können. [10] Die Leistungserklärung ist Voraussetzung für die CE-Kennzeichnung. Falls keine wesentlichen Merkmale festgelegt sind, ist die Leistungserklärung entsprechend einem Katalog wesentlicher Merkmale am Ort des Inverkehrbringens zu erstellen. Außerdem stellt die Verordnung eine wesentliche Verbesserung bei der Verfügbarkeit von Informationen über gefährliche Stoffe in der CE-Kennzeichnung dar. Angaben über enthaltene besonders besorgniserregende Stoffe nach der REACH-Verordnung (Europäische Chemikalienverordnung, vgl. Kap. 3.3) oder ein Sicherheitsdatenblatt sind nun der Leistungserklärung beizufügen. Eine Berücksichtigung von konkreten Informationen (Kenngrößen) für die Prozessmodellierung erfolgt nicht, die EU-BauPVO gibt lediglich den standardisierten Rahmen der Informationsbereitstellung (die Leistungserklärung) an.

3.3 REACH-Verordnung EG Nr. 1907/2006

REACH ist die Europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe. [11] Das Kürzel „REACH“ leitet sich aus dem englischen Titel der Verordnung ab: regulation concerning the **R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation and restriction of **C**hemicals. Die Verordnung ist seit 2007 in Kraft und soll ein hohes Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sicherstellen. Sie soll den freien Verkehr von Chemikalien auf dem europäischen Binnenmarkt gewährleisten. REACH beruht auf dem Grundsatz, dass Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Verwender die Verantwortung für ihre Chemikalien übernehmen. Sie müssen sicherstellen, dass Chemikalien, die sie herstellen und in Verkehr bringen, sicher verwendet werden.

Die REACH-Verordnung stellt mit Hilfe von Sicherheitsdatenblättern Anforderungen an Informationen zu Bauprodukten, die Chemikalien bzw. Gefahrstoffe enthalten. Das Sicherheitsdatenblatt ist das zentrale Mittel zur Kommunikation von sicherheitsbezogenen Informationen über Stoffe und Gemische in der Lieferkette. Die konkreten Anforderungen an Sicherheitsdatenblätter werden in der Verordnung unter Artikel 31 in Verbindung mit Informationen aus dem Anhang II beschrieben.

Die Sicherheitsdatenblätter geben (wie auch die Leistungserklärung der EU-BauPVO) eine standardisierte Struktur für relevante Kenngrößen vor (in Form der Sicherheitsdatenblätter), verweisen inhaltlich aber auf weiterführende Regelwerke.

3.4 Bauregelliste des Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) / Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)

Ähnlich wie die europäische BauPVO regelt die Bauregelliste sowie zukünftig die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen übergeordnet die Prozesse und legt die Art des Verwendbarkeitsnachweises, d. h. die produktspezifische Dokumentation fest. Für den Inhalt sowie technische Eigenschaften wird auf Produktnormen verwiesen. Hierbei wird unterschieden in geregelte, nicht geregelte und sonstige Bauprodukte. Die Bauregelliste umfasste im Teil B teilweise zusätzliche Anforderungen an Bauprodukte, die über die BauPVO hinausgingen.

Für geregelte Bauprodukte ergibt sich die Verwendbarkeit aus der Übereinstimmung mit den spezifischen Produktnormen bzw. Zulassungen. Für Beton sind derzeit u. a. die DIN EN 206-1 zusammen mit dem nationalen Anhang DIN 1045-2 relevant.

4. Beispiel „Beton / Kalksandstein-Mauerwerk“

Nachfolgend wird exemplarisch untersucht, ob es mit den heute bei Neubauten zu dokumentierenden Informationen für Beton und Kalksandstein-Mauerwerk möglich wäre den Bauwerksaufbruch als recycelte Gesteinskörnung wieder in den Beton und damit in den Produktzyklus zurückzuführen. Hierbei wird unterstellt, dass zur Zeit des Umbaus bzw. des Abbruchs die Dokumente vorliegen, die nach heutigem Stand im Rahmen der Bauausführung an den Bauherrn/Auftraggeber übergeben werden müssten.

Für den recycelten Beton nach DIN EN 206-1 lägen in diesem Fall die Lieferscheine vor, da er ein Ü-Kennzeichen trägt und keiner europäisch harmonisierten Norm entspricht. Detaillierte Informationen zur Gesteinskörnung nach DIN EN 12620, wie sie der Betonhersteller im Rahmen seiner Qualitätssicherung nachzuhalten hat, werden jedoch nur zu einem sehr geringen Anteil als Teil des Lieferscheines an den Verwender weitergegeben.

Für das recycelte Kalksandstein-Mauerwerk liegen als harmonisiertes Bauprodukt nach DIN EN 771-2 zusammen mit der BauPVO Leistungserklärungen und Sicherheitsdatenblätter vor. Aus diesen standardisierten Datenblättern können Informationen für die Herstellung von rezyklierter Gesteinskörnung für Beton gewonnen werden. Für die Herstellung des Betons mit rezyklierter Gesteinskörnung ist wiederum die „DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 Ausgabe September 2011“ und deren Standards zu berücksichtigen. Somit stehen die ersten grundlegenden Rahmenbedingungen fest, die für die Zusammenstellung des Informationsinputs für Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung zu beachten sind (vgl. Abbildung 10).

Diesen vorhandenen Datenprofilen sind die Anforderungen gegenüberzustellen, die sich aus der Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton e.V. „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“ ergeben würden. Diese Richtlinie regelt, unter welchen Voraussetzungen Betonsplitt und Bauwerkssplitt als Gesteinskorn wieder im Beton verwendet werden darf.

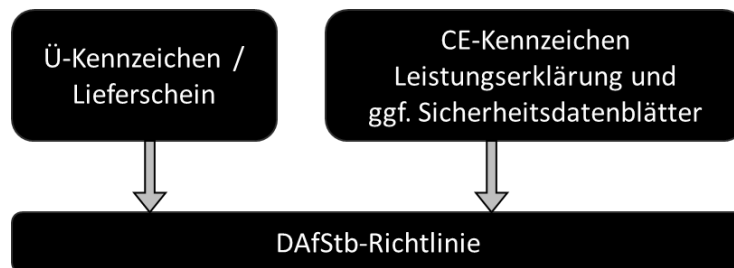


Abbildung 10: Informationsinput an Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung

Der Richtlinie folgend, wird die stoffliche Zusammensetzung rezyklierter Gesteinskörnung unterschieden nach Betonsplitt (Typ 1) und Bauwerkssplitt (Typ 2). Betonsplitt muss mehr als 90 % Betonaufbruch enthalten, während Bauwerkssplitt aus mindestens 70 % Betonaufbruch bestehen muss. Die restlichen Anteile können aus Mauerziegeln oder Kalksandsteinen sowie zu sehr geringen Anteilen Nebenprodukten bestehen. Die Nebenanteile wie z.B. Metalle, Kunststoff, Gummi oder Gips dürfen zusammen maximal 1 % bzw. 2 % des Gesteinskorns ausmachen.

Allein diese Grenzwerte der Zusammensetzung für Betonsplitt und Bauwerkssplitt machen deutlich, dass ein sortenreiner Abbruch für die Qualität des RC-Materials vorteilhaft ist, da das RC-Gesteinskorn definiert zusammengestellt werden kann. Auch in Bezug auf den Gipsgehalt spielt ein sortenreiner Abbruch eine große Rolle. Werden ggf. vorhandene Gipsputze nicht vor dem Abbruch der Tragstruktur entfernt, verunreinigen sie den Bauwerksaufbruch und können dazu führen, dass der Aufbruch nicht mehr als RC-Gesteinskörnung verwendet werden darf. Daher ist allein die Kenntnis, dass Gipsputze verwendet wurden und in welchen Massen von großer Bedeutung für die Optimierung von Stoffströmen.

Anhand dreier weiterer Parameter soll dargestellt werden, dass allein die Kenntnis aus den Konformitätsnachweisen nicht ausreichend ist, um mineralischen Aufbruch unmittelbar wieder als Gesteinskörnung verwenden zu können. Die ausgewählten Parameter sind: die Kornrohddichte, der Gehalt wasserlöslicher Chloride sowie die Wasseraufnahme. Die Anforderungen können aus der DAfStb-Richtlinie entnommen werden:

- Kornrohddichte: Sie wird mit $\geq 2.000 \text{ kg/m}^3$ und einem zulässigen Schwankungsbereich von $\pm 150 \text{ kg/m}^3$ beziffert. [12]
- Gehalt säurelöslichen Chlorids $\leq 0,04\text{M.}\%$ [12] und
- Wasseraufnahme nach 10 Minuten: in Höhe von 10 % für Betonsplitt (Typ 1) der RC-Körnung und 15 % für Bauwerksplitt (Typ 2). [12]

Nun muss geklärt werden, inwieweit die zuvor genannten und benötigten Informationen aus der Leistungserklärung des Kalksandstein-Mauerwerks oder aus dem Lieferschein des Betons abgerufen werden können. In der Leistungserklärung nach DIN EN 771-2 kann für den Kalksandstein entnommen werden, dass entweder nur ein Wert inklusive Schwankungsbereich für die Brutto-Trockenrohddichte vorliegt, oder eine definierte Klasse für die Brutto-Trockenrohddichte angegeben werden soll. Vorausgesetzt die Brutto-Trockenrohddichte ist in Form einer Klasse angegeben, so lässt diese einen Rückschluss auf die Brutto-Trockenrohddichte gemäß Tabelle D.2 DIN EN 771-2 zu. In der Tabelle ist eine Mindest- und Maximal Brutto-Trockenrohddichte je Klasse definiert. Für die Anforderung nach der DAfStb-Richtlinie an die Kornrohddichte, einschließlich der Schwankung (also $2.000 \text{ kg/m}^3 \pm 150 \text{ kg/m}^3$), ergibt sich eine Mindestanforderung von 1.850 kg/m^3 für den Typ 1 und Typ 2.

Die Werte für den Gehalt säurelöslicher Chloride und den Mittelwert der Wasseraufnahmen werden in der Leistungserklärung des Kalksandstein-Mauerwerks nicht deklariert. Der Chloridgehalt spielt für Kalksandstein nur eine sehr untergeordnete Rolle, weil der Chloridgehalt im Beton begrenzt ist, um Korrosion an der Bewehrung auszuschließen. Mauerwerke sind in aller Regel unbewehrt. Für Betonaufbruch kann zudem nicht ausgeschlossen werden, dass sich im Laufe der Lebensdauer eines Bauwerkes Chloride angesammelt haben. Beispielsweise bei Parkhaus- oder Verkehrsbauten.

Die Wasseraufnahme ist in DIN EN 771-2 zwar tabellarisch aufgeführt, muss aber je nach erklärter Leistung für den Kalksandstein nicht zwingend angegeben werden. Die Wasseraufnahme von Beton wird in den Lieferscheinen nicht angegeben. In DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 wird die Wasseraufnahme meist nur implizit über eine Begrenzung des w/z-Wertes bzw. Anforderungen an die Frost- und Frost-Tausalz-Beständigkeit eingeschränkt. Somit liegen nur zum Teil Informationen vor, die unmittelbar als Input in die Prozessmodellierung und eine Optimierung der Stoffströme übernommen werden können. Im gewählten Beispiel wären immer zusätzliche Materialprüfungen erforderlich. Ein sortenreiner Abbruch würde jedoch die grundlegende Recyclingfähigkeit deutlich erhöhen.

5. Resümee und Ausblick

Mithilfe von Prozessanalysen sowohl des Lebenszyklus von Baustoffen als auch des Lebenszyklus von Liegenschaften wurde dargestellt, dass eine Detaillierung der Prozesse möglich und sinnvoll ist. Für eine Optimierung von Stoffströmen sollten die Prozesse soweit detailliert werden, dass einzelne Materialeigenschaften in einem BIM-Modell hinterlegt und Bauteilen zugeordnet werden können.

Weiterhin wurde am Beispiel der Gesteinskörnung in Beton dargestellt, dass im Laufe der Lebenszyklusphasen der Gesteinskörnung an der Schnittstelle zwischen Betonhersteller und Lieferant der Gesteinskörnung sehr detaillierte Informationen fließen, die im späteren Lieferschein, der dem Bauherrn vom Betonlieferanten übergeben werden muss, nicht mehr enthalten sind.

Abschließend wurde diskutiert, ob es mit den heute im Rahmen der Qualitätssicherung in der Bauphase erhobenen Daten möglich ist, die Verwendung von Bauwerksaufbruch unmittelbar als rezyklierte Gesteinskörnung in Beton zu ermöglichen.

Anhand des Beispiels der Kornrohddichte wurde verdeutlicht, dass es bedingt möglich ist, aus der Bereitstellung von Informationen aus vorangegangenen Prozessen (Informationsoutputs) die

Informationen für die Prozessmodellierung von neuen Bauprodukten (Informationsinputs) herauszuziehen. Im Idealfall liegen diese Informationen für die weitere Verwendung digital vor.

Auf der anderen Seite konnte anhand der Anforderungen an den Gehalt säurelöslichen Chlorids und der Wasseraufnahme aufgezeigt werden, dass diese Kenngrößen weder digital noch analog aus Dokumenten vorangegangener Prozesse bei der Verwendung von Beton oder Kalksandstein-Mauerwerk vorliegen. Gleichzeitig zeigte sich, dass ein sortenreiner Abbruch die Möglichkeiten zum Recycling maßgeblich verbessern kann, wenn zudem noch Informationen über die verwendeten Baustoffe digital abrufbar vorliegen.

Durch eine konsequente Prozessmodellierung von Bauprodukten unter Berücksichtigung der beiden Lebenszyklen für Bauprodukte und der Liegenschaft könnten umfassende digitale Standards für die Bereitstellung von Informationsdokumenten (wie z. B. eine erweiterte Leistungserklärung) entwickelt und umgesetzt werden. Dadurch lassen sich Stoffkreisläufe unter Anwendung der Methode BIM optimieren.

Literatur

- [1] Gneuss, M.: Neue Technologien wirbeln die Märkte durcheinander, Accenture 2014
- [2] G Kreislaufwirtschaft Bau: Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2014, Bericht 10, 2017
- [3] G Kreislaufwirtschaft Bau: Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2014, Bericht 10, S. 6, 2017
- [4] G Kreislaufwirtschaft Bau: Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2014, Bericht 10, S. 8, 2017
- [5] G Kreislaufwirtschaft Bau: Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2014, Bericht 10, S. 14, 2017
- [6] Meins-Becker, A., Helmus, M., Sigmund, B., BIM: Entwicklungsstufen und Prozesse, Detail – Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 2017
- [7] Freund, J., Rücker, B., Praxishandbuch MPMN 2.0, 2014
- [8] In Anlehnung: Freund, J., Rücker, B., Praxishandbuch MPMN 2.0, 2014
- [9] Schröder, M., Pocha, A.: Abbrucharbeiten, Grundlagen, Planung, Durchführung, Deutscher Abbruchverband e.V., 2015
- [10] Quelle: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/bauprodukte/eu-recht-fuer-bauprodukte/eu-bauproduktenverordnung>
- [11] <http://www.reach-info.de/einfuehrung.htm>
- [12] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620, Ausgabe September 2010.