

KURZBESCHREIBUNG

Das Bauwesen ist in Deutschland und der Schweiz jeweils der größte Ressourcenkonsument und Abfallproduzent. Die Kreislaufwirtschaft soll dem steigenden Ressourcenverbrauch und gleichzeitiger Verknappung der Primärrohstoffe durch die Ausschöpfung des anthropogenen Lagers (Urban Mining) sowie die Verlängerung der Nutzungszyklen vorhandener Ressourcen durch Wieder- und Weiterverwendung entgegenwirken. Trotz der rechtlichen Verankerung des Wandels der jetzigen linearen Wirtschaft zur Kreislaufwirtschaft auf nationaler und EU-Ebene fehlt eine Definition der Kreislauffähigkeit. Einheitliche Bewertungskriterien, die ihre Umsetzung im Bauwesen beschreiben und ermöglichen, sind nicht vorhanden. Aus den vorhandenen digitalen Bewertungsinstrumenten und der Forschung lässt sich allerdings eine Auswahl an Kriterien ableiten, auf deren Grundlage eine ausreichend detaillierte Planung kreislauffähiger Gebäude möglich sein sollte. In dieser Arbeit wird gezeigt, dass eine Umsetzung dieser Kriterien im Building Information Modelling auf Grundlage der Industry Foundation Class möglich ist und der bisher sehr begrenzte Einsatz von BIM Modellen in der Praxis ausbaufähig ist.

ABSTRACT

The construction industry is the largest consumer of resources and largest producer of waste in Germany and Switzerland respectively. The circular economy is intended to counteract the increasing consumption of resources and the simultaneous shortage of primary raw materials by exhausting the anthropogenic stockpile (urban mining) and extending the utilization cycles of existing resources through reuse and recycling. Despite the legal anchoring of the transformation of the current linear economy to a circular economy on national and EU level, a definition of circularity is missing. Uniform assessment criteria describing and enabling its implementation in the construction industry do not exist. However, a selection of criteria can be derived from existing digital assessment tools and research, on the basis of which a sufficiently detailed design of circular buildings should be possible. In this paper it is shown that an implementation of these criteria in Building Information Modeling based on the Industry Foundation Class is possible and that the so far very limited use of BIM models in practice can be extended.

I INHALTSVERZEICHNIS

I	Inhaltsverzeichnis.....	II
1	Einführung.....	1
1.1.	Problemstellung der Arbeit.....	1
1.2.	Ziele und Abgrenzung der Arbeit.....	2
1.3.	Aufbau der Arbeit.....	2
2	Theoretische Grundlagen.....	3
2.1.	Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs	3
2.2.	Nachhaltigkeit im Bauwesen.....	6
2.3.	Das Konzept der Kreislauffähigkeit	8
2.3.1.	Rechtliche Grundlagen	10
2.3.2.	Ziele der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen	13
2.4.	Nachhaltigkeits-Zertifizierungssysteme.....	16
2.4.1.	Nationale und internationale Zertifizierungssysteme	16
2.4.2.	Einordnung der Kreislaufwirtschaft in vorhandene Zertifizierungssysteme.....	18
	<i>Fazit</i>	24
3	Kreislauffähigkeitskriterien und Bewertungssysteme.....	26
3.1.	Zertifizierungs- und Bewertungssysteme	26
3.1.1.	Buildings as Material Banks (BAMB).....	27
3.1.2.	Building Circularity passport (BCP).....	28
3.1.3.	Concular.....	33
3.1.4.	Madaster.....	35
3.2.	Kreislauffähigkeitskriterien im Neubau und Bestand.....	38
3.2.1.	Pre-Use und Post-Use.....	38
3.2.2.	Kreislauffähigkeitskriterien	40
3.2.3.	Besonderheiten der Holzbauweise: Ungenutztes Potential	49
4	Planung der Kreislauffähigkeit von Hochbauten mithilfe von BIM.....	55
4.1.	BIM zur Optimierung der Kreislauffähigkeit	55
4.2.	Planung der Kreislauffähigkeit im Bestand.....	57
4.2.1.	Stand der Technik	58
4.2.2.	Planungsschritte	59
4.2.3.	Beispielprojekt: SBB Wolf Areal	62
4.2.4.	Bewertung hinsichtlich der Effizienz und über die Kreislauffähigkeit.....	66

4.3.	Planung der Kreislauffähigkeit im Neubau	68
4.3.1.	Planungsschritte	68
4.3.2.	Beispielprojekt: K.118	68
4.3.3.	Bewertung hinsichtlich der Effizienz und Aussagekraft über die Kreislauffähigkeit.....	70
4.4.	Lösungsvorschlag.....	72
4.4.1.	Framework Bestand	80
4.4.2.	Framework Neubau	81
5	Schlussbetrachtung.....	82
5.1.	Zusammenfassung der Arbeit.....	82
5.2.	Ergebnisse der Arbeit.....	83
5.3.	Ausblick.....	83
II	Abkürzungsverzeichnis.....	LXXXIV
III	Übersetzungsverzeichnis	LXXXVI
IV	Literaturverzeichnis	XC
V	Abbildungsverzeichnis.....	XCIX
VI	Tabellenverzeichnis.....	CIII
VII	Anlagenverzeichnis	i
Anlage 1	Sustainable developmet goals (SGD)	i
Anlage 2	Übersichtsstruktur Strategie Nachhaltige entwicklung der schweiz	ii
Anlage 3	Zieldimensionen für den Bereich Bauen und wohnen.....	iii
Anlage 4	Nationale Zertifizierungssysteme	iv
Anlage 5	Internationale Zertifizierungssysteme	viii
Anlage 6	Vergleich Nationale und internationale Labels.....	xii
Anlage 7	ProGress III Indikatoren	xiv
Anlage 8	Übersicht der DGNB Indikatoren mit Circular Economy Bonus.....	xvi
Anlage 9	Datenaustausch im CBA Prototyp	xviii
Anlage 10	BAMB Material Passport Schema	i
Anlage 11	Kriterien C2C Buildings	i
Anlage 12	Berechnung des ZI Scores nach Madaster	i

Anlage 13	Swiss BIM Loin (LOD)	vii
Anlage 14	Prozessdiagramm: Urban Mining IM Projekt SBB Areal Wolf	i
Anlage 15	Die Erweiterte Urban-Mining-Gesamtstrategie im Überblick	i
Anlage 16	Konzepte zu Entwurf und Konstruktion im K.118	i
Anlage 17	Urban Mining Framework.....	iii
Anlage 18	FRamework des BIM zentrierten Neubauplanung.....	iv
Anlage 19	Digitales Anlagenverzeichnis	v



1 EINFÜHRUNG

1.1. PROBLEMSTELLUNG DER ARBEIT

Der nachhaltige Umgang mit natürlichen Ressourcen und die Begrenzung des Klimawandels stellen gegenwärtig die größten Herausforderungen in Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik dar. (Braun et al., 2021) Dem weltweit wachsenden Bedarf an Rohstoffen steht die deutliche Verknappung primärer Rohstoffe gegenüber. Besonders relevant ist der Baubereich, der zu den ressourcenintensiven Wirtschaftszweigen gehört: Allein in Deutschland werden jährlich 517 Millionen Tonnen mineralischer Rohstoffe im Gebäudebereich verbaut, was 90 % der gesamten inländischen Entnahme entspricht. Zudem entfallen 52 % des deutschen Abfallaufkommens auf die Bau- und Abbruchabfälle des Gebäudebereichs. (Bundesregierung, 2020, S. 55)

Zur Sicherung der Rohstoffversorgung ist die ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft eine Notwendigkeit. Entgegen der aufgezeigten Dringlichkeit ist die hochwertige Verwertung von mineralischen Bauabfällen oder Baurestmassen und Wiederverwendung durchaus funktionsfähiger Bauteile jedoch nicht etabliert und ist deshalb erst in geringem Umfang umgesetzt. (Dechantsreiter et al., 2015) Grund dafür sind unter anderem eine fehlende Definition des Begriffs Kreislauffähigkeit im Baubereich sowie fehlende Standards für ihre Beurteilung, sodass bei ihrer Planung ein erheblicher Mehraufwand gegenüber der bisherigen linearen Wirtschaftsweise besteht. Für eine effiziente Planung ist es essenziell, dass die Kreislauffähigkeit bereits zu einem frühen Zeitpunkt betrachtet wird und die Erkenntnisse während des gesamten Lebenszyklus des Gebäudes zur Verfügung stehen. Dafür ist Building Information Modelling (BIM) eine geeignete Methode.

Kernstück von BIM ist ein digitales Modell des geplanten Gebäudes, mit dem alle Informationen zu den Bauteilen verknüpft werden können, um das Bauwerk zu errichten, zu betreiben und am Ende des Produktlebenszyklus zu entsorgen bzw. Materialien wiederzuverwenden. (Albrecht, 2022) Bisher wird BIM (über die IFC-Schnittstelle) als Grundlage für die Visualisierung, nicht aber für die Planung und Dokumentation des Einsatzes recyclebarer Materialien und die Wiederverwendung von Bauteilen verwendet. Es stehen bereits verschiedene Ansätze und digitale Instrumente zur Verfügung, um Gebäudemodelle hinsichtlich der Kreislauffähigkeit zu bewerten. Ihr Einsatz ist jedoch noch nicht standardisiert. Um die Entwicklung zur Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen, müssen daher vorhandene Instrumente auf ihre Aussagekraft untersucht und ein kriterienbasierter und einheitlicher digitaler Planungsprozess festgelegt werden.

1.2. ZIELE UND ABGRENZUNG DER ARBEIT

Ziel der Arbeit ist es, verschiedene Möglichkeiten für die Planung und Dokumentation der Kreislauffähigkeit von Hochbauten sowie die Speicherung der Bauteildaten in einem BIM Modell während des Gebäudezyklus zu betrachten und ein Framework für den Einsatz bereits vorhandener Tools zu erstellen. Dabei sollen der aktuelle Stand kritisch beleuchtet und Verbesserungen vorgeschlagen werden.

Nach aktuellem Stand gibt es keinen Standard für die Planung zirkulärer Gebäude. Das erste Teilziel ist daher die Eingrenzung des Konzepts der „Kreislauffähigkeit“ und die Bestimmung von allgemeingültigen Kriterien, die dessen Bewertung ermöglichen. Dabei wird Holz als biotischer Baustoff herausgehoben betrachtet. Darauf basierend soll im zweiten Teilziel ein Vorschlag zur Umsetzung der Planung der Kreislauffähigkeit mithilfe der BIM-Methode erarbeitet werden.

In der vorliegenden Arbeit erfolgt eine strukturelle Betrachtung der Kreislauffähigkeit. Die hier vorgestellten Kriterien dienen der konstruktiven Beurteilung der Bauteile ohne Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte. Auch sind gegebenenfalls notwendige Bauteilprüfungen für den Zweck des Wiedereinbaus nicht Bestandteil der Betrachtung.

Die Entwicklung eines Bewertungssystems auf Grundlage der im ersten Teilziel erarbeiteten Kriterien ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

1.3. AUFBAU DER ARBEIT

Im ersten Teil der Arbeit wird der Begriff der Kreislauffähigkeit innerhalb des Konzepts der Nachhaltigkeit definiert und abgegrenzt. Es wird betrachtet, wie die Kreislauffähigkeit innerhalb anerkannter Nachhaltigkeitszertifizierungen berücksichtigt wird.

Es bestehen Forderungen an die Ziele der Kreislauffähigkeit im Bauwesen, allerdings gibt es keinen Standard zu ihrer Beschreibung. Daher wird im zweiten Teil betrachtet, welche digitalen Instrumente bereits vorhanden sind und welche Kreislaufkriterien sie berücksichtigen. Die Instrumente werden anschließend hinsichtlich ihrer Aussagekraft bewertet und Verbesserungsvorschläge unterbreitet. Auf dieser Grundlage wird eine Auswahl an Kriterien festgelegt, die sich für die Beschreibung kreislauffähiger Gebäude eignen.

Zur Erarbeitung eines Lösungsvorschlages findet zunächst ein Soll-Ist-Vergleich zwischen den Einsatzmöglichkeiten, die BIM theoretisch bietet und ihrer Umsetzung in der Praxis anhand von zwei Projektbeispielen statt. Abschließend wird vorgestellt, wie eine BIM basierte Planung auf Grundlage der zuvor festgelegten Kriterien umgesetzt werden könnte.

2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

In folgendem Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen betrachtet, welche für das Verständnis des weiteren Vorgehens und der Problemstellung notwendig sind. Zunächst wird die „Kreislauffähigkeit“ innerhalb des Nachhaltigkeitsbegriffes abgegrenzt. Dafür müssen die „Nachhaltigkeit“ definiert und die Themenbereiche, die die „Nachhaltige Entwicklung“ in der aktuellen politischen Interpretation insbesondere im Bereich Bau und Umwelt umfasst, dargelegt werden. Abschließend wird betrachtet, welche rechtlichen Grundlagen und Ziele die Kreislaufwirtschaft im Bauwesen hat und wie Letztere in bekannte Nachhaltigkeits-Zertifizierungssysteme übersetzt werden.

2.1. DEFINITION DES NACHHALTIGKEITSBEGRIFFS

Als Nachhaltigkeit wird ein Leitbild für ökologisches, politisches und soziales Handeln bezeichnet, das sich seit den 1970er Jahren weiterentwickelt und verrechtlicht hat. Der Begriff Nachhaltigkeit wird der „Nachhaltigen Entwicklung“ gleichgestellt und hat seinen Ursprung im englischen Adjektiv „sustainable“. Es gibt keine einheitliche, allgemeingültige Begriffsdefinition, da je nach Kontext unterschiedliche Teilkonzepte referenziert und hervorgehoben werden können. Im Folgenden wird daher auf die wesentlichen Meilensteine (siehe Abbildung 1) zur Definition der „Nachhaltigen Entwicklung“ eingegangen.

Jahr	Entwicklung
1713	Veröffentlichung des Buchs „Sylvicultura Oeconomica – Die Naturmäßige Anweisung zur Wilden Baumzucht“
1972	UNO-Konferenz über die menschliche Umwelt, Stockholm
	Gründung des UNEP (U.N. Environment Programme)
	Bericht des Club of Rome „Grenzen des Wachstums“
1983	Gründung der WCED (World Commission on Environment and Development)
1987	WCED-Bericht „Our Common Future“ (Brundtland-Report)
1992	UNO-Konferenz über Umwelt und Entwicklung, Rio de Janeiro
1997	Klimakonferenz in Kyoto, Verabschiedung des Kyoto-Protokolls
2000	Millennium-Gipfel (55. Generalversammlung der Vereinten Nationen), New York
2002	Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung, Johannesburg
2005	Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls
2009	UN-Klimakonferenz in Kopenhagen, „Kopenhagener Erklärung“
2012	Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung, Rio de Janeiro
2015	Agenda 2030: 17 Sustainable Development Goals (SDGs)
	UN-Klimakonferenz in Paris, Pariser Abkommen

Abbildung 1: Friedrichsen 2018 -Nachhaltiges Planen.jpg (Friedrichsen, 2018, S. 11)

Der Begriff Nachhaltigkeit wird erstmalig im 18. Jahrhundert im Kontext der Forstwirtschaft durch den Oberberghauptmann am Kursächsischem Hof in Freiberg Hannß Carl von Carlowitz schriftlich erwähnt. In seinem Buch "Sylvicultura Oeconomica - Die Naturgemäße Anweisung zur Wilden Baumzucht" fordert er eine "continuerliche und beständig nachhaltige Nutzung". (Friedrichsen, 2018, S. 10) Mit Nachhaltigkeit ist dabei die Forstwirtschaft gemeint, in der ein Gleichgewicht zwischen der Abholzung und Aufforstung von Waldbeständen besteht, um die Holzknappheit und ihre wirtschaftlichen und sozialen Folgen zu vermeiden. (Hauff, 2009, S. 1)

Der von Carlowitz eingeführte Begriff der Nachhaltigkeit wurde in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts von der Forstwirtschaft im Rahmen der zunehmenden internationalen politischen und volkswirtschaftlichen Diskussion auf den Umweltschutz und die Sozialpolitik übertragen. Maßgebend für die Begriffsentwicklung sind die erste internationale Umweltschutzkonferenz 1972 in Stockholm, der Bericht „Grenzen des Wachstums“ aus 1972, dem „Brundlandt-Report“ 1983, die UN-Klimakonferenz in Rio de Janeiro 1992 und die Agenda 2030.

So wurde auf der ersten internationalen Umweltschutzkonferenz 1972 in Stockholm erstmals über die Verknüpfung zwischen Umweltschutz und Entwicklungspolitik unter den Begriffen "ecodevelopment" oder "environmentally sound development" beraten. (Grober, 2002, S. 116). Die heutige Definition der Nachhaltigkeit wurde 1987 durch die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (World Commission on Environment and Development WCED) in ihrem Perspektivbericht "Our Common Future" geprägt. Der als "Brundlandt-Report" bekannte Bericht schrieb erstmals formaljuristisch die Definition fest, die bis heute am weitesten verbreitet und anerkannt ist und somit als klassische Definition von Nachhaltigkeit gilt (Pufé, 2014):

1. *Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der heutigen Generation befriedigt, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen. Der Begriff beinhaltet zwei Schlüsselkonzepte:*
 - a. *das Konzept der "Bedürfnisse", insbesondere der grundlegenden Bedürfnisse der Armen in der Welt, denen oberste Priorität eingeräumt werden sollte.*
 - b. *die Vorstellung von den Grenzen, die der Stand der Technik und der gesellschaftlichen Organisation der Fähigkeit der Umwelt auferlegt, gegenwärtige und künftige Bedürfnisse zu befriedigen. (World Commission on Environment and Development, 1987, S. 1)*

Das damalige Verständnis der Nachhaltigkeit sollte also sicherstellen, dass ein regeneratives, natürliches System in seinen wesentlichen Eigenschaften dauerhaft erhalten bleibt. Damit war der Grundstein zum Verständnis von Nachhaltigkeit als ressourcenökonomisches Prinzip gelegt. (Pufé, 2014)

Der Bericht bildete die Grundlage für die weltweite Umweltkonferenz in Rio de Janeiro im Jahr 1992, in welcher der „Nachhaltigkeitsbegriff“ international durch verschiedene Abkommen (Klimaschutz-Konvention und Artenschutz-Konvention), Grundsatzserklärungen (Deklaration über Umwelt und Entwicklung und Walddeklaration) und das Aktionsprogramm Agenda 21 politisiert wurde. (Friedrichsen, 2018, S. 11–12) Als wichtigstes Ergebnis ist die Agenda 2021 zu nennen: Das Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert, um auf globaler, nationaler, regionaler und lokaler Ebene eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen (Klaus, 2002). In der Deklaration über Umwelt und Entwicklung (Rio-Deklaration) wurde zudem in 27 Prinzipien (Grundsätzen) erstmals global das Recht auf nachhaltige Entwicklung (sustainable development) verankert. (Lexikon der Nachhaltigkeit, 2022b). Dabei wird das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit mit den drei gleichwertigen Säulen der Ökonomie, Ökologie und Soziales dargestellt (Lexikon der Nachhaltigkeit, 2022a), auf das im Kontext des Bauwesens in Kapitel 2.2 Nachhaltigkeit im Bauwesen (S.6) eingegangen wird.

In den darauffolgenden Jahren fanden zahlreiche Konferenzen und Versammlungen statt, die insbesondere über konkrete Klimaschutzziele berieten. Hervorzuheben sind insbesondere die UN-Konferenzen von 1997 in Kyoto (Rio+5 Jahre), auf der das Kyoto-Protokoll zur Ausgestaltung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) mit dem Ziel des Klimaschutzes beschlossen wurde und der Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung 2002 in Johannesburg (Rio +10), der die Ergebnisse der Agenda 21 bilanzieren und neue Zeitziele und Handlungsprioritäten festlegen sollte. (Friedrichsen, 2018, S. 12)

Im September 2015 einigten sich schließlich die Staats- und Regierungschefs der 193 Mitgliedstaaten der Vereinten Nationen bei der UN-Generalversammlung im Rahmen einer Agenda 2030 auf 17 globale Nachhaltigkeitsziele mit 169 Unterzielen, die sogenannten Sustainable Development Goals (SDGs). Sie gelten als Nachfolger der im Jahr 2000 beschlossenen Millennium Development Goals (MDGs), die auf der 55. Generalversammlung der Vereinten Nationen in New York im Jahr 2000 festgelegt wurden, und sollen bis 2030 erreicht werden. (Friedrichsen, 2018, S. 13). Die SDGs umfassen ökonomische, ökologische und soziokulturelle Entwicklungsaspekte und betreffen damit teilweise auch das Bauwesen. Auf die SDGs, die direkt das Bauen und Wohnen betreffen, wird im Kapitel 2.2 Nachhaltigkeit im Bauwesen eingegangen.

2.2. NACHHALTIGKEIT IM BAUWESEN

Der im Jahr 1998 veröffentlichte Abschlussbericht „Schutz des Menschen und der Umwelt“ der Enquête-Kommission¹ zur Entwicklung einer nationalen Nachhaltigkeitsstrategie maß dem Bereich Bau und Umwelt besondere Gewichtung bei, da es „wohl kaum ein vergleichbares Beispielfeld (gibt), bei dem das komplexe Beziehungsgeflecht zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Zielen und Aspekten so stark ausgeprägt ist [...]“ (Deutscher Bundestag, 1998). Der Bericht definiert die bau- und wohnspezifischen Aspekte der drei Dimensionen (ökologische, ökonomische und soziale) und hebt dabei insbesondere die Flächeninanspruchnahme und die Zersiedelung der Landschaft hervor (siehe Anlage 3).

Im Hinblick auf den Gebäudesektor soll „Nachhaltigkeit von Gebäuden [...] vermehrt über den Lebenszyklus durch Einbeziehung ökologischer, ökonomischer wie auch sozialer Aspekte transparent, messbar und überprüfbar ausgewiesen werden – bei gleichzeitiger Beachtung der städtebaulichen, gestalterischen, technischen und funktionalen Qualität. Die Beurteilung soll sich dabei auf wissenschaftlich anerkannte Methoden der Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenrechnung stützen“ (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 9). Die wesentlichen Inhalte der drei Dimensionen sind in Abbildung 2 zusammengefasst und werden nachfolgend vorgestellt.

		ÖKOLOGIE	ÖKONOMIE	SOZIOKULTURELLES
SCHUTZZIELE	Nachhaltigkeit allgemein	▪ Schutz der natürlichen Ressourcen / sparsamer und schonender Umgang mit natürlichen Ressourcen ▪ Effizienzsteigerung ▪ Reduktion von Schadstoffbelastungen / Umwelteinwirkungen ▪ Schutz der Erdatmosphäre, des Bodens, des Grundwassers und der Gewässer ▪ Förderung einer umweltverträglichen Produktion	▪ Lebenszykluskosten senken ▪ Verringerung des Subventionsaufwandes ▪ Schulden verringern ▪ Förderung einer verantwortungsbewussten Unternehmerschaft ▪ Schaffung nachhaltiger Konsumgewohnheiten ▪ Schaffung dynamischer und kooperativer internationaler wirtschaftlicher Rahmenbedingungen	▪ Schutz und Förderung der menschlichen Gesundheit ▪ sozialen Zusammenhalt und Solidarität stärken ▪ kulturelle Werte erhalten ▪ Chancengleichheit ▪ Sicherung von Erwerbsfähigkeit und Arbeitsplätzen ▪ Armutsbekämpfung ▪ Bildung / Ausbildung ▪ Gleichberechtigung ▪ Integration ▪ Sicherheit / lebenswertes Umfeld
	Nachhaltiges Bauen	▪ Schutz der natürlichen Ressourcen ▪ Schutz des Ökosystems	▪ Reduzierung der Lebenszykluskosten ▪ Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ▪ Erhalt von Kapital/ Wert	▪ Bewahrung von Gesundheit, Sicherheit und Behaglichkeit ▪ Gewährleistung von Funktionalität ▪ Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität

Abbildung 2: Schutzziele der Nachhaltigkeit Allgemein und auf den Baubereich bezogen, Auszug aus Abbildung 2 (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 16)

¹ Das in der „[...]Geschäftsordnung des Deutschen Bundestages verankerte Institut der Enquête Kommission (EK) [...] ist ein Gremium, in dem Abgeordnete gemeinsam mit externen Sachverständigen komplexe und politisch bedeutsame gesellschaftliche und naturwissenschaftlich-technische Entwicklungen systematisch aufarbeiten“. (Knelangen (2015))

Die **ökologische Dimension** definiert als primäres Schutzziel die Ressourcenschonung, die durch den optimierten Einsatz von Baumaterialien und Bauprodukten, eine geringe Flächeninanspruchnahme, die Erhaltung und Förderung der Biodiversität sowie eine Minimierung des Energie- und Wasserverbrauchs erreicht werden soll. "Betrachtet werden alle erforderlichen Energie- und Stoffströme von der Gewinnung über den Transport und Einbau bis hin zum Rückbau sowie die globalen und lokalen Umweltwirkungen durch den Energieverbrauch aus der Herstellung der Baustoffe und in der Phase der Gebäudenutzung. Ziel ist die Minimierung der Umweltbelastungen auf lokaler und globaler Ebene." (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 15)

Die **ökonomische Dimension** hat die gebäudebezogenen Lebenszykluskosten, die Wirtschaftlichkeit und die Wertstabilität im Fokus. Betrachtet werden daher neben den Anschaffungs- beziehungsweise Errichtungskosten insbesondere auch die Bau- folgekosten, die erfahrungsgemäß die Errichtungskosten um ein Vielfaches übersteigen können. "Durch eine umfangreiche Lebenszykluskostenanalyse lassen sich zum Teil erhebliche Einsparpotenziale während der Planung identifizieren. Als Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs – LCC) werden dabei insbesondere die Errichtungskosten und die Baunutzungskosten betrachtet." (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 15). Ein Gebäude stellt stets eine Reaktion auf die Standortgegebenheiten dar, daher werden auch Informationen zu den Standortmerkmalen betrachtet. (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 17) Zu den Standortmerkmalen gehören politische und strategische Aspekte wie die infrastrukturelle Erschließung (Verkehrsanbindung) sowie die Stärkung des regionalen Arbeitsmarktes (Regionalökonomie). (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 47)

Die **soziale und kulturelle (soziokulturelle) Dimension** umfasst die Schutzziele, die die soziale und kulturelle Identität und das Wertempfinden des Menschen beeinflussen. Die sozialen Bedürfnisse des Einzelnen und die kulturellen Wertvorstellungen eines gesellschaftlichen Systems haben großen Einfluss auf die Art, wie die Umgebung wahrgenommen wird und letztlich auf das Wohlbefinden der Rezipienten. Die soziokulturelle Dimension hat daher sowohl die Nutzerbedürfnisse und Funktionalität als auch die kulturelle und ästhetische Bedeutung des Gebäudes als Fokus. Kritische Bewertungsfaktoren sind dabei vor allem immaterielle Werte wie Gesundheit, Mobilität, Komfort und Lebensqualität sowie Chancengleichheit, Partizipation, Bildung und kulturelle Vielfalt. (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 15)

Die DIN EN 15643 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden“ legt fest, dass die drei zuvor genannten Dimensionen gleichwertig zu betrachten sind. (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 17)

2.3. DAS KONZEPT DER KREISLAUFFÄHIGKEIT

Die Agenda 2030 leitet 17 Ziele für eine Nachhaltige Entwicklung ab und bildet das Leitprinzip für die 193 unterzeichnenden Staaten. Der Umgang mit den begrenzten materiellen Ressourcen unseres Planeten wird insbesondere in den Zielen 8, 9, 11, 12, 13 und 14 thematisiert, die die Bundesregierung im „Bericht über die Umsetzung der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ als „Transformationsbereich Kreislaufwirtschaft“ zusammenfasst.

Tabelle 1 Übersicht der zum Transformationsbereich Kreislaufwirtschaft zusammengefassten Sustainable Development Goals (eigene Darstellung nach (Martens & Obenland, 2017))

Ziel	Inhalt
Ziel 8	Dauerhaftes, breitenwirksames und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern (Martens & Obenland, 2017) 8.4 Bis 2030 die weltweite <u>Ressourceneffizienz</u> in Konsum und Produktion Schritt für Schritt verbessern und die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltzerstörung anstreben, im Einklang mit dem Zehnjahres-Programmrahmen für nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster, wobei die entwickelten Länder die Führung übernehmen (Martens & Obenland, 2017)
Ziel 9	Eine widerstandsfähige <u>Infrastruktur aufbauen</u> , breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen. 9.4 Bis 2030 die <u>Infrastruktur modernisieren</u> und die Industrien nachrüsten, um sie nachhaltig zu machen, mit effizienterem <u>Ressourceneinsatz</u> und unter vermehrter Nutzung sauberer und umweltverträglicher Technologien und Industrieprozesse, wobei alle Länder Maßnahmen entsprechend ihren jeweiligen Kapazitäten ergreifen (Martens & Obenland, 2017)
Ziel 11	<u>Städte und Siedlungen</u> inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten 11.6 Bis 2030 die von den Städten ausgehende Umweltbelastung pro Kopf senken, unter anderem mit besonderer Aufmerksamkeit auf der Luftqualität und der kommunalen und sonstigen <u>Abfallbehandlung</u>
Ziel 12	Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen. 12.2 Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der <u>natürlichen Ressourcen</u> erreichen. 12.5 Bis 2030 das Abfallaufkommen durch Vermeidung, Verminderung, Wiederverwertung und Wiederverwendung deutlich verringern (Martens & Obenland, 2017)
Ziel 13	Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen* (Martens & Obenland, 2017)
Ziel 14	Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen (Martens & Obenland, 2017)

Um die Ziele der SGDs einzuhalten und damit tatsächlich nachhaltig zu agieren, muss der Fokus daher auch auf die Ressourceneffizienz und Abfallvermeidung gelegt werden. Den größten Ressourcenverbrauch pro Kopf haben gemäß Statistiken der Vereinten Nationen (UN) die Industriestaaten (Rosen, 2020, S. 4), wobei ein Großteil der Ressourcen durch die Bauindustrie verbraucht und anschließend entsorgt werden. Die Bautätigkeit macht in der Schweiz 84% (Bundesamt für Umwelt [BAFU], 2021) und in Deutschland mit 52% (Bundesregierung, 2020, S. 55) den größten Anteil des Abfallaufkommens aus.

Der hohe Rohstoffverbrauch lässt sich auf die lineare Bauwirtschaft zurückführen, deren Verlauf in Abbildung 3 dargestellt ist. Lineare Wirtschaftssysteme basieren auf der Verwendung von endlichen Ressourcen und führen dazu, dass durch zunehmenden Konsum und Bevölkerungswachstum die Ressourcen immer knapper werden, die Umweltprobleme sich stetig verschärfen und die globale Ungerechtigkeit drastisch zunimmt.

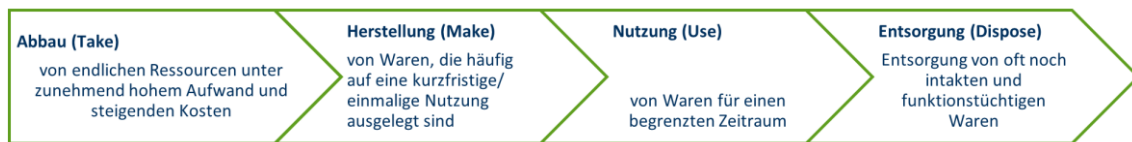


Abbildung 3: Lineares Modell (Durán et al., 2019, S. 6)

Einerseits werden Rohstoffe, die zum Bauen benötigt werden, immer knapper und dadurch aufwändiger abzubauen, sodass ihre Kosten stetig steigen und zu einer ungleichen Verteilung führen. Andererseits wird ein Großteil der Rohstoffe nach ihrer Nutzung auf Deponien entsorgt oder verbrannt und tragen dadurch zu massiven Umweltproblemen bei. (Durán et al., 2019, S. 5) Ein weiteres Problem des linearen Modells ist ein Design-Problem: endliche Ressourcen werden zu Waren (Bauteile) weiterverarbeitet, die häufig einen einmaligen, verhältnismäßig kurzen Nutzungszeitraum vorsehen. Beispielweise haben die immer höheren Ansprüche an die funktionale und technische Qualität von Bauwerken, wie Anforderungen an die Statik und die Dichtigkeit sowie an den Brand-, Wärme- und Schallschutz zur Entwicklung hochtechnisierter (Verbund-)Baustoffe geführt, deren Recyclingfähigkeit oft eingeschränkt, wenn nicht gar unmöglich ist. (Rosen, 2020, S. 10) Wenn diese Waren bestimmten Vorgaben nicht mehr entsprechen, werden sie entsorgt, obwohl sie unter Umständen noch voll funktionstüchtig sind und andernorts dringend benötigt werden. (Durán et al., 2019)

Ressourceneffizienz erfordert daher ein Umschwenken des linearen Wirtschaftssystems hin zu einer Kreislaufwirtschaft. Als Kreislaufwirtschaft (engl.: circular economy) wird ein sich selbst erholendes und erneuerndes Wirtschaftssystem bezeichnet, dessen Ziel der Erhalt des höchstmöglichen Nutz- und Geldwertes seiner Materialien und Produkte in geschlossenen Stoffkreisläufen ist.

Urban Mining

Eine zentrale Strategie zur Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen ist die Ausschöpfung des anthropogenen Lagers oder Urban Mining (UM). Das heißt ihre integrale Bewirtschaftung mit dem Ziel, aus langlebigen Gütern sowie Ablagerungen Sekundärrohstoffe zu gewinnen. Im Urban Mining wird die Gesamtheit der bereits vorhandenen (verbauten) Ressourcen betrachtet, unabhängig davon, ob die Güter noch aktiv genutzt und erst in absehbarer Zukunft freigesetzt werden oder ob sie

bereits das Ende ihres Nutzungshorizonts erreicht haben. UM geht über die Nutzung innerstädtischer Lager hinaus und bezieht neben Konsumgütern auch Infrastrukturen, Gebäude und Ablagerungen auf Deponien ein. (Müller et al., 2017, S. 17)

Der Unterschied zur Abfallwirtschaft besteht in den Betrachtungsgrenzen beider Ansätze: UM beschränkt sich nicht nur auf die Menge, Zusammensetzung und die bestmögliche Rückführung der Materialien in den Stoffkreislauf von Abfällen, sondern aller langlebigen Güter. Ziel ist dabei, künftige Stoffströme prognostizieren zu können und bestmögliche Verwertungswege abzuleiten, noch bevor die Materialien als Abfall anfallen. Dennoch ist UM kein gänzlich von der Abfallwirtschaft losgelöster Ansatz, sondern ergänzt diesen und verfügt darüber hinaus über Schnittmengen zum Produktions- und zum Konsumbereich. (Müller et al., 2017, S. 17)

2.3.1. RECHTLICHE GRUNDLAGEN

Auf internationaler und nationaler Ebene ist die Entwicklung zur Circular Economy in verschiedenen Strategien und Gesetzen verankert. Im folgenden Abschnitt wird auf die verschiedenen rechtlichen Rahmenbedingungen und Instrumente eingegangen. Das Zusammenspiel der rechtlichen Regulierungen auf europäischer und nationaler (deutscher) Ebene ist in Abbildung 4 dargestellt.

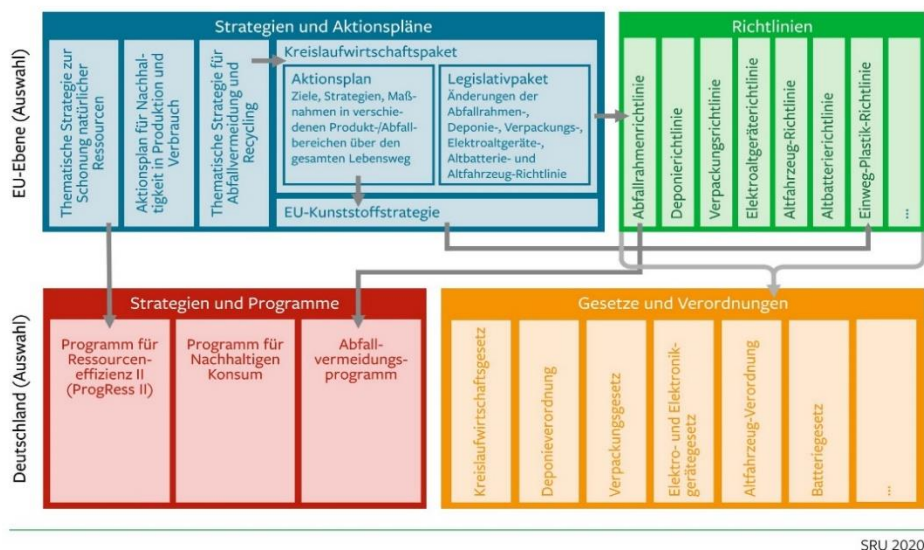


Abbildung 4: Zusammenspiel von Strategien und Regulierungen zur Kreislaufwirtschaft auf europäischer und deutscher Ebene (Abbildung 3-06) (Baron et al., 2020, S. 128)

EU

Auf europäischer Ebene wurde 2015 von der Europäischen Kommission erstmals ein Aktionsplan „Circular Economy Package“ verabschiedet, in dem der Übergang zur Kreislaufwirtschaft als zentraler Hebel für eine „nachhaltige, CO₂ effiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft“ wird. (Durán et al., 2019, S. 7)

Das Paket, in Abbildung 4 in grün dargestellt, umfasste einen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft sowie ein Legislativpaket, das Änderungen der Abfallrahmenrichtlinie, der Verpackungsrichtlinie, der Deponierichtlinie sowie der Altfahrzeug-Richtlinie, Batterierichtlinie und Elektroaltgeräte-Richtlinie vornimmt. (Baron et al., 2020, S. 128–129) Der Aktionsplan sah insgesamt 54 konkrete Maßnahmen vor, „die den gesamten Lebenszyklus abdecken: von der Produktion und dem Verbrauch über die Abfallbewirtschaftung und den Markt für Sekundärrohstoffe bis hin zu einem überarbeiteten Legislativvorschlag für Abfälle.“ (Environment, 2022)

Im März 2020 wurde ein neuer Aktionsplan (circular economy action plan (CEAP)) verabschiedet. Neben den Strategien des Designs nachhaltiger Produkte, der Stärkung der Position von Verbrauchern und öffentlichen Auftraggebern sowie der Integration des Kreislaufprinzips in Produktionsprozessen wird konkret auf die „Bauwirtschaft und Gebäude“ eingegangen. Dabei sollen die Nachhaltigkeitsleistung von Bauprodukten berücksichtigt, Level(s)² zur Einbeziehung der Lebenszyklusanalyse in die öffentliche Auftragsvergabe genutzt und Maßnahmen zur Verbesserung der Langlebigkeit und Anpassungsfähigkeit von Bauten im Einklang mit den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft für die Gestaltung von Gebäuden und Entwicklung digitaler Gebäude-Logbücher (siehe Kapitel 3.1 Zertifizierungs- und Bewertungssysteme) gefördert werden (Europäische Kommission, 2020b). Quantitative Messgrößen sind im Actionplan nicht hinterlegt.

Weiter trat im Juli 2020 die EU-Taxonomie Verordnung in Kraft, die Kriterien zur Bestimmung, ob eine Wirtschaftstätigkeit als ökologisch nachhaltig einzustufen ist, enthält. Sie soll die Ermittlung des Grads der ökologischen Nachhaltigkeit einer Investition ermöglichen. (2020/852, 2020/1, S. 13) Innerhalb der Verordnung werden insgesamt sechs Umweltziele definiert, unter denen als viertes "der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft" genannt wird. (2020/852, 2020/1, S. 17) In diesem Rahmen muss die Europäische Kommission technische Bewertungskriterien für jedes Umweltziel im Wege delegierter Rechtsakte festlegen. Ein erster delegierter Rechtsakt über nachhaltige Tätigkeiten im Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel und die Klimaschutzziele wurde am 9. Dezember 2021 im Amtsblatt veröffentlicht und gilt seit Januar 2022. (Europäische Kommission, 2020a) Die technischen Bewertungskriterien für die restlichen Ziele, inklusive dem Umweltziel der Kreislaufwirtschaft, sollen in einem zweiten Rechtsakt im Jahr 2022 veröffentlicht werden. (Europäische Kommission, 2020a) Weitere gesetzliche Regelungen, die eine kreislauffähige Bauwirtschaft beeinflussen und ermöglichen sollen, sind u.a. in der Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) festgelegt, auf die hier im Detail nicht eingegangen werden soll.

² Level(s) ist ein Bewertungs- und Berichterstattungsinstrument der Europäischen Kommission für die Nachhaltigkeitsleistung von Gebäuden mit dem Fokus auf der Kreislauffähigkeit. <https://ec.europa.eu/environment/levels>

Deutschland

Das bisherige Verständnis des Begriffs Kreislaufwirtschaft wurde in Deutschland um zentrale Aspekte der Circular Economy erweitert. (Durán et al., 2019, S. 8) Die Umsetzung des EU-Legislativpakets erfolgt in Deutschland unter anderem durch die Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG), die am 29. Oktober 2020 in Kraft getreten ist, des Verpackungsgesetzes (VerpackG), geltend seit dem 3. Juli 2021 und des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG), geltend seit 01. Januar 2022. Ziel ist die Verbesserung des Ressourcenmanagements und die Steigerung der Ressourceneffizienz. Die Vermeidung von Abfällen steht dabei an erster Stelle. Rohstoffe werden möglichst lange im Kreislauf geführt und nachhaltig bewirtschaftet. (Christiane Nowotzki, 2022). Ein Gesetz, das die konkrete Umsetzung dieser Ziele regelt, ähnlich zum Gebäude-Energie-Gesetz (GEG), ist auf nationaler Ebene nicht vorhanden.

Innerhalb der nationalen Strategien sind insbesondere die Rohstoffstrategie und das Deutsche Ressourcen-Effizienzprogramm ReProgress III zu nennen. Die Rohstoffstrategie der Bundesregierung deckt das gesamte Spektrum mineralischer, nicht-energetischer Rohstoffe ab und hat die langfristige Sicherstellung der Versorgung der Wirtschaft mit Rohstoffen zum Ziel. Sie wurde 2010 erstmalig durch die Bundesregierung verabschiedet und 2020 novelliert. Sie enthält 17 konkrete Maßnahmen in den drei Säulen der Rohstoffversorgung: heimische Rohstoffe, Importe sowie Recycling. (Christiane Nowotzki, 2022)

Mit insgesamt 118 Maßnahmen stellt das Deutsche Ressourcen-Effizienzprogramm ReProgress III (2020) hingegen verschiedene Möglichkeiten vor, die Nutzung von natürlichen Ressourcen effizienter und deren Beschaffung verantwortungsvoller zu gestalten. (Bundesministerium für Umwelt & Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2020) Als messbare Indikatoren werden die Gesamtrohstoffproduktivität, der Rohstoffkonsum und der Sekundärrohstoffeinsatz genannt, die in Anlage 6 detailliert ausgeführt werden.

Schweiz

Der Artikel 73 der Schweizerischen Bundesverfassung hält fest: «Bund und Kantone streben ein auf Dauer ausgewogenes Verhältnis zwischen der Natur und ihrer Erneuerungsfähigkeit einerseits und ihrer Beanspruchung durch den Menschen andererseits an». Der Artikel bildet die konzeptionelle Grundlage für die Strategie Nachhaltige Entwicklung 2016-2019 des Bundesrats, welche die Ziele für Nachhaltige Entwicklung der SDGs der Vereinten Nationen auf nationaler Ebene umsetzt. Die Kreislaufwirtschaft ist gesetzlich bisher nicht verankert. Die wichtigsten Schritte in Richtung Ressourceneffizienz wurden im Zuge des Aktionsplans Grüne Wirtschaft und durch die Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfall (VVEA) umgesetzt. Allerdings wurde das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) beauftragt, bis Ende 2022 konkrete Vorschläge

für ein Maßnahmenpaket zur Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft zu erstellen. (BAFU, 2017)

Im Zuge des Aktionsplans Grüne Wirtschaft 2013 wurden ein nationales Netzwerk zur Förderung der Ressourceneffizienz bei Unternehmen (Reffnet.ch) geschaffen sowie diverse Projekte zur Schließung von Stoffkreisläufen (z.B. zur Rückgewinnung von seltenen technischen Metallen oder auch Phosphor) lanciert. Es konnte zudem mit dem Verein «go for impact» (www.go-for-impact.ch) ein breit abgestütztes Netzwerk für den Dialog zur Steigerung der Ressourceneffizienz gegründet werden. (BAFU, 2017)

Die seit 01. Januar 2016 gültige VVEA des Bundes verankert die Vermeidung von Abfällen an der Quelle gesetzlich. Der Schwerpunkt der Verordnung liegt aber im Bereich der Verwertung und Behandlung von Abfällen. Zudem werden gemäß Schwerpunkt 4 «Abfallvermeidung» des Berichts Grüne Wirtschaft «Massnahmen des Bundes für eine ressourcenschonende, zukunftsfähige Schweiz» eine Abfallvermeidungsstrategie für die Schweiz durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Zusammenarbeit mit Kantonen, anderen Bundesämtern und Wirtschaftsorganisationen erarbeitet. (BAFU, 2017)

2.3.2. ZIELE DER KREISLAUFWIRTSCHAFT IM BAUWESEN

Das Modell der Kreislaufwirtschaft wurde 1992 durch die Wirtschaftswissenschaftler David W. Pearce und Robert Kerry Turner in ihrem Buch „Economics of natural resources and the environment“ (deutsch: „Ökonomie der natürlichen Ressourcen und der Umwelt“) theoretisch eingeführt. Die Kreislaufwirtschaft aus umweltökonomischer Sicht basiert auf dem Prinzip der Materialbilanz, was bedeutet, dass alle Stoffströme berücksichtigt werden müssen (Andersen, 2007, S. 135). Dieser Ansatz wurde durch den deutschen Chemiker Michael Braungart und den dem US-amerikanischen Architekten William McDonough in ihrem Buch „Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things“ als Cradle-to-Cradle-Prinzip³ (deutsch: Wiege zur Wiege) weiterentwickelt. Unterschieden wird häufig in einen technischen und in einen biologischen Kreislauf. Der biologische oder stoffliche Kreislauf beschreibt den Prozess, den (biotische) Materialien in der der Biosphäre durchlaufen (C2C im Bau: Orientierung für Kommunen, 2022a): Materialien entstehen durch pflanzliches oder

³ "Das Cradle-to-Cradle-Prinzip (C2C) bezeichnet einen idealisierten, geschlossenen Rohstoffkreislauf nach dem Vorbild der Natur, bei der alle Rohstoffe eines Produkts nach dem Nutzungszeitraum zu 100% im Kreislauf bleiben und wiederverwendet werden können." BauNetz (2022) Das Zertifizierungssystem C2C begleitet eine Produktionsweise „von der Wiege zur Wiege“ (Cradle to Cradle – C2C), die im Gegensatz zu dem Modell „von der Wiege zur Bahre“ (Cradle to Grave) steht und für jegliche Art von Produkten anwendbar, die nach den Prinzipien des Cradle-to-Cradle-Designkonzepts gestaltet sind. Rosen (2020, S. 70)

tierisches Wachstum und verrotten nach ihrem Lebensende, sodass sie dem Wachstumskreislauf als Nährstoffe zugeführt werden können (Hillebrandt et al., 2018, S. 58). Im technischen Kreislauf zirkulieren technische Materialien, die in Gebrauchsprodukten verbaut sind (Hillebrandt et al., 2018). Der technische und der natürliche Kreislauf existieren nicht parallel: Der natürliche Kreislauf ermöglicht erst den technischen, da ihm alle Rohstoffe, die für den technischen Kreislauf notwendig sind, entnommen werden. Die Erde ist ein geschlossenes System, sodass technische Materialien aus dem Kreislauf ausscheiden und linear werden, wenn sie so verändert werden, dass sie nicht mehr oder nur unter erheblichem Aufwand nutzbar sind. (Rosen, 2020, S. 21). Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es daher, die technischen Kreisläufe zu schließen und so zu betreiben, dass sie mit den natürlichen Kreisläufen verträglich, d.h. konsistent, sind. (Rosen, 2020, S. 22).

Dieses Ziel kann im Bauwesen nach Hillebrandt über Vermeidung, Verringerung, Reparatur und Langlebigkeit, Wiedernutzung und Recycling erreicht werden. Verändertes Produktdesign, zirkuläre Wirtschaftsprozesse und Eigentümerverantwortung, neue Materialien und Re-Design gehören ebenso dazu wie Veränderungen im Verhalten der Nutzer und reduktive Praktiken in der Baukultur. (Hillebrandt et al., 2018, S. 6).

Nachfolgend werden Prozesse der Wiederverwendung und -verwertung, Aufbereitung, Weiterverwendung und -verwertung definiert. Recycling meint dabei den Einsatz von Altstoffen mit oder ohne Aufbereitung als Ausgangsstoff für Produkte gleicher Qualitätsstufen. Können Altstoffe nur unter Wertverlust wiedereingesetzt oder weiterverarbeitet werden, spricht man von Downcycling. Eine Übersicht der Nutzungs- und Lebenszyklen ist der Abbildung 5 zu entnehmen.

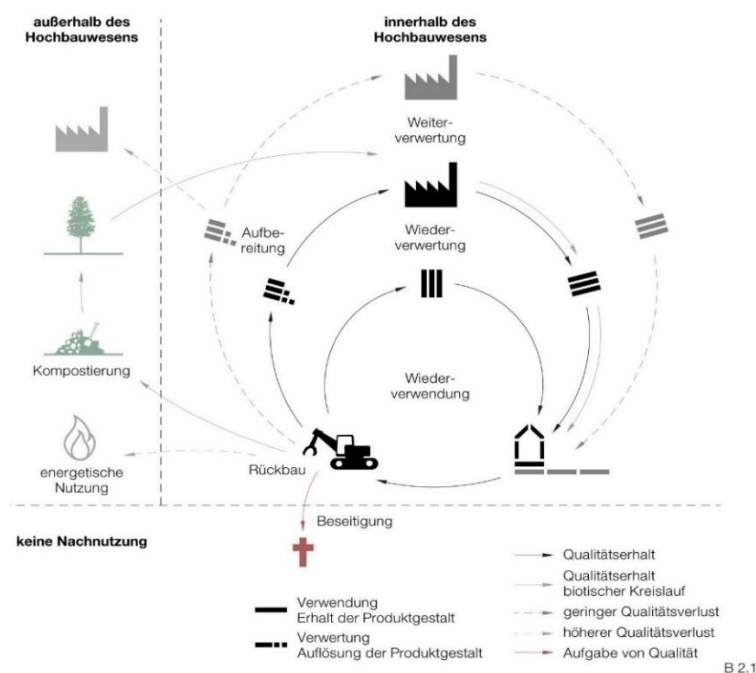


Abbildung 5: Nutzungs- und Lebenszyklen von Baustoffen nach Hillebrandt (Hillebrandt et al., 2018, S. 59)

Die Wieder- und Weiter**verwendung** streben die Erhaltung der Produktgestalt für einen Wiedereinsatz an (Hillebrandt et al., 2018, S. 59).

Wiederverwendung

Die Wiederverwendung oder "Re-Use" ist der Wiedereinsatz eines Produktes entsprechend seinem ursprünglichen Zweck. Beispielsweise kann eine Tür nach ihrem Ausbau und Reinigung erneut als Tür verwendet werden. (Hillebrandt et al., 2018, S. 59)

Weiterverwendung

Weiterverwendung oder „Further-Use“ ist der erneute Einsatz eines Bauprodukts, jedoch nicht für seinen ursprünglichen Zweck, da seine Qualität für die ursprüngliche Eignung nicht mehr gewährleistet werden kann. Durch den entstandenen Qualitätsverlust bedeutet die Weiterverwendung einen Ressourcenverlust und gilt somit als Downcycling. Beispiel: Alte Mauersteine, die anschließend im Außenraum oder in der Landschaftsplanung verwendet werden. (Hillebrandt et al., 2018, S. 60)

Verwertungsprozesse implizieren hingegen die Auflösung der ursprünglichen Produktgestalt (Hillebrandt et al., 2018, S. 60):

Wiederverwertung

Die Wiederverwertung werden Altstoffe durch einen Aufbereitungsprozess, der zunächst die Produktgestalt auflöst, zu Ausgangsstoffen, aus denen man Werkstoffe der gleichen Qualität und Produktgestalt herstellen kann. Dabei handelt es sich um einen fast geschlossenen Verwertungskreis. „Beispiel: Ein Stahlträger wird eingeschmolzen und zu einem neuen Stahlträger anderer Profilart, jedoch ohne Qualitätsverlust des Materials wiederverwertet.“ (Hillebrandt et al., 2018, S. 60)

Weiterverwertung

Bei der Weiterverwertung werden Altstoffe unter Qualitätsverlust aufbereitet, so dass sie nicht als Ausgangsstoffe für Produkte der gleichen Qualitätsstufe dienen können. Da dieser Prozess mit einem Ressourcenverbrauch und daher mit Abfallaufkommen einhergeht, zählt es als Downcycling. Beispiel: Aus Flachglas wird Glaswolle hergestellt. (Hillebrandt et al., 2018, S. 60)

Die Fähigkeit von Materialien, Produkten oder Konstruktionen, nach einer Nutzungsphase ohne Qualitäts- und Wertverlust oder Gefährdung von Fauna und Flora wieder in geschlossenen Kreisläufen aufzugehen, wird Kreislaufgerechtigkeit oder Kreislauffähigkeit genannt, engl: circularity. (Heisel & Hebel, 2021, S. 18).

2.4. NACHHALTIGKEITS-ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME

Im Kapitel 2.3 Das Konzept der Kreislauffähigkeit wurde festgestellt, dass die Kreislauffähigkeit Teil der Sustainable Development Goals und im Konzept der Nachhaltigkeit inbegriffen ist. Im vorliegenden Kapitel wird nun betrachtet, ob und in welchem Umfang die Ziele der Kreislauffähigkeit in den bereits etablierten Nachhaltigkeitszertifizierungen betrachtet werden.

2.4.1. NATIONALE UND INTERNATIONALE ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME

Das Ergebnis einer Zertifizierung wird in Form eines Nachhaltigkeitslabels (auch Gütesiegel, Gütezeichen oder Qualitätssiegel) ausgedrückt. Ein Nachhaltigkeitslabel ist ein marktwirtschaftliches Merkmal. Es attestiert einem Gebäude oder größerem Gebäudeteil die erreichte Qualität und Nachhaltigkeit, dient aber auch als Kommunikationsinstrument nach außen. Die Zertifizierung und das Erlangen eines Labels sind freiwillig. Sie zielen jedoch darauf ab, Vertrauen in die Qualität des Planungs- und Bauprozesses sowie des Bauwerks an sich zu schaffen und nicht zuletzt die Vermarktung eines Gebäudes zu erleichtern. (Mark et al., 2021). Im Nachfolgenden werden „Zertifizierung“ und „Label“ gleichgesetzt.

Die ersten "Green Building Councils" wurden in den 1990er Jahren auf nationaler Ebene (u.a. in den USA, Australien, Spanien, Großbritannien und Japan) gegründet, um das Thema Nachhaltigkeit beziehungsweise Green Building voranzutreiben. (Friedrichsen, 2018, S. 23). Das britische System Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM) war in den 1990er Jahren das erste seiner Art. Aktuell gibt es allein in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union 54 nationale Labels. Hinzu kommen weltweit 37 verschiedene internationale Labels. (Sánchez Cordero et al., 2020). Zu nennen sind hier beispielsweise die US-amerikanische Variante Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Haute Qualité Environnementale (HQE) in Frankreich, Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE) in Japan oder Green Star in Australien. (DGNB & Co.: *Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei den Zertifizierungssystemen für Gebäude*, 2022). Die wichtigsten Labels weltweit sind der Abbildung 6 auf Seite 17 zu entnehmen.



Abbildung 6 Internationale Green Building Labels; (Swissbau, 2021)

In vorliegender Arbeit wird auf eine Auswahl der Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme Bezug genommen. Die Auswahl beschränkt sich hierbei auf die drei wichtigsten internationalen Label BREEAM, LEED, CASBEE und die wichtigsten nationalen Labels der Schweiz und Deutschland. Als internationale Zertifizierungssysteme werden die Systeme verstanden, die ein gemeinsames Zertifizierungssystem und -verfahren haben, das in den Partnerländern an die nationalen Anforderungen angepasst wird. Nationale Labels kommen nur im jeweiligen Land zur Anwendung.

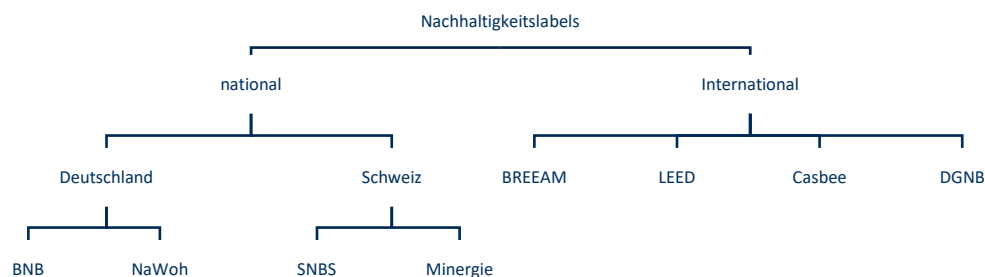


Abbildung 7 Übersicht relevanter internationaler und nationaler Labels

Für die Vergleichbarkeit sind jeweils die Beschreibung der Systeme, die zertifizierbaren Objekte, die Bewertungskriterien sowie die Bewertungen und die dazugehörigen Labels in den Tabelle 24 - Tabelle 31 in den Anlage 4 und Anlage 5 im Detail dargestellt.

2.4.2. EINORDNUNG DER KREISLAUFWIRTSCHAFT IN VORHANDENE ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME

Allen Zertifizierungssystemen aus 2.4.1 Nationale und internationale Zertifizierungssysteme ist gemein, dass sie die Ökobilanzierung zumindest ansatzweise als quantitative Methode für die Darstellung der Kreislauffähigkeit entlang des Lebenszyklus verwenden. Die gebäudespezifische Ökobilanzierung dient der Abbildung der in Anspruch genommenen Ressourcen und der Berechnung von globalen und lokalen Umweltwirkungen. (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 32) Ökobilanzen für Gebäude sind in der DIN 15978 geregelt. Die Berechnung schließt „sämtliche verwendeten Bauprodukte, -prozesse und -dienstleistungen im Verlauf des gesamten Lebenszyklus des betreffenden Gebäudes mit ein.“ Die Informationen zur Gebäudebeurteilung sind nach Modulen gegliedert (Rosen, 2020, S. 28) Für die Kreislauffähigkeit ist insbesondere das ergänzende Modul D „Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen“ entscheidend.

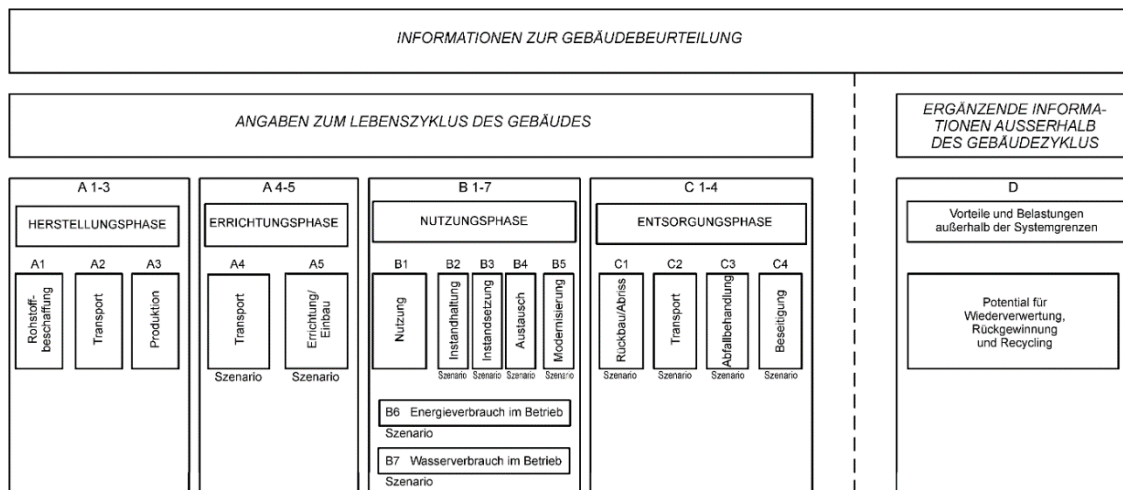


Abbildung 8: Anzeige modularer Informationen für die verschiedenen Lebenszyklusstadien des Gebäudes (Deutsches Institut für Normung e.V., 2012, S. 23)

Die Ökobilanzdaten der einzelnen Baustoffe, die für die Bilanzierung einer Baukonstruktion erforderlich sind, werden produktspezifisch durch die Hersteller in Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declarations, EPDs) oder generisch in der Datenbank Ökobaumat (www.oekobaumat.de) durch das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) veröffentlicht. (Rosen, 2020, S. 28)

Wie die Kreislauffähigkeit in den verschiedenen ausgewählten Systemen verankert ist, wird im Folgenden dargestellt.

BREEAM

Das britische BREEAM System hat sowohl im Neubau als auch bei der Bewertung von Sanierungen den Fokus auf der Planung, was sich unter anderem an der hohen Anzahl qualitativer und boolean (Ja-Nein) Kriterien zeigt, die die Umsetzung bestimmter Konzepte abfragen. Die Kategorien „10. Materialien“ und „11. Abfall“ berücksichtigen Recyclingaspekte auf der Materialebene.

Die Kategorie "10. Materialien" umfasst ansatzweise eine Ökobilanz, in der die Berechnung der Umweltwirkungen der Baukonstruktion im gesamten Lebenszyklus (Module A – C nach DIN EN 15 978) positiv bewertet wird. Die Ergebnisse sind jedoch nicht an Referenzwerte geknüpft. Das Kriterium „verantwortungsbewusste Beschaffung von Bauprodukten“ bewertet wiederverwendete sowie durch BREEAM- anerkannte Zertifizierungssysteme (BES 6001, FSC, EMAS) ausgezeichnete Bauelemente positiv. Das Kriterium "Materialeffizienz" berücksichtigt Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz, beispielsweise durch den Einsatz von Recyclingmaterialien oder Strategien zur Materialeinsparung. Verfahren zur Vermeidung oder hochwertiger On-Site-Verwertung von Abbruchabfällen sowie die Verwendung von Sekundärzuschlagstoffen werden in der Kategorie „Abfall“ bewertet. (Rosen, 2020, S. 65–66)

LEED

Das US-amerikanische LEED-System setzt seit der Systemversion v4 (2016) einen Schwerpunkt auf die Transparenz und Optimierung der Baustoffe. Innerhalb der Kategorie „Materialien und Rohstoffe“ wird insbesondere auf die Materialherkunft, die Verwendung von Bauprodukten mit Umweltproduktdeklaration und der Einsatz von Recyclingmaterialien betrachtet. Im Kriterium "Building Life-Cycle Impact Reduction" wird explizit auf die Wiederverwendung von Bauelementen eingegangen. Punkten kann man durch den Erhalt von Tragelementen im Bestand oder der Verwendung von off-site Re-Use Bauteilen. Die Ökobilanz kann entweder qualitativ oder quantitativ bewertet werden (Credit 1). Eine qualitative Bewertung ist bei der Sanierung eines denkmalgeschützten oder schadstoffbelasteten Bauwerks oder bei Wiederverwendung von Baumaterialien möglich. Alternativ ist eine quantitative Ökobilanzierung der Baustoffe unter Optimierung der Umweltwirkungen (Module A bis C nach DIN EN 15 978) möglich. (Rosen, 2020, S. 66)

CASBEE

Im japanischen Bewertungssystem CASBEE wird der Kreislauffähigkeit bei den Umweltauswirkungen (Loadings) ein ganzer Abschnitt „Reduzierung der nicht-erneuerbaren Ressourcen“ (engl.: „Reducing Use of non-renewable Resources“) gewidmet. In sechs Kriterien wird der Grad der Wiederverwendung, die Trennbarkeit und die Materialwahl mit Fokus auf das Haupttragwerk bewertet. Im Kriterium „Reduzierung des Materialeinsatzes“ (engl.: „Reducing Use of Materials“) wird quantitativ betrachtet, welche Festigkeit das Haupttragwerk hat, denn je höher diese bemessen ist, desto geringer wird der Materialeinsatz sein, der statisch gefordert ist. Es wird wei-

ter betrachtet, ob „erneuerbare“ (nachhaltige) Materialien in der Tragstruktur (Kriterium 2.3) und in nichttragenden Strukturen (Kriterium 2.4) verarbeitet sind. Als nachhaltige Materialien gelten Recyclingmaterialien, die als Eco Mark Product durch das Japanische Umweltgesellschaft (Japan Environment Association) gekennzeichnet sind oder im „Gesetz zur Förderung von umweltfreundlichen Produkten in öffentlichen Projekten“ (Law concerning the promotion of eco-friendly products in public projects“) und im „Green Procurement Law“ geregelt sind. Bewertet wird zudem, ob für Primärtragwerk bestehende Strukturen (on-site oder off-site) weiterhin genutzt werden. Beide Kriterien sind qualitativ, da nur abgefragt wird, ob Re-Use bzw. nachhaltige Materialien genutzt werden, es aber keine weitere Abstufung entsprechend des Umfangs ihres Einsatzes gibt. Die Verwendung von Holz aus nachweislich nachhaltiger Forstwirtschaft wird positiv angerechnet. Im Kriterium „2.6 Maßnahmen zur Verbesserung der Wiederverwendung von Komponenten und Materialien“ (engl.: Efforts to Enhance the Reusability of Components and Materials“) wird die Verwendung von Re-Use Materialien, eine einfache Trennbarkeit der Oberflächenmaterialien (beispielsweise der Verzicht von Klebungen), Rückbau- und Demontagefähigkeit bewertet. Die Bewertung erfolgt qualitativ anhand von vorbewerteten Beispielkonstruktionen. (Institute for Building Environment and Energy Conservation [IBEC], 2004)

DGNB

Im deutschen DGNB System ist eine Liste von 12 Indikatoren mit „Circular Economy Boni“ hinterlegt. Auf diese Indikatoren kann bei Übererfüllung ein Bonus angerechnet werden, sodass die maximal erreichbare Punktzahl in dem Kriterium um den Bonusbetrag erhöht wird. Zusätzlich sind zwei reine Kreislauffähigkeitskriterien im DGNB Katalog, in denen „der Beitrag zur Circular Economy (ist) damit vollständig in diesem Indikator abgebildet (Christine Ruiz Durán, 2018)“ ist und auf die es keine zusätzlichen Bonuspunkte gibt. Eine Übersicht der Indikatoren Circular Economy Boni ist in der Anlage 8 detailliert aufgeführt.

BNB

Obwohl gemeinsam entwickelt, ist die Kreislaufwirtschaft im deutschen Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) nicht wie im DGNB durch Zusatzpunkte hervorgehoben. Die Konzepte der Circular Economy sind hier in einzelnen Indikatoren der Ökobilanzierung, der Materialwahl, des Abfalls und des Rückbaus, Abbruchs und der Verwertung hinterlegt. Zudem werden im Leitfaden Nachhaltiges Bauen stellvertretend für das „Schutzziel Schonung natürlicher Ressourcen“ die folgenden Kriterien zusammengefasst:

Kriterien*	Beschreibung und Bewertung im Hinblick auf
Primärenergiebedarf	BNB 1.2.1 Schonung begrenzter fossiler Energieträger, Erhöhung der Deckungsrate durch erneuerbare Energien
Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen	BNB 1.2.3 Reduzierung der Umweltbelastung infolge Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung
Flächeninanspruchnahme	BNB 1.2.4 Minimierung der zusätzlichen Bodenversiegelung und Maßnahmen zur Entsiegelung bereits versiegelter Flächen

* Verweis auf die entsprechenden Kriteriensteckbriefe, abrufbar unter: www.bnb-nachhaltigesbauen.de

Abbildung 9: Schonung der natürlichen Ressourcen und Erhalt der biologischen Artenvielfalt (Bundesministerium des Innern, 2019, S. 32)

Zudem wird im Indikator BNB_BN 5.2.1 die Prozessqualität der Baustelle betrachtet. Im ersten Teilindikator „Wertstoffoptimierte Baustelle“ wird bewertet, ob Abfälle durch die Wahl der Rohstoffe vermieden werden und unvermeidbare Abfälle "weitestgehend und möglichst hochwertig, ordnungsgemäß und schadlos" verwertet sowie nicht verwertbare Rohstoffe "gemeinwohlverträglich" beseitigt werden. (Bundesministerium für Verkehr & Bau und Stadtentwicklung, 2015). Die Bewertung erfolgt qualitativ anhand der Landesabfallverordnungen, Unterlagen zur Kontrolle der Abfallentsorgung und durch Belehrungsnachweise der Projektbeteiligten.

Der Indikator BNB_BN 4.1.4 bewertet quantitativ die Berücksichtigung von Rückbau, Trennung (Sortenreinheit) und Verwertung in der Neubauplanung. Für die Bewertung eines Bauelements wird der Recyclingfaktor R bestimmt und entsprechend seinem Massenanteil am Gebäude gewichtet. Die Bewertung des Gebäudes entspricht der Summe der Bewertungen seiner Bauteile. In die Berechnung des Recyclingfaktors fließt die Rückbaubarkeit, die Sortenreinheit und die Verwertbarkeit der einzelnen Bauteilschichten ein, die jeweils mit fünf verschiedenen Abstufungen von "sehr günstig" bis "sehr ungünstig" bewertet und anschließend in einem Verhältnis von 3:3:4 gewichtet werden. Diese Abstufungen erfordern eine qualitative Einschätzung des Prüfenden, da sie nicht näher definiert sind. Zur Orientierung werden vorbereitete Beispielkonstruktionen bereitgestellt, bei denen aber keine wissenschaftliche

Grundlage oder Begründung besteht. Die Summe der Punktzahlen (Recyclingfaktoren) aller Bauelemente ergibt die Bewertungspunkte für das Kriterium 4.1.4, das mit 4,5% in das Gesamtergebnis des Gebäudes eingeht. (Rosen, 2020, S. 63)

NaWoh

Im deutschen NaWoh Zertifizierungssystem werden Konzepte der Circular Economy insbesondere in den Abschnitten „technische Qualität“ und „ökologische Qualität“ qualitativ (beschreibend) bewertet. Beim Teilindikator 2.2.5 Dauerhaftigkeit wird zwar die Wichtigkeit der Dauerhaftigkeit für die Ressourcenschonung adressiert, eine allgemein anerkannte oder genormte Methode zur Bewertung liegt aber nicht vor. Vielmehr wird anhand einer Checkliste die Lebensdauer der verschiedenen Bauteile geschätzt. Der Teilindikator 2.2.7 Rückbau-/ Recyclingfreundlichkeit der Baukonstruktion zielt auf die Rückbaufähigkeit und anschließende Verwertung der Bauteile ab. Auch hier ist keine genormte Methode bekannt, sodass zunächst ein Gebäudesteckbrief inkl. potenzieller Schadstoffbelastungen ausgefüllt und anschließend die Bauteilgruppen Wände, Fußbodenaufbau, Dachaufbau, Technische Anlagen und Gebäudetechnik betrachtet werden (siehe Abbildung 10). Es werden neben den Materialien auch ihre Verbindungsart und verschiedene Recyclingmöglichkeiten abgefragt. Auf welcher Grundlage und wie die Bewertung dieses Kriteriums stattfindet, ist nicht beschrieben. In der Hauptkriteriengruppe „Ökologische Qualität“ wird im Kriterium 3.1.3 die Flächeninanspruchnahme quantitativ über eine Bewertungstabelle sowie in den Kriterien 3.2.4 und 3.2.5 die Materialwahl hinsichtlich ihrer Schadstoffe bzw. der Herkunft von Holzerzeugnissen qualitativ bewertet.

Rückbau- und Recyclingkonzept pro Bauteil			
Wände			
Art der verwendeten Materialien			
Angabe der festverbundenen angrenzenden Bauteile			
Materialverbundstoffe mit genauem Einsatzort			
Gefahrstoffe mit genauem Einsatzort			
Vorschlag zur Rückbaumethode			
Recyclebarkeit der Materialien (ggf. mit Massenschätzung)		kg, tonnen, m3, m2	Wie zu recyceln?
	Material 1:		
	Material 2:		
	Material 3:		
	...		
Rücknahmemöglichkeiten	Material 1: Material 2: Material 3: ...		
Hinweise zur Zwischenlagerung von Materialien			
relevante technische Datenblätter	[Name Datenblatt 1] [Name Datenblatt 2] ...		

Abbildung 10: NaWoh Teilindikator 2.2.7 Rückbau-/Demontierfreundlichkeit, Rückbau- und Recyclingkonzept pro Bauteil (Kerz, 2016, S. 52)

Minergie

Die schweizerischen Minergie (Standard), Minergie-A- und Minergie-P-Zertifizierungen berücksichtigen keine Aspekte der Kreislauffähigkeit, sondern haben den Schwerpunkt in der Bauphysik und dem Energiebedarf. Der Zusatz „eco“ erweitert

diese Zertifizierungen um die Themen Gesundheit und Bauökologie. Insbesondere die Gruppe „Bauökologie“ fragt in den Kriterien „Gebäudekonzept“, „Graue Energie“⁴ und „Materialien und Bauprozess“ quantitativ Konzepte der Circular Economy ab. Fokus liegt beim Gebäudekonzept auf der Nutzungsflexibilität und Anpassbarkeit der Grundrisse, sowie die Zugänglichkeit der Technischen Anlagen und Komponenten, die im Allgemeinen eine kürzere Lebensdauer aufweisen als das Bauwerk, um die Wartung, Reparatur und den Austausch zu ermöglichen. In den Kriterien „BNG4.010 Rückbaufähigkeit von Gebäudehülle und Sekundärstruktur“ und „BNG4.020 Rückbaufähigkeit von Gebäudetechnik und Tertiärstruktur“ wird anhand von Detail- und Werkplänen qualitativ bewertet, ob „lösbare, rein mechanische Befestigungen verwendet (werden), welche den späteren Austausch, die Verstärkung oder Wiederverwendung der Bauteile erlauben, ohne dass angrenzende Bauteile beschädigt oder erneuert werden müssen.“ (Minergie-ECO & ecobau, 2020). Neben dem Recyclinganteil an den Massivbauteilen wird im Bereich „Materialien und Bauprozess“ zudem auf die Trennbarkeit eingegangen: In den Kriterien „BNM4.070 Schwer trennbare Kunststoffbeläge und -abdichtungen“ und „BNM5.010 Verzicht auf Beheizung des Rohbaus“ wird positiv bewertet, wenn auf Klebungen und sonstige Verbundwerkstoffe sowie "auf eine Beheizung des Gebäudes [...] verzichtet (wird), solange die Wärmedämmung nicht vollständig erstellt und die Gebäudehülle undicht ist" (Minergie-ECO & ecobau, 2020). Alleinstellungsmerkmal der Minergie-ECO-Zertifizierung ist die Berechnung der Grauen Energie mithilfe eines Excel-Tools (siehe 3.1 Zertifizierungs- und Bewertungssysteme).

SNBS

Im zweiten nationalen Schweizer Zertifizierungssystem werden einzelne Aspekte der Circular Economy im Bereich Wirtschaft und Umwelt umgesetzt. Der SNBS basiert auf den Anforderungen von Minergie und Minergie-ECO, sodass einige Kriterien übernommen wurden und lediglich die Bewertung angepasst wurde. Im Kriterium „202.1 Bauweise, Bauteile und Bausubstanz“ sind die Minergie-ECO Messgrößen „Zugänglichkeit vertikaler HT-Installationen“, „Zugänglichkeit horizontaler HT-Installationen“, „Bauliche Bedingungen für den Ersatz von Maschinen und Grossgeräten“, „Rückbaubarkeit von Gebäudehülle und Sekundärstruktur“, „Rückbaubarkeit von Gebäudetechnik und Tertiärstruktur“ aufgeführt. Ebenso werden die im Abschnitt Minergie beschriebenen Indikatoren des Bereichs „Materialien und Bauprozess“ den SNBS Kriterien „303.1: Baustelle“, „303.2: Ressourcenschonung und Verfügbarkeit“ und „303.3: Umwelt- und entsorgungsrelevante Bestandteile“ zugeord-

⁴ „Die graue Energie bezeichnet die gesamte Menge an nicht erneuerbarer Primärenergie (PEne) in Baustoffen, Bauteilen und Gebäuden, die für alle vorgelagerten Prozesse erforderlich ist. Dazu gehören alle Schritte, vom Rohstoffabbau über die Herstellung und Verarbeitung, den Material- oder Bauteilersatz sowie die Entsorgung inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel.“ ecobau (2022)

net. Die Graue Energie wird im SBS System im Indikator „301.1 Energiebedarf Erstellung“ durch das Minergie ECO Tool oder über die «2000-Watt» Methode nach Merkblatt SIA 2040 berechnet. Zudem werden auch die Treibhausgasemission während der Erstellung im Indikator „302.1 Treibhausgasemissionen Erstellung“ erfasst.

Fazit

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Anwendbarkeit der gängigen Nachhaltigkeits-Zertifizierungssysteme zur Bewertung des Kreislaufgerechten Bauens eingeschränkt ist. Nachhaltigkeit wird in den Zertifizierungssystemen für den Gebäudelebenszyklus „Bau – Betrieb – Abbruch“ definiert und basiert somit auf einem linearen Wirtschaftskonzept. Aktuelle Definitionen und Zielableitungen legen dabei den Fokus der Energiereduzierung vor allem auf den Gebäudelebensabschnitt „Betrieb“ und fordern insbesondere den energetisch sinnvollen Bau und Entwurf von Gebäuden. Deutlich seltener wird die Energieeinsparung in Bezug auf die Ressourcen und die Reduktion des Ressourcenverbrauchs gefordert (insbesondere in den Abschnitten Bau und Abbruch), die ebenfalls in den Sustainable Development Goals der Agenda 2030 verankert ist.

Allen Gebäudezertifizierungssystemen gemein ist, dass sie Recyclingaspekte enthalten, diese bisher aber weitgehend beschreibend bewertet werden. In den hier betrachteten internationalen Systemen BREEAM und LEED wird die End-Of-Life Phase im Gegensatz zu DGNB und CASBEE nicht berücksichtigt. Bisher fehlt für die Bewertung der Kreislauffähigkeit eine allgemein anerkannte quantitative Ermittlungsmethode. Die in einigen Systemen verankerte Ökobilanzierung nach DIN 15978 ist zwar eine quantitative Methode, die die Recyclingpotenziale auf Gebäudeebene theoretisch abbilden kann. In der praktischen Anwendung bildet sie diese jedoch nur unzureichend ab. Zurückzuführen ist dies zum einen auf die mangelnde Datengrundlage für das Modul D, das die Vorteile und eventuelle Belastungen durch Recycling für den nächsten Lebenszyklus abbildet. Zum anderen liegt die unzureichende Abbildung auch daran, dass sich die Datengrundlage der Ökobilanz auf die Bauteil- und Materialebene, nicht aber auf die Gebäudeebene bezieht. Dies führt dazu, dass beispielsweise zwei fest miteinander verbundene "kreislauffähige" Baustoffe die gleiche Bilanz aufweisen, wie eine Konstruktion, die aus den gleichen Baustoffen besteht, aber lose verbunden ist. Die Trennbarkeit und Demontagefähigkeit sind nicht berücksichtigt. (Rosen, 2020, S. 67) Für eine geeignete Abbildung muss daher entweder die quantitative Betrachtungsmethode der Ökobilanzierung um diese Kriterien erweitert werden oder eine qualitative Bewertung dieser Kriterien ermöglichen.

Weiter fällt auf, „dass weder der Einsatz von Sekundärmaterialien (SM) noch die Abgabe von Materialien zur Wiederverwendung (CRU) oder zum Recycling (MFR) in der Sachbilanz (In- und Output) direkt bewertet werden. Diese sind allerdings wichtige Indikatoren für den Ressourcenschutz, da sie zirkuläre Eigenschaften von Baustoffen abbilden. Nur ausgewählte Umweltauswirkungen, die aus der Sachbilanz resul-

tieren, werden bewertet. Es fehlen jedoch aussagekräftige Informationen zum Verbrauch stofflicher Ressourcen.“ (Rosen, 2020, S. 28) „Ein anderer, in der Ökobilanzierung bisher vernachlässigter Aspekt betrifft die Entscheidungen des End-of-Life-Szenarios auf Gebäudeebene. So gehen derzeit rein statistische Verwertungsquoten in die Bilanzierung ein; die Einbausituation im Gebäude und die sortenreine Trennbarkeit bleiben dagegen unberücksichtigt.“ (Rosen, 2020, S. 31)

3 KREISLAUFFÄHIGKEITSKRITERIEN UND BEWERTUNGSSYSTEME

Im letzten Abschnitt wurde festgestellt, dass die Kreislaufwirtschaft zwar politisch angestrebt ist, eine konkrete Definition der Kreislauffähigkeit im Baubereich sowie rechtliche Rahmenbedingungen jedoch fehlen. Auch technische Bewertungsmaßstäbe, an denen sich die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes oder eines Bauteils zeigen ließen, sind bisher nicht vorhanden. Zudem bilden gängige Nachhaltigkeit-Zertifizierungssysteme die Kreislauffähigkeit nur unzureichend ab und eine Vergleichbarkeit zwischen ihnen ist aufgrund der fehlenden Standards nicht gegeben.

Für die Planung der Kreislauffähigkeit und ihrer Umsetzung im Building Information Modelling muss die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes allerdings durch Eigenschaften beschreibbar sein, die als Daten in ein Modell einfließen können. Im vorliegenden Kapitel soll daher zunächst betrachtet werden, wie verschiedene auf dem Markt präsente Bewertungssysteme und Softwarelösungen zur Planung kreislauffähiger Gebäude die Zirkularität beschreiben und bewerten. Auf dieser Grundlage wird anschließend ein Ansatz für einen allgemeingültigen Kriterienkatalog vorgestellt, der den Planungsprozess mithilfe von Building Information Modelling ermöglichen soll.

3.1. ZERTIFIZIERUNGS- UND BEWERTUNGSSYSTEME

Die Kreislauffähigkeit kann auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden. Materialien werden zu Produkten (Bauteilen) verarbeitet, die wiederum in Systemen verbaut sind. Die Summe dieser Systeme bildet das Gebäude. In vorliegender Arbeit ist das Thema die Planung der Kreislauffähigkeit im Hochbau mithilfe von BIM, sodass der Fokus auf die Bewertungssysteme gelegt wird, die eine Bewertung von Systemen und Gebäuden als Ganzes zulassen und die teilweise mit Building Information Modelling kompatibel sind, indem sie das Austauschformat IFC5 verwenden: Buildings As Material Banks (BAMB), Cradle-to-Cradle (C2C), Concular und Madaster.

⁵ IFC (Industry Foundation Classes) ist ein objektorientiertes Datenmodell, das entwickelt wurde, um die physischen Komponenten von Gebäuden, Produkten und Systemen sowie abstraktere Struktur- oder Energieanalysemodelle, Kostenaufstellungen, Arbeits- und Wartungspläne usw. zu beschreiben. Autodesk GmbH et al. (2020)

3.1.1. BUILDINGS AS MATERIAL BANKS (BAMB)

Das Projekt „Buildings as Material Banks: Integrating Materials Passports with Reversible Building Design to Optimise Circular Industrial Value Chains“ (deutsch: Gebäude als Materialbanken: Integration von Materialpässen mit reversiblen Gebäudedesign zur Optimierung zirkulärer industrieller Wertschöpfungsketten) ist Teil des Horizon 2020 EU-Förderprogramms für Forschung und Innovation von 2014 bis 2020. Das Projekt soll den Paradigmenwechsel von einer Linearen Bauwirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft fördern, der die Konzeption und Bewertung von Materialien, Komponenten und Gebäuden unter Berücksichtigung der Anforderungen eines effektiven Kreislaufprinzips umfasst. (European Commission, 2019) Ziele waren die Erarbeitung zwei sich innerhalb der Wertschöpfungskette ergänzender Frameworks: ein Framework zur Erstellung einheitlicher Materialpässe und ein Framework für reversible Gebäudeentwürfe. Innerhalb des Projektes wurden zu den Frameworks drei Lösungsansätze mit Tools (zurzeit noch im Status eines Prototyps) entwickelt: Material Passports Platform (MPP), Circular Building Assessment (CBA), Reversible Building Design (RBD). Der Grundgedanke der Tools ist, dass ein Gebäude nach bestimmten Regeln (RBD) bereits zirkulär entworfen wird, für alle enthaltenen Materialien, Produkte und Systeme Materialpässe (MPP) erstellt werden und ihre Daten auf der Gebäudeebene unter Einbezug weiterer, für diese Ebene relevanter Kriterien als Kreislaufpotential des Gesamtgebäudes (CBA) ausgewertet werden können. Die technische Umsetzung des Datenaustauschs mit dem CBA ist in Anlage 9 aufgeführt.

Die MPP ist der Prototyp einer Online-Plattform, die laut BAMB „eine zentrale Anlaufstelle“ für die Bewertung des Kreislaufpotenzials⁶ eines Gebäudes mit Fokus auf die Verwendung und Wiederverwendung von Bauteilen und Materialien und die Reduzierung der Abfallerzeugung konzipiert wurde. (BAMB, 2017) Sie soll Materialpässe generieren können. Grundlage für die Materialpässe sind die Ergebnisse der Forschung von Dr. Matthias Heinrich und Prof. Werner Lang der Technischen Universität München, die im Leitfaden „Materials Passports – Best Practice“ in Anlage 10 zusammengefasst sind.

Als zweites Tool wurde der CBA Prototype als Beta-Softwareversion veröffentlicht und konsequent darauf ausgerichtet, den Austausch von Attributen auf der Grundlage von ISO 16739 [Industry Foundation Classes, IFC] zu ermöglichen. (BAMB, 2018, S. 1). CBA kombi-

Es ist ein offener Standard für den softwareübergreifenden Austausch von Gebäudedatenmodellen im Bauwesen. IFC ist ein generisches Format für Geometrie und Daten, die sich in einem BIM-Modell befinden. Als kleinster gemeinsamer Nenner erlaubt es jedoch nur eine sehr begrenzte 2D-Unterstützung und lässt keinen Export von Plänen und Anmerkungen zu. Der IFC Export ist daher immer mit gewissen Datenverlusten verbunden. Autodesk GmbH (2018, S. 4)

⁶ „Das Kreislaufpotenzial einer Konstruktion prognostiziert den Anteil an Materialien und Baustoffen, die unter Berücksichtigung ihres Werts und der Lösbarkeit der Fügung am Ende der Nutzungsdauer in einen mehr oder weniger geschlossenen Materialkreislauf zurückgeführt werden können.“ Hillebrandt et al. (2018, S. 115)

niert die Daten aus BIM-Modellen mit von BAMB generierten Datensätzen, um das Wiederverwendungspotenzial des Gebäudes auf Grundlage der Entwurfsentscheidungen und der Materialauswahl festzustellen.

Das RBD ist hingegen ein Leitfaden, der vorstellt, wie ein Gebäude zirkulär aufgebaut werden muss. Er definiert drei Dimensionen der Reversibilität (Rückbaubarkeit) innerhalb eines Gebäudes: räumliche, strukturelle und materielle Rückbaubarkeit. (Elma Durmisevic, 2019)

Bewertung

Das Projekt BAMB bietet ein umfassendes und ganzheitliches Bewertungssystem, in dem die verschiedenen Tools aufeinander abgestimmt sind, sodass am Ende das Ziel der Bewertung des Kreislaufpotentials steht. Die verschiedenen Module arbeiten zwar sehr detailliert die für die Bewertung notwendigen Informationen und Daten heraus, ein System für die Bewertung, wie beispielsweise Skalen oder Punktesysteme sind jedoch nicht genannt. Beispielsweise wird im MPP auf den Zusammenhang zwischen der Verbindungstechnik der Bauteile und ihrer Rückbaubarkeit eingegangen, allerdings werden die Verbindungsarten nicht kategorisiert oder gewichtet. Es bleibt zudem offen, ob eine quantitative oder qualitative Bewertung angestrebt wird.

Zu bemängeln ist zudem die fehlende Transparenz zu den Datenquellen: wie die Daten erhoben werden und welche Informationen konkret in den Kriterien verarbeitet werden sowie die Grundlage, auf der verschiedene Parameter (z.B. die Reversibilität von Verbindungen) bewertet wurden, sind nicht genannt. Zum Zeitpunkt der Recherche war außerdem keine der zuvor genannten Plattformen öffentlich erreichbar. Als Verbesserungsvorschlag ist daher die Behebung der zuvor genannten Mängel zu nennen.

Hervorzuheben ist jedoch, dass BAMB eine Integration in BIM anstrebt und mit dem CBA Prototypen eine automatisierte Bewertung eines Gebäudes verspricht. Durch die IFC-Schnittstelle soll eine weitestgehend anbieterunabhängige Lösung geschaffen werden.

3.1.2. BUILDING CIRCULARITY PASSPORT (BCP)

Der Building Circularity Passport ist ein Bewertungsinstrument, das von der EPEA GmbH, einer Tochtergesellschaft von Drees & Sommer, entwickelt wurde. Es basiert auf dem Cradle-To-Cradle-Prinzip, das durch den Chemiker Michael Braungart und dem Architekten William McDonough 2005 entwickelt wurde. (Rosen, 2020, S. 70)

Aus der C2C Produkt Bewertung hat sich das Konzept des Cradle-to-Cradle Buildings (C2C Gebäude) entwickelt. Das Konzept bedient sich des „Shearing Layer“ Modells von Steward Grand (How Buildings Learn: What Happens After They're Built, 1994), demzufolge ein Gebäude nicht als Einheit, sondern als Schichtsystem mit unterschiedlichen Lebensdauern betrachtet wird. Es werden die in Abbildung 11 (S. 29) dargestellten sechs Schichten un-

terschieden: Grundstück. Tragwerk, Gebäudehülle, Gebäudetechnik, Grundriss und Ausstattung. Diese Einteilung ist nach Ansicht des C2C-Building-Konzeptes ein Anknüpfungspunkt für die Rückbaubarkeit und ermöglicht eine differenziertere Betrachtung der Zirkularitätskriterien.

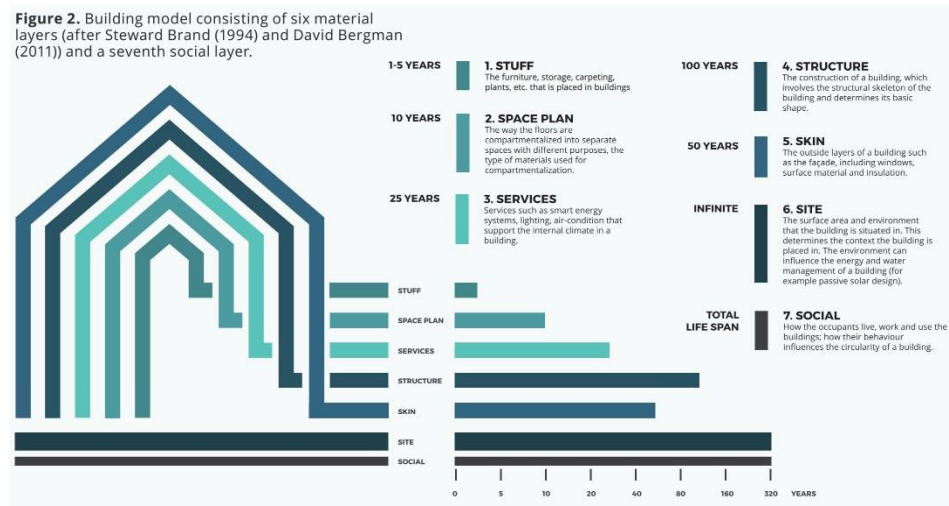


Abbildung 11: "Shearing Layers" (Gebäudeschichten) und ihre Lebensdauern nach Brand, 1994. (Scaling the Circular Built Environment: Pathways for Business and Government | European Circular Economy Stakeholder Platform, 2022, S. 14)

Insgesamt formuliert das C2C System sechs Kriterien (Materialgesundheit, Kreislauffähigkeit, CO2 Management und Schutz von Wasser und Boden, Erneuerbare Energien, soziale Gerechtigkeit und Diversität, die auf die verschiedenen Shearing Layers angewandt werden können.

C2C in den Gebäudebereichen

© Cradle to Cradle NGO
In Anlehnung an Brand, 1994

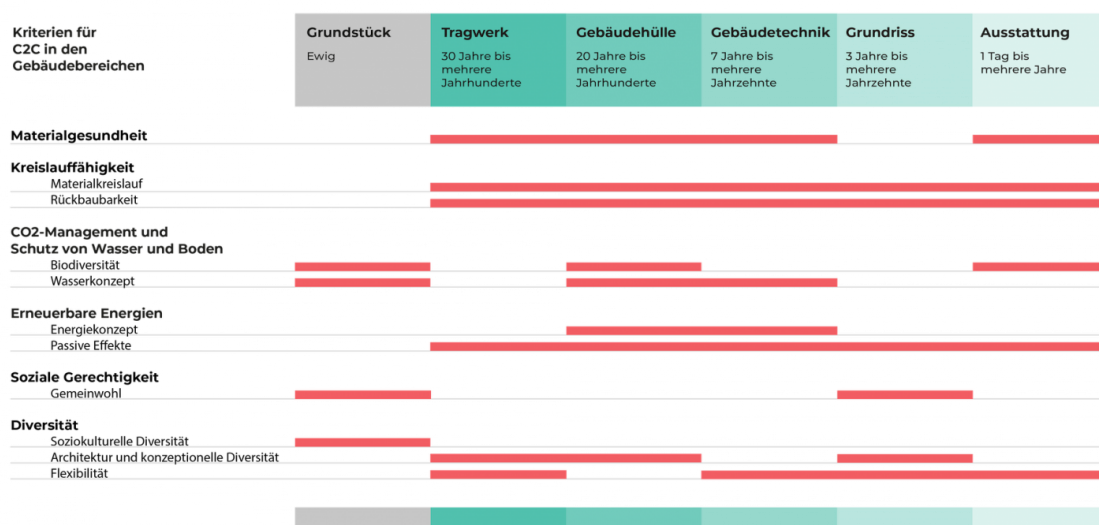


Abbildung 12: C2C Kriterien nach Gebäudeschicht (C2C im Bau: Orientierung für Kommunen, 2022b)

Der Inhalt der Kriterien ist in der Tabelle 35 in Anlage 11 zusammengefasst. Sie sind beschreibend formuliert und nehmen Bezug auf das Zertifizierungssystem DGNB und andere Leitfäden, beispielsweise auf die Anforderungen der Energieeffizienz im Leitfaden Nachhaltiges Bauen des BBSR oder die Arbeitshilfen des Bundesverbandes GebäudeGrün⁷, die als Grundlage für die Bewertung herangezogen werden können.

Die Gesamtbewertung eines Gebäudes soll im sogenannten Building Circularity Passport (BCP) ausgewertet werden. Das Tool soll als Planungs- und Dokumentationsinstrument dienen, "um in Zusammenarbeit mit Architekten, allen Planungsdisziplinen sowie den Baufirmen die Kreislaufführung eines Gebäudes zu ermöglichen". Der BCP bescheinigt abgeschlossenen Bauprojekten "detaillierte Informationen darüber, welche der verwendeten Materialien sich leicht trennen lassen, sowie über die chemische Zusammensetzung der im Gebäude verwendeten Produkte." Zudem ist auch möglich, den monetären Wert der in den Gebäuden verwendeten Strukturen zu ermitteln, die die Finanzierung unter den Aspekten der Risikobewertung, der Wertermittlung sowie des Betriebs des Gebäudes erleichtern sollen. (EPEA GmbH – Part of Drees & Sommer)



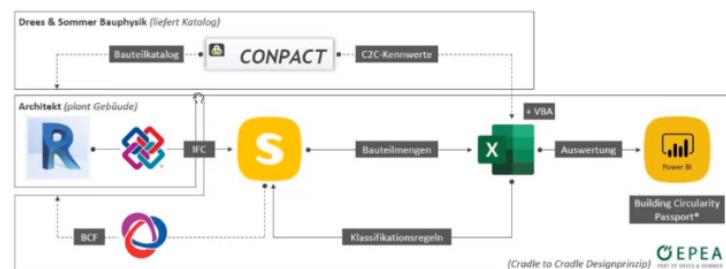
Abbildung 13: Beispiel eines Building Circularity Passports (EPEA GmbH – Part of Drees & Sommer)

⁷ Der Bundesverband GebäudeGrün (BuGG) ist ein 2018 aus dem Verband Deutscher Dachgärtner Verband e. V. (DDV) und der Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. (FBB) entstandener Fachverband zum Thema Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung. Er veröffentlicht Arbeitshilfen sowie Richtlinien-Empfehlungen.

Der BCP wird zwar auf der EPEA Website beworben, in der Dokumentation „C2C im Bau: Orientierung für die Kommunen“ ist er nur in Form eines Screenshots und ohne namentliche Nennung enthalten. Eine öffentlich zugängliche Dokumentation zur Erstellung des BCPs ist nicht vorhanden. Im Folgenden wird daher auf ein Drees & Sommer internes Dokument eingegangen. Der BCP ist eine grafische Auswertung der Berechnungen durch eine Microsoft API (application programming interface), einer Programmierschnittstelle.

BISHERIGER PROZESS ZUR ERSTELLUNG EINES BCP

- Dateneingabe in CONPACT erfolgt manuell und für jedes Projekt aufs neue.
- Jedes Projekt wird in CONPACT individuell bewertet.
- Zur Auswertung sind mehrere Schritte notwendig. (Excel-Export, Auswertung via VBA, Power-BI Integration)
- Muss etwas angepasst werden, muss jeder Schritt erneut durchgeführt werden.



2

EPEA
PART OF DREES & SOMMER

Abbildung 14 Idealer Prozess zur Erstellung eines BCP, EPEA internes Dokument

Die in Abbildung 14 eingezeichneten Linien bedeuten einen allgemeinen Informationsfluss, keinen Daten Im- oder Export. Der Erstellungsprozess gliedert sich in mehrere Teilschritte. Voraussetzung für die Erstellung ist jedoch, dass das Gebäude in Revit oder einer anderen CAD-Software modelliert wurde, die eine Auswertung im Solibri zulässt. Im Falle einer Modellierung im Revit wird das Modell als IFC Datei exportiert und in Solibri Model Viewer importiert, einer Software, die regelbasierte Modellprüfungen durchführt.

Parallel zu diesem Prozess wird in einer von der EPEA GmbH auf der Ninox Plattform als SaaS⁸ entwickelten Anwendung eine Kategorisierung der Bauteile vorgenommen. Mit der Anwendung ist die EPEA-eigene Datenbank verknüpft, in der neben den in EPDs deklarierten Eigenschaften auf Angaben zu der Demontierbarkeit, der Trennbarkeit und der erwarteten Lebensdauer des Produkts hinterlegt sind. Jedes im Gebäude verbaute Bauteil muss unter Angabe der Schichtdicken und der Verbindungsart angelegt werden.

⁸ SaaS steht für System as a Service, ein Modell, das auf dem Grundsatz basiert, dass die Software und die IT-Infrastruktur bei einem externen IT-Dienstleister betrieben und vom Kunden als Dienstleistung genutzt werden. *Software as a Service – Wikipedia (2022)*

Im Solibri Modell Viewer werden die importierten Bauteile entsprechend der Bezeichnungen im Ninox kategorisiert und anschließend werden ihre Gesamtmengen händisch in Ninox hinterlegt. Um das Modell in Solibri um die EPEA Zirkularitätskriterien zu erweitern und/oder sich visuell auswerten zu lassen, kann das Ninox-Projekt als Excel-Datei (.xls) importiert werden. Die Erstellung des BCP erfolgt über das Microsoft Power BI. Da kein Zugriff auf das hinterlegte Programm möglich ist, kann nur vermutet werden, dass die Auswertungen als Prozentualer Anteil am Gesamtvolumen oder der -masse erfolgen. Beispiel aus Abbildung 13: 11 Vol.-% des verbauten Materials hat eine „optimized“ Materialgesundheit.

Bewertung

Das C2C System ist nicht als Bewertungssystem für Gebäude konzipiert, sondern entsteht aus der Erweiterung der C2C Produktbewertung um bestimmte Zirkularitätskriterien. Sämtliche Kriterien sind beschreibend und nehmen direkten Bezug auf das DGNB und andere Systeme. Wie und auf welcher Grundlage die Abstufung die Bewertung (z.B. bei der Materialverwertung: Recycling, Downcycling, Energetische Verwertung, Deponierung/Thermische Verwertung) erfolgt, die anschließend im BCP ausgegeben wird, ist in der Beschreibung des Systems „C2C im Bau: Orientierung für die Kommunen“ nicht definiert. Obwohl der Ansatz schlüssig ist, bei einem aus ausschließlich C2C-zertifizierten Produkten bestehendem Gebäude nur qualitativ die auf Gebäudeebene wirkenden Zirkularitätskriterien zu prüfen, um die Kreislauffähigkeit des Gebäudes festzustellen, sind diese Kriterien für eine fundierte Aussage zu oberflächlich formuliert und ihre Bewertung intransparent.

Zudem wird der Building Circularity Passport zwar als Tool vermarktet, befindet sich offenbar jedoch noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Da in der von NINOX bereitgestellten Bewertungsplattform kein IFC Import möglich ist, ergibt sich ein komplizierter Workaround, um die geometrischen Daten aus einem Modell händisch mit Zirkularitätseigenschaften zu ergänzen und anschließend über einen API grafisch auswerten zu lassen. Der Prozess ist bis auf den Import der IFC Datei in den Solibri Model Viewer und der Ex- und Import von Excel-Dateien weitestgehend händisch und somit anfälliger für Fehler. Verbesserungsvorschläge sind daher die Integration des IFC Imports auf der NINOX Plattform oder die Integration der Bewertungsparameter der Zirkularität in das BIM-Modell, wie sie im Lösungsvorschlag skizziert wird.

Weiterhin ist die Intransparenz der EPEA-Datenbank zu bemängeln, bei der es sich um eine organisationsinterne Datenbank handelt und zu der keine Informationen bezüglich ihrer wissenschaftlichen Grundlage vorliegen. Eine Vergleichbarkeit des BCP und anderer Materialpässe, die auf öffentlich zugängliche Materialdatenbanken wie oekobaudat o.Ä. zugreifen, ist daher nicht gegeben. Der BCP betrachtet die Kreislauffähigkeit des Gebäudes als Summe der Bewertungen seiner Bauprodukte. Die zuvor beschriebenen, qualita-

tiven Gebäude-Zirkularitätskriterien anderer Bewertungssysteme (vor allem DGNB) werden nicht im BCP dargestellt. Seine Aussagekraft zur Kreislauffähigkeit eines Gebäudes ist daher kritisch zu betrachten.

3.1.3. CONCULAR

Concular ist ein Unternehmen, das den Fokus auf den End-of-Life Abschnitt legt. Es digitalisiert Bestandsgebäude, erstellt Materialpässe für die eingebauten Materialien und speichert diese in einem Gebäudepass. Die Idee hinter Concular ist nicht nur die Zirkularität eines Gebäudes quantitativ messbar zu machen, sondern die Betrachtung eines Gebäudes als anthropogenes Rohstofflager mit Fokus auf die verbauten Materialien zu legen. Es soll planbar gemacht werden, wann die verbauten Ressourcen wieder verfügbar sind und wo und wie diese im Bestand verortet sind. Die Erstellung eines Gebäudepasses erfolgt nach CONCULAR in den folgenden Schritten:

1. Material- und Produktidentifikation

Zunächst erfolgt die Erfassung des Bestands mithilfe des Materialpasses. Dabei wird ein Aufmaß genommen und es erfolgt die qualitative Bewertung und Dokumentation der Material- und Produkteigenschaften, des Zustands, der Rückbaubarkeit und möglicher Schadstoffbelastung. (Concular, 2021) In welchem Datenformat der Materialpass Daten erfasst, beispielsweise als PDF-Template, einer Excel-Datei oder einem online Formular, und verarbeitet werden, ist der Dokumentation nicht zu entnehmen. Zum Zeitpunkt des Erstellens dieser Arbeit lag zudem kein Zugang zur Demo-Version der Plattform vor. Dem Handbuch ist jedoch zu entnehmen, dass die Materialpässe durch ein BIM-Modell, EPDs sowie Dokumente und Zertifikate zum Material erweitert werden können. (Concular, 2021) Da keine konkrete BIM-Software genannt wird, kann eine IFC-Schnittstelle vermutet werden.

2. Ökonomisch-ökologische Materialbewertung

Die Material- und Produktdaten dienen als Basis für ökologische Berechnungen (LCC, LCA - Life Cycle Analysis). Die Ergebnisse sollen Rückschluss auf die Wirtschaftlichkeit des Rückbaus geben und beurteilen, ob die Verwertungsmethoden ökologisch sinnvoll sind. Concular, das als Startup der Technischen Universität in Stuttgart gegründet wurde, sammelt seit 2012 Markt- und Transaktionsdaten des Online-Marktplatzes für wiederverwendete Bauteile *restado*, das ebenfalls als Impact Startup aus der Universität in Stuttgart hervorging. Auf Basis der gesammelten Daten soll es ermöglicht werden, den Materialrestwert zum Rückbaudatum zu bestimmen. Die Summe der Materialrestwert im Gebäude ergibt den Gebäuderestwert, den monetären Wert, der bei einer 100%igen Wiederverwendung erzielt werden könnte. Für die ökologische Bewertung wird automatisiert auf LCA-Datenbanken zurückgegriffen. Die Berechnungen erfolgen nach einem mit der

RWTH Aachen entwickeltem Modell (Concular, 2021), das nicht öffentlich einsehbar ist und hier daher nicht weiter betrachtet werden kann.

3. Rückverfolgbarkeit: Trust & Trace

Als abschließender Schritt folgt die kontinuierliche Nachverfolgung der wiederverwendeten Bauteile. Dabei steht die Ermittlung der Amortisationszeit der Grauen Energie im Vordergrund. Durch die Nachverfolgung der Maßnahmen zu Ein- und Rückbau, des Transports und der Aufbereitung können diese bilanziert und der Lebenszyklus, den das Material durchläuft, beschrieben werden. Gemäß den öffentlichen Informationen wird die Rückverfolgbarkeit von Concular durch eine Blockchain⁹ für Materialpässe gelöst, wo alle Informationen von Herstellung bis End-Verwertung verifiziert dokumentiert werden. (Concular, 2021) Blockchain kann als eine Art digitaler, intelligenter Vertrag verstanden werden, der zwischen allen an einer Lieferkette Beteiligten besteht.

Bewertung

Berechnungsergebnisse sind nur mit Zugangsdaten einsehbar. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit lag kein Zugang zur Plattform für Privatpersonen vor. Unter der Annahme, dass die auf der Webseite vorgestellten Berechnungen wissenschaftlich fundiert und die ökonomischen Daten objektiv erhoben sind, bietet Concular ein vollumfassendes Bewertungssystem für Gebäude. Als Alleinstellungsmerkmal ist hier insbesondere das dritte Modul „Trust & Trace“ zu nennen, das das derzeitige Problem der fehlenden Ökobilanzdaten zu Aufbereitungsprozesse für die Wiederverwertung beheben könnte und in Zukunft die gesammelten Daten als Referenzdaten zur Verfügung stellen könnte.

⁹ Blockchain ist eine digitalisierte, dezentralisierte Technologie, mit der Transaktionen zwischen zwei Parteien nachweisbar und dauerhaft erfasst und verifiziert werden können. Aufgrund ihres dezentralen Charakters können sie mehrere Akteure gleichzeitig verwenden. Blume Global (2022)

3.1.4. MADASTER

Madaster versteht sich als Material-Kataster oder „Material-Grundbuch“ in Form einer On-line-Plattform, auf der Gebäude einschließlich ihrer Materialien und Produkte registriert werden können. Die Daten zu den Immobilien können auf der Madaster-Plattform gespeichert, verwaltet, angereichert und ausgetauscht werden, mit dem Ziel die Wiederverwendung der Bauteile zu vereinfachen, Designs zu optimieren und Abfall zu vermeiden (Madaster, 2022). Eine Auswertung der im Gebäude verbauten Materialien kann prozentual und grafisch im Material Passport dargestellt werden. Die Idee hinter dem Material Passports ist es, Materialien eine Identität zu geben, "so dass sie nicht anonym, als Abfall, verloren gehen." (Guyot, 2021)

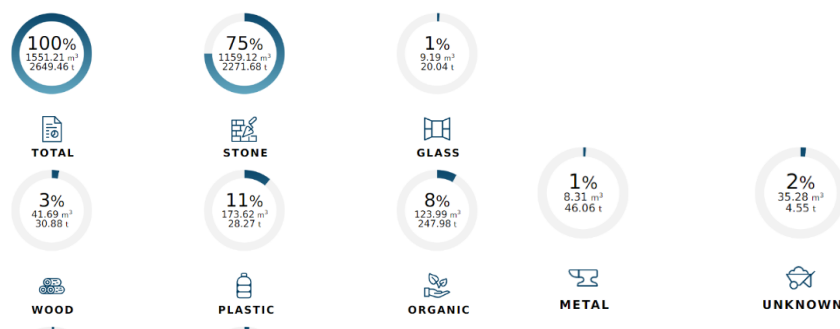


Abbildung 15: Material Passport des Beispielprojekts "The Arc", Grafische Übersicht der verbauten Baustoffgruppen nach Duffy, Brand, 1994 (Beeks, 2020, S. 5)

Die Erstellung des Material Passports erfolgt über die Auswertung von Quelldateien, die als einer Madaster-Excel-Vorlagedatei oder aus einer in einem 3D-Programm generierten IFC-Datei importiert werden.

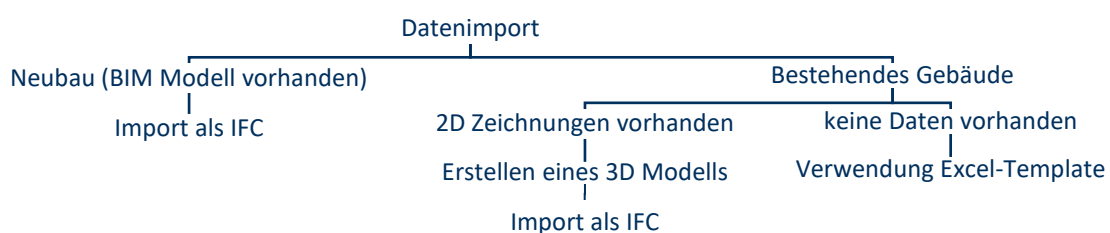


Abbildung 16 Dateimport in Madaster nach Quelldateien, basierend auf (Madaster Germany, 2021b), eigene Darstellung

Für die Verwendung einer IFC-Datei als Quelldatei gilt, dass das Modell mindestens ein LOD 300 (Level of Development, siehe 4.2.2 Planungsschritte) hat und die folgenden Parameter ausgefüllt sind: Materialbeschreibung, Klassifizierungscodierung, Geometrische Eigenschaften und eine genaue Materialbeschreibung der Madaster-Datenbank im Parameter „Materialbeschreibung“. Während des Importvorgangs in Madaster werden die Quelldateien automatisch auf Vollständigkeit geprüft, und zwar in Bezug auf: (1) Materialbeschreibung, (2) Klassifizierungscode und (3) Geometriedaten. Darüber hinaus versucht

die Plattform, basierend auf der Materialbeschreibung, jedes Element der Quelldatei mit einem entsprechenden Material oder Produkt zu verknüpfen, das in den beim Hochladen ausgewählten Datenbanken registriert ist. Wenn die Materialbeschreibung eines Elements erkannt wird, verlinkt das Madaster-System das Element automatisch. Wenn keine automatische Verknüpfung stattfindet, ist es möglich, das Element zu einem späteren Zeitpunkt in Madaster manuell zu verknüpfen.

Zudem kann die Materialdatenbank auf der Plattform „angereichert“ werden, d.h. es können eigene Materialien mit den zugehörigen Eigenschaften hinzugefügt werden.

Als Grundlage für den Materialpassport werden die Materialien und Produkte im Gebäude auf der Madaster Plattform verschiedenen Gebäudeschichten entsprechend der Shearing Layers nach Steward Grand (siehe 3.1.2 Building Circularity passport (BCP) zugewiesen. (Madaster Germany, 2021a) Wichtigster Bestandteil des Material Passports ist der Madaster-Zirkularitätsindikator (ZI oder Circularity Indicator CI), der von Madaster Services B.V. im April 2018 veröffentlicht wurde und auf dem Material Circularity Indicator (MCI)¹⁰ der The Ellen MacArthur Foundation basiert. Er soll verdeutlichen „in welchem Maß der Entwurf und die Verarbeitung der Materialien ihre Wiederverwertbarkeit garantieren“. (Rosen, 2020, S. 79) Er berücksichtigt die Komponenten Materialherkunft, Lebensdauer und Materialverwertung. Die Materialherkunft bezieht sich auf die Zirkularität in der Bauphase und hat als Schwerpunkt die Materialität (Anteil recycelter Materialien, wiederverwendeter Materialien und schnell nachwachsender Rohstoffe). Die „Lebensdauer“ berücksichtigt die Kreislauffähigkeit in der Nutzungsphase, während bei der Materialverwertung das End-Of-Life betrachtet wird. Die ZI Berechnungsschritte sind der Anlage 12 zu entnehmen.

Bewertung

Madaster bietet auf den ersten Blick eine quantitative Methode, die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes vollständig abzubilden und für alle Beteiligten verständlich und übersichtlich in Form des Material Passports. Als kritisch ist die Intransparenz bezüglich der in Madaster hinterlegten Material- bzw. Produktdatenbanken zu betrachten. Es fehlen Angaben zu der Herkunft der Produktdaten, ob es sich dabei um freiwillige Herstellerangaben oder unabhängige Umweltproduktdeklarationen handelt und falls ja, aus welchem Bezugssystem (z.B. ISO 14020) sie stammen. Madaster verwendet sechs Materialgruppencodes und eine Gruppe, in der die unbekannten Materialien landen. (Guyot, 2021) Die Einteilung in die „Materialfamilien“ oder „Materialgruppencodes“ Stein, Glas, Holz, Plastik, Organisch, Metall ist für eine Einschätzung ihrer Zirkularität zu grob, da es auch innerhalb der Gruppierung starke Unterschiede zwischen verschiedenen Materialien gibt. Madaster hat keine Information zur wissenschaftlichen Grundlage dieser Einteilung veröffentlicht.

¹⁰ <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>

Weiter ist nicht nachvollziehbar, auf welcher Grundlage die für die Zirkularität benötigten Kennzahlen, beispielsweise die Werte E_C Effizienzgrad des Recyclingprozesses und C_U Anteil wiederverwendbarer Materialien, bestimmt werden. Die Kriterien, die ein wiederverwendbares Produkt erfüllen muss, sind zudem reine boolean-Fragen, die eine Abstufung hinsichtlich des Aufwands für die Demontage oder den Rückbau nicht zulassen.

Ein weiterer Kritikpunkt an Madaster ist, dass die Plattform zwar IFC-kompatibel ist, sämtliche Auswertungen und Informationen aber nicht zurück in das Modell gespielt, sondern online gespeichert werden. Der Informationsfluss verläuft nur in eine Richtung und widerspricht somit dem Grundgedanken vom Building Information Modelling, alle Informationen zentral und für alle Beteiligten verfügbar im Modell zu speichern. Über die Möglichkeit. Zudem ist eine Beurteilung insbesondere der Zirkularitätskriterien bei jedem Bauteil individuell, sodass diese Eigenschaften nicht für Bauteiltypen (IfcBuildingElementType) verallgemeinert werden können. Der alphanumerische Klassifizierungscode (IfcIdentifier) unterscheidet die Bauteile voneinander, eine visuelle Anzeige des Bauteils als Modell gibt es auf der Plattform nicht. Das führt dazu, dass die Bewertung der Kriterien nicht ausschließlich auf Grundlage der Madasterplattform erfolgen kann, sondern das dazugehörige Modell parallel hinzugezogen werden muss. Ähnlich wie bei dem Bewertungstool Concular kann als Verbesserung daher der IFC- Export angeboten werden. Es könnte auch die Integration der Madaster Parameter in ein BIM-Modell in Erwägung gezogen werden, die anschließend in die Madaster Plattform exportiert und grafisch ausgewertet werden können.

Des Weiteren wirbt Madaster damit, das Matching der Elemente mit vorbewerteten Materialien in der Datenbank automatisch vorzunehmen. Dies erweckt den Eindruck, die native Revit-Materialdatenbank könne direkt in die MADASTER-Datenbank übersetzt werden. Tatsächlich erfordert dieser „automatische“ Prozess eine nicht unerhebliche Vorbereitung: zusätzlich zur Vergabe von Materialien in 3D Programmen (beispielsweise Autodesk Revit) muss sein Madaster-Äquivalent als Freitextparameter händisch hinzugefügt werden. Dies erfordert schon bei der Modellierung den Zusatzaufwand, Kenntnis über die Madaster Datenbank zu haben. Parameter, bei denen diese Zuordnung nicht vorab im 3D-Modell geschieht oder die Zuordnung von der Madaster-Plattform nicht richtig ausgewertet werden, müssen nachträglich händisch „verlinkt“ werden. Der Mehrwert des „Matchings“ besteht einzig aus dem Auslesen zuvor eingetragener Parameter und es liegt daher nur eingeschränkt eine Automatisierung vor.

3.2. KREISLAUFFÄHIGKEITSKRITERIEN IM NEUBAU UND BESTAND

Die zuvor beschriebenen Zirkularitäts-Bewertungssysteme geben einen Überblick über die verschiedenen Einflussparameter auf die Kreislauffähigkeit von Gebäuden. Keines der Systeme liefert jedoch eine vollumfassende, transparente und wissenschaftlich fundierte Grundlage für eine quantitative Bewertung der Rückbaubarkeit und der Recyclingfähigkeit. Insbesondere kann festgestellt werden, dass die Zirkularität eines Materials oder Produkts nicht ausreicht, um von einem „kreislauffähigen Gebäude“ zu sprechen. Da die „Kreislauffähigkeit“ (noch) kein genormter Kennwert ist, werden im Folgenden allgemeingültige Kriterien genannt, die zu ihrer Beschreibung verwendet werden können.

Insbesondere wir dabei auf die von Dr. Anja Rosen in ihrer Dissertation „The Urban Mining Index“ gewählten Kriterien zur Bewertung des Kreislaufpotenzials von Neubauten Bezug genommen. Die von Rosen gewählten Kriterien dienen als Grundlage für die Berechnung des Urban Mining Index, einer „Methodik für die objektive, quantitative Bewertung der Kreislaufpotenziale von Baukonstruktionen in der Neubauplanung“ (Rosen, 2020, S. 292)

Rosen teilt die Kriterien in Ausschlusskriterien, die qualitativ sind und deren Nicht-Erfüllung ein Kreislaufpotenzial ausschließen, und quantitative Kriterien, auf deren Grundlage die beiden Kennwerte Closed-Loop-Potential und Loop-Potential errechnet werden. Eine Herleitung und die Berechnung des Index inklusive aller Kennzahlen für die materielle, konstruktive und wirtschaftliche Betrachtung überstiege die Themensetzung der vorliegenden Arbeit, sodass lediglich auf die Bewertungsparameter eingegangen werden soll.

Die Kriterien eignen sich für die Feststellung des Kreislaufpotenzials der Konstruktion (Neubauobjekt inkl. Außenanlagen sowie Gebäudenachnutzung), vernachlässigen jedoch andere Aspekte der Planung wie die Haustechnik, die Wahl des Standorts, das Mikroklima und die Digitalität (siehe 4.3 Planung der Kreislauffähigkeit im Neubau).

In der Praxis sind auch wirtschaftliche Aspekte, vor allem im Zusammenhang mit der Rentabilität des Einsatzes von wiederverwendeten Bauteilen, relevant. Da bisher keine Referenzpreise für wiederverwendete Materialien vorhanden sind und die Abschätzung der Kostendifferenz zwischen einem „kreislauffähigen“ und einem konventionellen Neubau vom jeweiligen Bauvorhaben abhängig ist, sollen die wirtschaftlichen Kriterien wie der „Rückbauaufwand“ oder der Restwert in dieser Arbeit nicht weiter vertieft werden.

3.2.1. PRE-USE UND POST-USE

Der Lebenszyklus eines Gebäudes lässt sich in die Pre-Use-Phase (Planung), die Use-Phase (Nutzung) und Post-Use Phase (Nach der Nutzungsphase, Rückbau) einteilen. (Rosen, 2020, S. 12). Grundsätzlich sind die Parameter für die Beurteilung der Kreislauffähigkeit eines Neubaus und eines Bestandsgebäudes gleich. Der Unterschied bei der Bewertung

der Kreislauffähigkeit liegt jedoch in der Beeinflussbarkeit: Bei der Betrachtung des Bestands kann lediglich der Ist-Zustand bewertet werden, während bei der Planung eines Neubaus das Kreislaufpotenzial noch beeinflussbar ist.

Es wird betrachtet, inwieweit die folgenden Aspekte im Gebäude berücksichtigt wurden:

Tabelle 2 Lebenszyklusphasen und Einflussmöglichkeiten auf die Kreislauffähigkeit

Pre-Use-Phase	Kreisläufe bereits <i>vor</i> der geplanten Nutzung mit der Weiternutzung, Wiederverwendung oder dem Recycling vorhandener, bereits dem Naturkreislauf entnommener Materialien schließen ➔ Bewertung des Einsatzes von Sekundär- und Primärmaterial
Use-Phase	Nutzungsdauer des Bauwerks und seiner Bauteile einbeziehen ➔ Austauschhäufigkeiten wurden berücksichtigt ➔ Flexibilität der Grundrisse und der Nutzung
Post-Use-Phase	Das Schließen von Kreisläufen <i>nach</i> der geplanten Nutzung vorausdenken ➔ Bewertung der Nachnutzbarkeit von Bauteilen und Baustoffen aus Konstruktionen

Für die Bewertung der Kreislaufpotenzials sind bei einem Neubau alle Phasen, bei einem Bestandsgebäude nur die Post-Use Phase zu betrachten. Anders als im „The Urban Mining Index“ soll in der vorliegenden Arbeit nicht Rohstoff-, Material-, Bauteilschicht-, Bauelement-, Bauteil- und Gebäude-Ebene, sondern lediglich in Rohstoff-, Material-, Bauteil- und Gebäudeebene unterschieden werden. Diese Zusammenfassung ist möglich, da die von Rosen gewählten Kriterien für Bauteilschicht-, Bauelement- und Bauteil-Ebene konstruktiv sind und eine Betrachtung einer Ebene für die Einschätzung der anderen ausreichend ist. Ist ein Bauteil, beispielsweise ein Fenster, nicht zerstörungsfrei ausbaubar, werden auch die Bauteilschichten (Rahmen, Fenster) nicht intakt bleiben. Gleichzeitig führen verklebte Bauteilschichten dazu, dass das Bauteil als Ganzes nicht sortenrein trennbar ist.

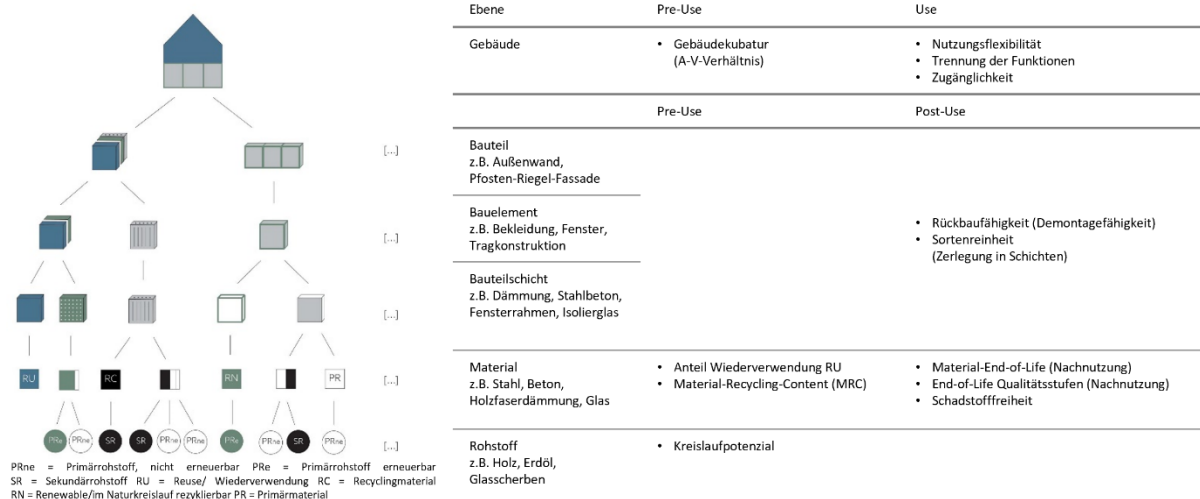


Abbildung 17: Übersicht der Kriterien nach Phase und Ebene am Beispiel einer Stahlbeton-Außenwand mit Holzfaserdämmung, eigene Darstellung in Anlehnung an A 7.2 (Rosen, 2020, S. 157)

3.2.2. KREISLAUFFÄHIGKEITSKRITERIEN

Kriterien auf Rohstoffebene

Im Sinne des zirkulären Bauens haben folgende Rohstoffe Kreislaufpotential:

- erneuerbare Primärrohstoffe
- Sekundärrohstoffe (erneuerbar/nicht erneuerbar)

Ziel der Kreislaufwirtschaft ist die Ressourcenschonung und somit den Einsatz nicht erneuerbarer Primärrohstoffe weiterstgehend zu vermeiden. Ihr Einsatz trägt nicht zum Schließen von Kreisläufen bei.

Tabelle 3 Pre-Use Parameter auf Rohstoffebene

Kriterium	Kreislaufpotenzial		qualitativ
Rohstoffherkunft	primär	Rohstoff, der erstmalig genutzt wird	
	sekundär	Gebrauchtrohstoff, die nach Demontage und Sortierung einer technisch industriellen Aufbereitung zugeführt wurden und die gleiche Qualität wie die Primärrohstoffe aufweisen. (Hillebrandt et al., 2018, S. 60)	
Erneuerbarkeit	erneuerbar	Nachwachsender Rohstoff; biotische Rohstoffe, die durch pflanzliches oder tierisches Wachstum entstehen (Hillebrandt et al., 2018, S. 58)	
	Nicht erneuerbar	Nicht nachwachsender Rohstoff	

Das Kreislaufpotential Pre-Use kann auf Rohstoffebene bestimmt werden. Für das Kreislaufpotential Post-Use muss zusätzlich die Nachnutzbarkeit betrachtet werden. Diese wird auf der Material- und Bauteilebene bestimmt.

Kriterien auf Materialebene

Aus primären und sekundären Rohstoffen werden Materialien, Baumaterialien, hergestellt. Diese können aus einem einzigen Rohstoff bestehen (z.B. Massivholz) oder aus mehreren Rohstoffen (z.B. Beton) bestehen. Auf der Material-Ebene werden die Massen und der Anteil der zuvor in sekundär/primär und erneuerbar/nicht erneuerbar eingeteilten Rohstoffe berücksichtigt. Zudem wird betrachtet, was mit dem Material am Ende der Nutzungsdauer geschieht. (Rosen, 2020, S. 156)

Tabelle 4 Pre-Use Parameter auf Materialebene

Kriterium	Anteil Wiederverwendung RU	quantitativ
	Für die Errechnung des Wiederverwendungsanteils wird der Massenanteil zirkulär geführter Materialien ins Verhältnis mit dem Gesamtmaterial einsatz gesetzt.	

$$RU = \frac{Masse_{zirkulär \text{ geführter Materialien}}}{Masse_{gesamt}}$$

RU ReUse – Anteil

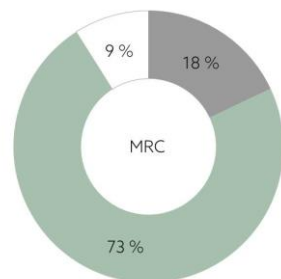
Als zirkulär geführte Materialien gelten:

- Wieder- oder weiterverwendete Materialien (z.B. Ziegel aus Haus A in Haus B erneut eingesetzt)
- Wieder- oder weiterverwertete Rohstoffe (z.B. Eisen in neue Form gegossen)

Je höher der RU-Wert desto besser.

Kriterium	Material-Recycling-Content (MRC)	quantitativ
	Betrachtet den aktuellen (Ist-) Anteil an Recyclingmaterialien und/oder Neumaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe in einem Produkt oder Baustoff.	

$$MRC = \frac{Masse_{rezykliert} + Masse_{nachwachsend}}{Masse_{gesamt}}$$



Sekundärrohstoff-Weiterverwertung
 nachgewachsene Rohstoffe
 nicht erneuerbare Primärrohstoffe

A 5.5

Abbildung 18: Beispiel Materialzusammensetzung einer Spanplatte (Rosen, 2020, S. 94)

In der Pre-Use-Phase werden auf Materialebene die Wieder- und Weiterverwendung von Bauprodukten sowie die Wieder- und Weiterverwertung technischer und natürlicher Rohstoffe zum Kreislaufpotenzial gezählt. (Rosen, 2020, S. 92). In der Post-Use Phase muss betrachtet werden, ob die Materialien für eine Wiederverwendung (Re-Use), eine Wieder- oder Weiterverwertung geeignet sind. (Rosen, 2020, S. 92–93)

Tabelle 5 Post-Use Parameter auf Materialebene

Kriterium	Material-End-of-Life (Nachnutzung)	quantitativ
-----------	---	--------------------

In diesem Kriterium wird beurteilt, für welche Nachnutzung das Material im End-of-Life-Szenario (EoL-Szenario) geeignet ist. Im Abschnitt wurden die Nachnutzungsmöglichkeiten bereits vorgestellt. Die Werterhaltung steht im Vordergrund, sodass die Wiederverwendung anzustreben ist.

Tabelle 6 Nachnutzungsoptionen und die entsprechende Wertänderung

Nachnutzungsmöglichkeit	Wertänderung
Re-Use (Wiederverwendung)	Werterhaltung
Recycle (Wiederverwertung auf Materialebene)	Werterhaltung nach Formumwandlung
Further Use (Weiterverwendung)	Geringer Wertverlust
Downcycling (Weiterverwertung)	Wert-/Qualitätsverlust

Auf Materialebene ist die Bestimmung der Nachnutzung auf Basis allgemeingültigen Quellen (z. B. öffentlich beauftragte Abfallstatistiken des Bundes oder Angaben von Verbänden) möglich. Um die Vergleichbarkeit verschiedener Kreislaufpotenziale zu ermöglichen, sollte jedoch eine gemeinsame Bezugsquelle festgelegt werden, die zentral aktualisiert werden kann.

Nicht jedes Material kann jede Nachnutzungsstufe erreichen. In der Praxis ist zudem relevant, welcher Aufwand die Rückführung in einen technischen Kreislauf aufgewendet werden muss. Diese wird im Kriterium EoL Qualitätsstufen betrachtet.

Kriterium	End-of-Life Qualitätsstufen (Nachnutzung)	qualitativ
-----------	--	-------------------

Das Kriterium bildet die Nachnutzungsmöglichkeiten in Abhängigkeit der Qualitätsstufe des End-of-Life Szenarios ab. Es wird unterschieden in das hochwertigste, hochwertige und übliche EoL-Szenario, die jeweils einem Rückbauverfahren zuzuordnen sind (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 Übliche Rückbauverfahren in Abhängigkeit der Qualitätsstufe des End-of-Life-Szenarios

EoL-Szenario	Rückbauverfahren
Hochwertigstes EoL	Demontage
Hochwertiges EoL	Selektiver Rückbau
Übliches EoL	Selektiver Abbruch

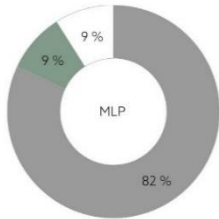
Für jedes Baumaterial muss daher bestimmt werden, welche Nachnutzungsmöglichkeiten unter welchem Aufwand (EoL-Qualitätsstufe) möglich bzw. üblich sind. In Abbildung 19 ist die Bewertung der EoL-Qualitätsstufen für eine Auswahl an Baumaterialien dargestellt.

Wertstoff	Re-Use	End-of-Life-Szenarien		Energy Recovery	
		Recycling	Downcycling	renewable	fossil
Beton		■	□		
Ziegel	■	■	□		
Fliesen und Keramik			■□		
Naturstein	■		■□		
Lehmbaumstoffe		■	□		
Holz A1 und A2 nach AltholzV	■		■	□	
biologische Faserstoffe (Kompost)		■		□	
Glas		■	□		
Kunststoff			■		□
Bitumengemische		■			□
Schrott, nach Metallart	■	■□			
Hersteller-/Verbandsrücknahme (z. B. Mineralwolle, Gipsbaumstoffe)		■			

■ hochwertigstes End-of-Life-Szenario: nur Baustoffe, für die ein etablierter Gebrauchsmarkt existiert oder absehbar ist (z. B. hochwertige Klinker, großformatige Natursteine, Eichenbalken), Demontage erforderlich
 ■ hochwertiges End-of-Life-Szenario, selektiver Rückbau erforderlich
 □ übliches End-of-Life-Szenario (siehe MEoL, Abb. B 2.4, S. 64), selektiver Abbruch
 Re-Use: wiederverwendbare Baustoffe
 Recycling: stofflich wiederverwertbare Baustoffe
 Downcycling: stofflich weiterverwertbare Baustoffe
 Energy Recovery: energetisch verwertbare Baustoffe
 - renewable: aus nachwachsenden Rohstoffen
 - fossil: aus fossilen Rohstoffen

Abbildung 19: Baustoffe und ihre End-of-Life-Szenarien zur Ermittlung des Kreislaufpotentials (Hillebrandt et al., 2018, S. 116)

Kriterium	Schadstofffreiheit	quantitativ
Bewertung	schadstoffbelastet	Ausschlusskriterium: ist ein Material schadstoffbelastet, kann es auf Materialebene nicht erneut eingesetzt werden. Als schadstoffbelastet gelten Materialien, die: - Auf der „Banned List of Chemicals“ stehen (siehe Digitales Anlagenverzeichnis) Schadstoffe in ihren EPDs oder Herstellerangaben enthalten
	schadstofffrei	Keines der Materialien ist gelistet. Die Materialien haben eine C2C-Zertifizierung.

Kriterium	Material-Loop-Potential (MLP)
	Gibt nach heutigem Stand der Forschung an, wie hoch der Anteil an Recyclingmaterialien in einem Produkt sein könnte, wenn zukünftig seine Produktion hinsichtlich ihres Sekundärrohstoffanteils optimiert würde. (Rosen, 2020, S. 94). „Kann“-Anteil an Recyclingmaterial. Für die Schließung von Kreisläufen ist dieser Faktor entscheidend, denn je höher der MLP desto geringer der Bedarf an Primärressourcen: Die Differenz zwischen Gesamtmaterial (100%) und dem maximal möglichen Sekundärrohstoffanteil (MLP) in einem Produkt kann prinzipiell nur durch Primärmaterial gedeckt werden. (Rosen, 2020, S. 94)  ■ maximal möglicher Sekundärrohstoffanteil ■ nachhaltig nachwachsende Primärrohstoffe □ Bedarf nicht erneuerbare Primärrohstoffe A 5.6 <i>Abbildung 20: Material-Loop-Potenzial (MLP) der in Abbildung 18 dargestellten Spanplatte (Rosen, 2020, S. 94)</i> Generell ist das MLP nur für das End-of-Life-Szenario Wiederverwertung (Recycling) eine relevante Kenngröße. Für wiederverwendbare Bauteile oder (im Ganzen) wiederverwendbare Bauprodukte spielt der maximal mögliche Recyclingcontent genauso wenig eine Rolle wie für die energetische Verwertung. (Rosen, 2020, S. 95) Trotz seiner Aussagekraft besteht derzeit noch keine öffentliche Datenbank zu den bisher eingeschätzten MLP! Das Kriterium soll dennoch genannt werden und der Bedarf an Forschung hervorgehoben werden.

Kriterien auf Bauteilebene

Ziel der Kreislaufwirtschaft ist die Ressourcenschonung, die mit der Vermeidung von Abfall einhergeht. Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung. (Bundesamt für Justiz, 2012) Um Abfälle, die verwertet werden, einem erneuten Kreislauf zuzuführen, müssen diese von den restlichen Abfällen separierbar sein. Dies ist in der Praxis unter verhältnismäßigem Aufwand nur möglich, wenn die Abfälle aus dem Rückbau nicht als Gemisch auftreten. Auf Bauteilebene sind daher die sortenreine Trennung und der zerstörungsfreie Rückbau für die Kreislauffähigkeit essenziell, die wiederum von der Verbindungstechnik abhängig sind.

Nach den physikalischen Wirkprinzipien wird in der Verbindungstechnik in Kraftschluss, Formschluss und Stoffschluss sowie nach Lösbarkeit in unlösbar und lösbar unterschieden. (Deutsches Institut für Normung e.V., 2003, S. 4) Lösbare Verbindungen sind „durch Fügen hergestellte Verbindungen, die ohne Beschädigung der gefügten Teile wieder gelöst werden kann“, während nicht lösbare Verbindungen „nur unter Inkaufnahme einer Beschädigung oder Zerstörung der gefügten Teile wieder gelöst werden“ können (Deutsches Institut für Normung e.V., 2003, S. 3). In der Literatur findet sich zudem eine Unterscheidung in „nicht lösbar“ und „bedingt lösbar“, die in dieser Arbeit ebenfalls vorgenommen werden soll. Bedingt lösbare Verbindungen sind solche, bei denen eine intakte Lösung der Teile durch die Zerstörung der Verbindung möglich ist. In der Abbildung 21 erfolgt eine grobe Einteilung der im Bauwesen gängigen Verbindungstechniken nach ihrer Lösbarkeit.

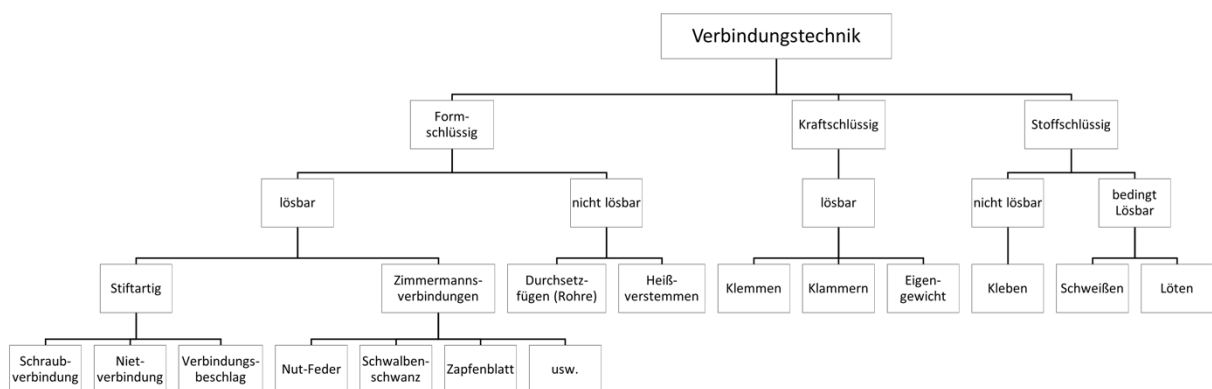


Abbildung 21 Bauübliche Verbindungsarten nach Lösbarkeit, eigene Darstellung nach

Diese Einteilung bildet nur eine Hilfestellung, die Beurteilung der Lösbarkeit muss qualitativ am betreffenden Bauteil festgestellt werden.

Die Kriterien, die die Kreislauffähigkeit auf Bauteil- und Gebäudeebene bestimmen, sind ausschließlich Post-Use-Kriterien. Das bedeutet, dass ihre Umsetzung voraussetzend für die Kreislauffähigkeit des Gebäudes nach dem Ende der Nutzungsphase ist.

Tabelle 8 Post-Use Parameter auf Bauteil-Ebene

Kriterium	Rückbaufähigkeit (Demontagefähigkeit)	qualitativ
	Betrachtet die Lösbarkeit eines Bauteils aus einer Bauteilgruppe. Ist ein Bauteil zerstörungsfrei lösbar, kommt es für eine Wiederverwendung infrage. Bei einer bedingt lösbaren Verbindung wird in der Regel von einer Weiterverwendung ausgegangen. Bei unlösbaren Verbindungen und der Zerstörung der Bauteilschichten wird im Allgemeinen von einer Weiterverwertung ausgegangen. Die Demontagefähigkeit, d.h. die zerstörungsfreie Lösbarkeit, ist das wichtigste Kriterium für die Wiederverwendung, während sie für die Wieder- und Weiterverwertung aufgrund von Auflösung der Formgestalt keine Rolle spielt.	
Kriterium	Sortenreinheit (Zerlegung in Schichten)	qualitativ
	Betrachtet die Lösbarkeit der Bauteilschichten, das bedeutet, die Trennung in die verschiedenen Baumaterialien. Für die stoffliche Verwertung ist in erster Linie der Grad der Sortenreinheit maßgeblich. Verunreinigungen behindern den Recyclingprozess und sollten deshalb vermieden werden. Idealerweise lassen sich Materialien mit einer lösbaren Verbindung rückstandsfrei trennen. Sind Rückstände unvermeidbar, bestimmt der Grad der Verunreinigung die Verwertbarkeit. (Rosen, 2020, S. 97)	

Kriterien auf Gebäudeebene

Auf Gebäudeebene sind die Kreislauffähigkeitskriterien der Use-Phase zuzuordnen und haben das Ziel, diese möglichst zu verlängern. Dabei ist die Nutzungsflexibilität (Drittverwendungsfähigkeit) der Gebäude maßgeblich: Je mehr Nutzungsmöglichkeiten (Wohnen, Büros, Gewerbe) ein Gebäude durch Auf- oder Nachrüstung bietet, desto unwahrscheinlicher ist ein Rückbau. Zudem können bei kreislauffähigen Gebäuden die Bauteile, die ihr Nutzungsende oder Funktionalität erreicht haben, lokal ausgetauscht werden, ohne die restliche Bausubstanz zu beeinflussen. Als Pre-Use Kriterium spielt die Gebäudekubatur eine Rolle: ihr Ziel ist die Reduzierung des Materialbedarfs (primär und sekundär).

Tabelle 9 Pre-Use Kriterien auf Gebäudeebene

Kriterium	Gebäudekubatur (A-V-Verhältnis)	quantitativ
	Das A-V-Verhältnis beschreibt das Verhältnis der Außenflächen eines Gebäudes zu seinem Volumen. Über die minimierte Außenhülle und durch Vermeidung von Wärmebrücken, wird Energie gespart. Bei einem geringen A-V-Verhältnis verringert sich der Materialaufwand bei gleichzeitiger Vereinfachung von Anschlussdetails, sodass sich auch der Reparatur- und Wartungsaufwand reduzieren. (Hillebrandt et al., 2018, S. 11). Tabelle 10 können typische A-V-Verhältnisse verschiedener Gebäudetypen entnommen werden, die als oberer Grenzwert fungieren.	
	Tabelle 10 Typische Außenflächen-Volumen-Verhältnisse (A-V-Verhältnis) nach Gebäudetyp (BauNetz)	
	Gebäudetyp	A-V-Verhältnis
	Freistehende Einfamilienhäuser	0,7 - 1,0
	Doppelhäuser	0,6 - 0,9
	Reihenhäuser	0,4 - 0,6
	Mehrfamilienhäuser	0,3 - 0,5

Tabelle 11 Use Kriterien auf Gebäudeebene

Kriterium	Nutzungsflexibilität	qualitativ
	Unter der Nutzungsflexibilität werden eine Reihe von qualitativen Kriterien betrachtet, die sicherstellen sollen, dass möglichst viele Nutzungsgruppen angesprochen werden können und diese den Raum entsprechend ihrer Bedürfnisse anpassen können (Drittverwendungsfähigkeit). Die Bewertung der Umnutzungsfähigkeit erfolgt anhand der Gebäudegeometrie und -struktur, der Flexibilität der Konstruktion und der technischen Ausstattung	
Raumhöhe	In Deutschland sind Mindestraumhöhen durch die Länderbauverordnungen der Länder geregelt, in denen lichte Raumhöhen von 2,20m bis 2,40m gefordert sind. Gleichzeitig werden in der Arbeitsstätten-	

	verordnungen in Abhängigkeit der Grundfläche in Büros lichte Raumhöhen von bis zu 3,35m gefordert (Kreizberg, 2021). Um eine Umnutzung zu gewährleisten, sollte entsprechend der größtmöglichen Raumfläche eine Raumhöhe gewählt werden, die den Anforderungen aller Nutzungsmöglichkeiten entspricht.
Gebäudestruktur	Die Reduktion tragender Bauteile (beispielsweise auf einen tragenden Kern oder der Einsatz von Stützen und Träger) ermöglicht die freie Raumdefinition in der horizontalen Fläche. (Hillebrandt et al., 2018, S. 12) Die Grundrisse können entsprechend den Nutzeranforderungen angepasst werden.
Rastermaß	Um die Anpassbarkeit der Grundrisse zu gewährleisten, sollte das Rastermaß der Fassade die 3,00m nicht unterschreiten. Dies gilt insbesondere für Fassaden mit einem hohen Glasanteil.

Kriterium	Trennung der Funktionen	qualitativ
	Das bereits vorgestellte Modell der Shearing Layers teilt das Gebäude nach der Lebensdauer in unterschiedliche Schichten ein. Jedes Layer kann entsprechend seiner Funktionen in einzelne Schichten geteilt werden. Dabei besteht die Möglichkeit zur Optimierung: Für jede Schicht kann das am besten geeignete Material zum Einsatz kommen (Hillebrandt et al., 2018, S. 12). Dadurch können hochtechnisierte, nicht verwertbare Baustoffe vermieden werden.	

Kriterium	Zugänglichkeit	qualitativ
	Die Zugänglichkeit aller Bauteile, die eine höhere Austauschfrequenz als die Gebäudesubstanz aufweisen, stellt sicher, dass das Gebäude ohne aufwendige Stemm- und Abbrucharbeiten gewartet und entsprechend den geltenden Anforderungen in Use aufgerüstet werden kann. Dadurch wird die Nutzungsdauer des Gebäudes verlängert. Der technischen Gebäudeausrüstung kommt dabei eine besondere Wichtigkeit zu. Es ist darauf zu achten, dass Erschließungswege für die technischen Anlagen angelegt werden, die keine Umbaumaßnahmen erfordern: breite Flure, Rampen, direkter Weg zu ausreichend dimensionierter Gebäudeöffnung. Auch die Leitungen müssen so angelegt werden, dass diese ohne Eingriff in die Gebäudestruktur vollständig austauschbar sind, „beispielsweise Aufputz verlegt oder in Schränken geführt (Hillebrandt et al., 2018, S. 12)“.	

3.2.3. BESONDERHEITEN DER HOLZBAUWEISE: UNGENUTZTES POTENTIAL

In der Baubranche rücken Nachhaltigkeit sowie Ressourcen- und Energieeffizienz immer stärker in den Fokus – und somit auch der Rohstoff Holz, welche u.a. im konstruktiven Bau eingesetzt wird. In Deutschland ist der Anteil an genehmigten Wohn- und Nichtwohngebäuden in Holzbauweise seit 2003 von etwa 12% bzw. 14,5% auf etwa 20% bzw. 21% gestiegen (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23). In der Schweiz ist der Anteil von Gebäuden¹¹ in Holzbauweise von 12,3% im Jahr 2011 auf 14,8% im Jahr 2020 gestiegen. (Holzbau Schweiz, 2020, S. 16)

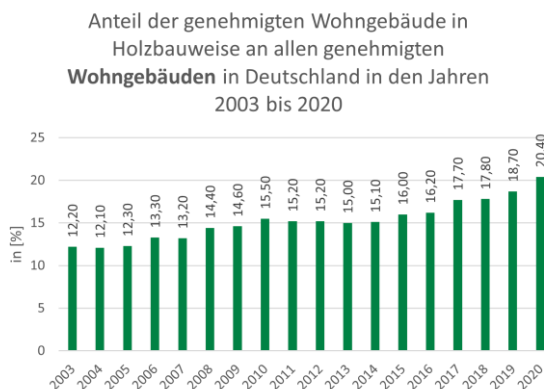


Abbildung 22: Holzbau - Quote der genehmigten Wohngebäude in Deutschland bis 2020 (Statistisches Bundesamt, 2021)

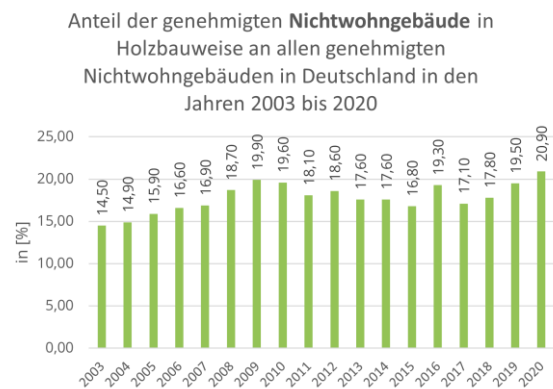


Abbildung 23: Holzbau - Quote der genehmigten Nichtwohngebäude in Deutschland bis 2020 (Statistisches Bundesamt, 2022)

Neben den bauphysikalischen Eigenschaften bietet Holz Vorteile als Kohlenstoffspeicher und rückbau- und recyclingfähiger Baustoff. Die Holzbauweise, sei es als Holztafel- oder Holzmassivbau, hat im Sinne der Circular Economy neben der Materialeigenschaften den Vorteil, dass sie mehr als jede andere Konstruktionsart einen hohen Modularisierungsgrad und eine Vielzahl reversibler, zum Teil einstofflicher, Baukonstruktionen ermöglicht.

Holz ist der wichtigste biotische Baustoff. Biotische Materialien entstehen durch pflanzliches oder tierisches Wachstum und verrotten an ihrem Lebensende, sodass sie dem Wachstumskreislauf als Nährstoffe zugeführt werden können. Sie erneuern sich in Zeiträumen, die kürzer oder vergleichbar mit den Lebensdauern unserer Gebäude sind. Weil Holz theoretisch endlos verfügbar und Stoffkreislauf unbehandelter biotischer Materialien geschlossen ist, gilt sein Einsatz im Bauwesen grundsätzlich hinsichtlich seiner Verfügbarkeit zunächst als empfehlenswert. (Hillebrandt et al., 2018, S. 58) Allerdings ist die Integration von Holz und Holzprodukten aus dem Baubereich in einen erneuten techni-

¹¹ Bei Wohngebäuden bis zwei Wohneinheiten. Bei Gebäuden ab drei Wohneinheiten ist der Anteil im gleichen Zeitraum von 4,3% auf 6,2% gestiegen. Holzbau Schweiz (2020, S. 16)

schen oder biotischen Kreislauf in der aktuellen Praxis sehr begrenzt: Im Baubereich eingesetztes Holz ist nach seiner Nutzung (Post-Use) Altholz und seine Nachnutzung wird im KrWG und in der Altholzverordnung (AltholzV) geregelt.

Obwohl das KrWG eine Abfallhierarchie festlegt, in der die Vermeidung und Vorbereitung zu Wiederverwendung dem Recycling und der sonstigen Wiederverwendung vorzuziehen sind (KrWG, 2012/10.08.2021, S. 11) steht der Wiederverwendung von Altholz in größerem Umfang derzeit die Altholzverordnung (AltholzV) entgegen. Im Anhang I (zu § 3 Abs. 1) AltholzV sind die zugelassenen Verfahren für die stoffliche Verwertung von Altholz geregelt. Die „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ ist als Verwertungsmethode nicht enthalten. Zudem legt die AltholzV eine Sortierung des Altholzes in verschiedene Sortierklassen vor und legt fest, welcher Verwertung das Altholz der jeweiligen Klasse zugeführt werden darf. Altholz aus dem Baubereich wird dabei fast ausschließlich Kategorien zugeordnet, die die stoffliche Verwertung oder Wiederverwendung grundsätzlich ausschließen (siehe Tabelle 13). Neben der Verwendung in der Holzwerkstoffherstellung werden in der Verordnung zwar die Gewinnung von Synthesegas und die Herstellung von Aktivkohle bzw. Industrieholzkohle als Nutzungsmöglichkeiten genannt, praktisch haben sie jedoch keine Bedeutung. (Höglmeier, 2015, S. 176) Aus diesem Grund kommt in der Holzbauweise nur der Kaskadennutzung von Holz und Holzprodukten, d.h. eine mehrfache stoffliche Verwertung vor der energetischen Verwertung, eine besondere Bedeutung zu. Bei biotischem Material aus nachhaltiger Bewirtschaftung wird dadurch über den geschlossenen Kreislauf hinaus ein neues, gleichwertiges Stoffleben erzeugt. Bei nicht nachhaltig kultivierten biotischen Materialien (Kreislauf nicht geschlossen) wird eine Nachnutzung in weiteren Produktleben angestrebt werden. (Hillebrandt et al., 2018, S. 61) Für die Planung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden in Holzbauweise gelten die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Kriterien. Auf Materialebene bestehen daher jedoch zusätzliche Pre-Use und Post-Use Ausschlusskriterien, auf die in der Tabelle 12 und der Tabelle 13 (S.52) eingegangen werden soll.

Tabelle 12 Pre-Use Kriterien auf Materialebene

Kriterium	Zertifizierung nachhaltiger Bewirtschaftung	qualitativ
	Bei Holz besteht die Gefahr, dass für die Kultivierung bestimmter, besonders gefragter Baumarten andere Arten aus ihrem Lebensraum verdrängt werden und Monokulturen entstehen. Auch besteht dadurch die Gefahr einer nach Carlowitz (siehe Kapitel 0 In folgendem Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen betrachtet, welche für das Verständnis des weiteren Vorgehens und der Problemstellung notwendig sind. Zunächst wird die „Kreislauffähigkeit“ innerhalb des Nachhaltigkeitsbegriffes abgegrenzt. Dafür müssen die „Nachhaltigkeit“ definiert und die Themenbereiche, die die „Nachhaltige Entwicklung“ in der aktuellen politischen Interpretation insbesondere im Bereich Bau und Umwelt umfasst, dargelegt werden. Abschließend wird betrachtet, welche rechtlichen Grundlagen und Ziele die Kreislaufwirtschaft im Bauwesen hat und wie Letztere in bekannte Nachhaltigkeits-Zertifizierungssysteme übersetzt werden. Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs) nicht nachhaltigen Forstwirtschaft, in der mehr Holz entnommen wird als in der gleichen Zeit nachwachsen kann. Im Holzbau ist der Kreislauf also nur geschlossen, wenn die Materialien aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammen (Hillebrandt et al., 2018, S. 60), die durch ein Zertifizierungssystem garantiert ist. Weltweit glaubwürdige Zertifikate für Holz aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung entlang der gesamten Produktions- und Verarbeitungskette sind: - Forest Stewardship Council (FSC), - Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes (PEFC) und - Rainforest Alliance Certified (Hillebrandt et al., 2018, S. 65).	

Tabelle 13 Post-Use Kriterien auf Materialebene

Kriterium	Altholzkategorie	qualitativ
Die Auswahl der Bauprodukte entscheidet maßgeblich über die späteren Nachnutzungsmöglichkeiten: Wiederverwendung, Verwertung oder auch Deponierung der Materialien bzw. Bauteile. (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB e.V., 2021)		
In der AltholzV werden die nachfolgenden Kategorien unterschieden:		

Tabelle 14 Altholzkategorien nach §2 Abs. 4 AltholzV

Altholzkategorie	Beschreibung
A I	naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde
A II	verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel
A III	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel
A IV	mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz;

Entsprechend Abbildung 24 wird Altholz aus dem Baubereich nach Anhang III (zu § 5 Abs. 1) (AltholzV) eine Kategorie zugeordnet:

Altholz aus dem Baubereich	Baustellensortimente	naturbelassenes Vollholz	A I	17 02 01
		Holzwerkstoffe, Schalhälzer, behandeltes Vollholz (ohne schädliche Verunreinigungen)	A II	17 02 01
	Altholz aus dem Abbruch und Rückbau	Dielen, Fehlböden, Bretterschalungen aus dem Innenausbau (ohne schädliche Verunreinigungen)	A II	17 02 01
		Türblätter und Zargen von Innentüren (ohne schädliche Verunreinigungen)	A II	17 02 01
		Profilblätter für die Raumausstattung, Deckenpaneele, Zierbalken usw. (ohne schädliche Verunreinigungen)	A II	17 02 01
Altholz aus dem Baubereich (Fortsetzung)	Altholz aus dem Abbruch und Rückbau (Fortsetzung)	Dämm- und Schallschutzplatten, die mit Mitteln behandelt wurden, die polychlorierte Biphenyle enthalten	Beseitigung	17 06 03 *
		Bauspanplatten	A II	17 02 01
		Konstruktionshölzer für tragende Teile	A IV	17 02 04 *
		Holzfachwerk und Dachsparren	A IV	17 02 04 *
		Gängige Altholzsortimente		
		Fenster, Fensterstöcke, Außentüren	A IV	17 02 04 *
		Imprägnierte Bauhölzer aus dem Außenbereich	A IV	17 02 04 *
		Bau- und Abbruchholz mit schädlichen Verunreinigungen	A IV	17 02 04 *

Abbildung 24 Auszug aus dem Anhang III (zu § 5 Abs. 1) Zuordnung gängiger Altholzsortimente im Regelfall (AltholzV, 2020/(BGBl. I S. 1328), S. 9)

Entsprechend ihrer Kategorie kommen nach Anhang I (zu § 3 Abs. 1) Verfahren für die stoffliche Verwertung von Altholz folgende Nachnutzungen infrage:

Spalte 1		Spalte 2				Spalte 3
Nr.	Verwertungsverfahren	Zugelassene Altholzkategorien				Besondere Anforderungen
		A I	A II	A III	A IV	
1	Aufbereitung von Altholz zu Holzhackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen	ja	ja	(ja)		Die Aufbereitung von Altholz der Altholzkategorie A III ist nur zulässig, wenn Lackierungen und Beschichtungen durch eine Vorbehandlung weitgehend entfernt wurden oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden.
2	Gewinnung von Synthesegas zur weiteren chemischen Nutzung	ja	ja	ja	ja	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigten Anlagen zulässig.
3	Herstellung von Aktivkohle/ Industrieholzkohle	ja	ja	ja	ja	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigten Anlagen zulässig.

Abbildung 25 stoffliche Verwertungsverfahren für Altholz nach Anhang I (AltholzV, 2020/(BGBl. I S. 1328), S. 7)

Zusammenfassend hat Holz die beste Ausgangslage, in Zukunft maßgeblich zur Schließung von Kreisläufen beizutragen. Praktisch kann durch die Vorgaben der Altholzverordnung kaum ein Bauprodukt auf Bauteilebene wiederverwendet werden, sodass bisher die Kaskadennutzung (Wiederverwertung auf stofflicher Ebene) die sinnvollste Maßnahme zur Steigerung des Kreislaufpotentials darstellt. Auch diese hat nach Höglmeier zwar in Deutschland die technischen und organisatorischen Voraussetzungen, dennoch konnte sich eine Kaskadennutzung bisher nicht in größerem Umfang durchsetzen, was nicht zuletzt mit den Anreizen für eine energetische Nutzung durch die Einspeisevergütungen für die energetische Verwertung von Altholz des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) zusammenhängt. (Höglmeier, 2015, S. 9)

In einem Diskussionspapier für die neue Altholzverordnung des Bundesumweltministeriums wurde die Vereinbarkeit des KrWG und der AltholzV gefordert, sodass die Vorbereitung zur Wiederverwendung als Verwertungsmethode verankert wird (siehe Abbildung 26, S.54) und in Zukunft ihr Anteil steigen kann.

Zugelassene Verfahren für die stoffliche Verwertung von Altholz

Spalte 1		Spalte 2				Spalte 3
Nr.	stoffliche Verwertungsverfahren ¹	Zugelassene Altholzkategorien				Besondere Anforderungen
		A I	A II	A III	A IV	
1	Vorbereitung zur Wiederverwendung durch Prüfen, Reinigen und Reparieren	ja	ja	ja	ja	Einsatz für denselben Zweck ohne weitere Vorbehandlung
2	Aufbereitung von Altholz zu Holzhackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen	ja	ja	(ja)		Eine stoffliche Verwertung von Altholz der Altholzkategorie A III ist nur zulässig, wenn Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung aussortiert wird oder die halogenorganischen Beschichtungen entfernt werden.
3	Gewinnung von Synthesegas zur weiteren chemischen Nutzung	ja	ja	ja	ja	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigten Anlagen zulässig.
4	Herstellung von Aktivkohle/Industrieholzkohle	ja	ja	ja	ja	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigten Anlagen zulässig.

Abbildung 26 Zugelassene Verfahren für die stoffliche Verwertung von Altholz nach Anlage 3 im Entwurf vom 20.04.2020

4 PLANUNG DER KREISLAUFFÄHIGKEIT VON HOCHBAUTEN MITHILFE VON BIM

Aus den vorangegangenen Kapiteln wird deutlich, dass für das Konzept der „Kreislauffähigkeit“ bisher keine genormten oder vom Gesetzgeber vorgegebenen Bewertungskriterien oder Kennwerte vorhanden sind. Dadurch ist auch die Planung zirkulärer Gebäude nicht einheitlich: sie gestaltet sich in der Praxis als qualitative Einzelfallbetrachtung: Für jedes Projekt müssen vorab Ziele definiert werden und entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden. Zudem wurde im Kapitel 3.2 Kreislauffähigkeitskriterien im Neubau und Bestand festgestellt, dass die Kreislauffähigkeit nur bei Neubauten „geplant“ werden kann, das heißt, die Gebäude so zu konzipieren, dass sich geschlossene Kreisläufe ergeben. Bei Bestandsbauten umfasst die „Planung der Kreislauffähigkeit“, wie in der Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit beschrieben, tatsächlich eher die Bewertung des Post-Use-Kreislaufpotentials sowie die Planung des Rückführens der Bauteile in einen weiteren technischen Kreislauf.

Eine Umsetzung im BIM ist ebenfalls nicht standardisiert oder etabliert. Im vorliegenden Kapitel wird daher in Form eines Soll-Ist-Vergleichs aufgezeigt, welche Möglichkeiten die BIM basierte Planung in der Theorie bietet und anhand von je einem Projektbeispiel im Neubau und im Bestand erläutert, inwieweit dieses Potenzial bereits in der Praxis umgesetzt wird.

Auf Grundlage der in Kapitel 3.2 Kreislauffähigkeitskriterien im Neubau und Bestand vorgestellten Kriterien soll abschließend ein Vorschlag für die Umsetzung der Planung im BIM erfolgen und darauf basierend je ein allgemeingültiges Framework für die Planung im Neubau und im Bestand erfolgen.

4.1. BIM ZUR OPTIMIERUNG DER KREISLAUFFÄHIGKEIT

»Building Information Modeling (BIM) 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.« (Hillebrandt et al., 2018, S. 32) BIM ist demnach der ganzheitliche Prozess zum Erstellen und Verwalten von Informationen für ein Bauobjekt. Neben dem geometrischen Ausdruck von Gebäuden werden im BIM-Prozess im Gegensatz zur 3D-Computer-Aided-Design-Modellierung (3D-CAD-Modellierung) auch die Beziehungen, die Metadaten und das Verhalten der realen Gebäudekomponenten erfasst. (Autodesk GmbH, 2022).

Hinsichtlich des Austauschs mit anderen Softwareprodukten wird unterschieden in closed BIM, bei dem Softwareprodukte eines einzelnen Herstellers verwendet werden und das

proprietäre Formate für den Datenaustausch einsetzt, und in open BIM, das Softwareprodukte verschiedener Hersteller verwenden kann, da es offene Austauschformaten einsetzt. (Borrmann et al., 2015, S. 7–8) Da der Austausch verschiedener Akteure eine Voraussetzung in der Planung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden ist, wird in vorliegender Arbeit der Begriff BIM immer im Sinne des openBIM verwendet. Es wird ausschließlich auf die Industry Foundation Class (IFC) wegen ihrer Relevanz für die bereits vorgestellten Software eingegangen wird.

Im Zuge des Forschungsprojektes BAMB wurde zudem erforscht, welche Aufgaben das BIM Modell entlang des Gebäudelebenszyklus erfüllen kann (siehe Abbildung 27).

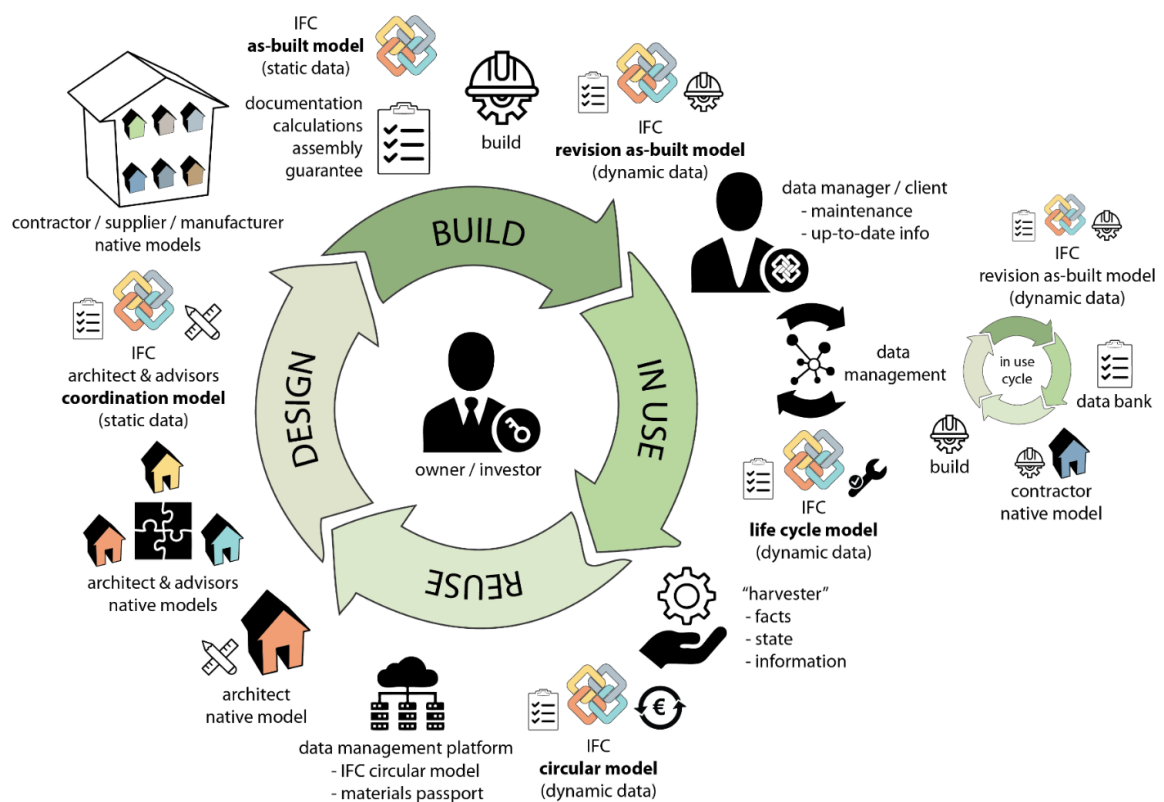


Abbildung 27: Lifecycle BIM-Modell nach BAMB (Aguiar et al., 2019, S. 6)

Entlang der Planung der Kreislauffähigkeit bietet Building Information Modelling folgende Funktionen:

- Visualisierung des Gebäudes: Abschätzung der Einbausituation und des Rückbauaufwandes
- Angabe der Mengen und der Geometrie: Die quantitativen Kriterien zur Bestimmung des Kreislaufpotenzials werden als Verhältnis der (Bauteil-/Material-) Massen zur Gesamtmasse ausgedrückt.
- Speicherung von Daten: Je besser das qualitative und quantitative Wissen um die gebundenen Materialien ist und die Zeiträume ihrer Freisetzung, desto genauer ist die Nachnutzung planbar. (Umweltbundesamt, 2017) Alle Lebenszyklus relevanten Informationen können im Modell gespeichert und verschiedenen Akteuren (selektiv) zur Verfügung gestellt werden, z.B. für Wartung, Austauschzyklen. Um Schlussfolgerungen zur Nachnutzbarkeit (Wieder- und Weiterverwendung, Wieder- und Weiterverwertung) generell zu gewährleisten, ist die Durchgängigkeit baustoff- und bauteilbezogener Informationen mit hohem Detaillierungsgrad wichtig. (Hillebrandt et al., 2018, S. 32)
- Informationsaustausch mit anderen Programmen: Zusammenführen verschiedener Modelle, Export von Bauteildaten zur Erstellung von Materialpassports, Import von Daten (z.B. Ökobilanzdaten)

BIM Modelle könnten als digitale Zwillinge in Zukunft die Kartierung aller im Gebäude verbauten Materialien in ihrer genauen Menge und ihrer exakten Zusammensetzung abbilden. Über BIM könnten neben Menge und Qualität auch die zeitliche Verfügbarkeit regional verfügbarer Recyclingmaterialien kalkulierbar gemacht werden. (Hillebrandt et al., 2018, S. 14) In dieser Arbeit wird als Referenzsoftware Revit verwendet, da sie als BIM-Software bereits die IFC4-Version vollständig umgesetzt hat.

4.2. PLANUNG DER KREISLAUFFÄHIGKEIT IM BESTAND

Die Planung der Kreislauffähigkeit im Bestand umfasst die Feststellung des Kreislaufpotentials und die anschließende Planung des Rückbaus im Sinne des Urban Minings (siehe Urban Mining, S.9). Im folgenden Abschnitt wird der Planungsprozess daher als Urban Mining bezeichnet. Der Prozess des Urban Mining hat trotz der Forderung der Politik nach Ressourcenschonung aktuell noch keine breite Marktpresenz. Durch die fehlende Bereitstellung von standardisierten Katalogen (siehe 4.2.2 Planungsschritte) ist die vollständige Planung eines Urban Mining Prozesses bisher sehr zeit- und kostenintensiv. Sie beschränkt sich daher auf wenige, geförderte Studien und Pilotprojekte, wie beispielsweise das K118 in Winterthur, oder das Projekt SBB Areal Wolf in Basel, das hier vorgestellt werden soll.

4.2.1. STAND DER TECHNIK

Im vorherigen Abschnitt wurde aufgezeigt, welche Funktionen BIM im Planungsprozess theoretisch erfüllen kann. In der Planung von Urban Mining Prozessen in Bestandsbauten wird dieses Potenzial jedoch bisher nicht ausgeschöpft. In den seltensten Fällen ist ein digitaler Zwilling eines Bestandsgebäudes vorhanden: Im Jahr 2008 lag die Einführungskurve für BIM-Software in der Baubranche (Architekturbüros, Ingenieurbüros, Baufirmen) bei nur etwa 14%. (Autodesk GmbH, 2021) Die Erstellung eines BIM Modells eines Bestandsgebäudes ist im Vergleich zum EoL Szenario in einer linearen Bauwirtschaft, in der vom Rückbauunternehmen der Rückbau vor Ort oder auf Grundlage von Bestandsplänen eingeschätzt wird, ein zusätzlicher Aufwand. Die Pilotprojekte zum Urban Mining stellen daher eine nicht-repräsentative Auswahl dar, in denen nachträglich eine Modellierung der Gebäude stattfindet. In diesen Projekten dient das BIM Modell bisher als Mittel zum Zweck: Die Einschätzung, welche Bauteile sich für eine Wiederverwendung eignen, erfolgt bisher nicht automatisch (regelbasiert) sondern wird durch ein*e Urban Mining Fachplaner*in¹² durchgeführt. Das Modell dient anschließend der Planung des Rückbaus. Eine Bewertung der Kreislauffähigkeit durch beispielsweise eine Ökobilanzierung findet außerhalb des Modells in einer zuvor festgelegten Software statt (siehe 3.1 Zertifizierungs- und Bewertungssysteme), die die Daten zur Geometrie, den Mengen und den Materialien aus dem BIM Modell exportiert. Die Planung findet somit nicht zentralisiert im Modell statt.

12 Urban Mining Fachplaner*in ist keine eigene Berufsgruppe, es sind meist Fachplaner*innen, die eine konstruktive Ausbildung (Bauingenieurwesen, Architektur) haben und die sich mit Altlastensanierung, Abfallrecht, Energie- und Umweltaanforderungen auskennen.

4.2.2. PLANUNGSSCHRITTE

Im Kapitel 3.2 *Kreislauffähigkeitskriterien im Neubau und Bestand* wurden die Kriterien in Pre-Use und Post-Use eingeteilt. Für den Urban Mining Prozess sind ausschließlich die Bestimmung der Post-Use Kriterien von Bedeutung: die Entscheidung, welche Baustoffe/Bauteile für welche Nachnutzung (Wiederverwendung, Wiederverwertung, Weiterverwertung) geeignet sind (siehe Abbildung 28). Eine quantitative Bewertung in Form einer Ökobilanzierung ist prinzipiell nicht Teil der Planung, allerdings werden in der Praxis Urban Mining Projekte ausschließlich durch „Circular Economy“ Bewertungssysteme begleitet, die die Marktakzeptanz fördern sollen.

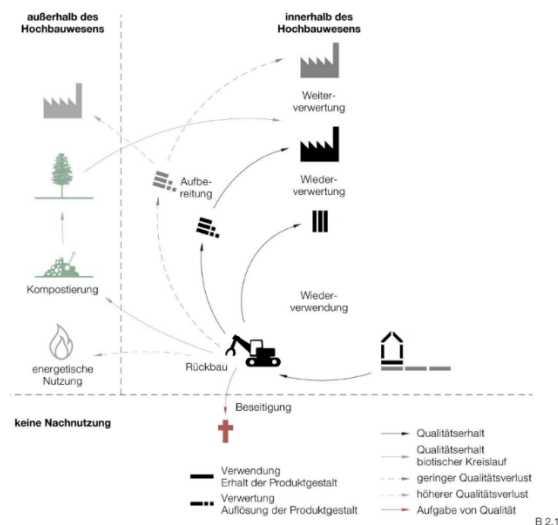
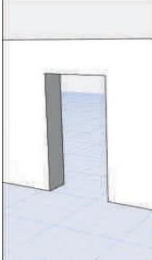
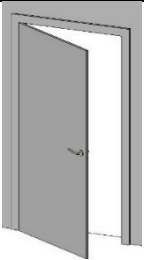
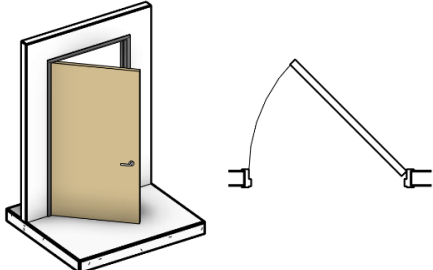


Abbildung 28: Post-Use Einteilung des Bestands, angepasste Darstellung B.2.1 (Hillebrandt et al., 2018, S. 59)

Die Ausgangssituation, dass ein digitaler Zwilling vorhanden ist, der alle zur Beurteilung der Kriterien benötigten Informationen enthält, ist vernachlässigbar selten und wird in vorliegender Arbeit daher nicht betrachtet.

Um eine ausreichende Datenlage zur Bausubstanz wird daher in der Regel zunächst das Gebäude auf Grundlage der Bestandsunterlagen und/oder Vermessungen vor Ort modelliert. Die Anforderungen an ein Modell lassen sich durch die geometrische Darstellung (Level of Geometry) und den Informationsgehalt (Level of Information) ausdrücken. Zusammen ergeben sie den Fertigstellungsgrad des Modells (Level of Detail), der „den geforderten Grad der Detaillierung der Modellierung dar(stellt)“ und „abhängig von der Leistungsphase und der Fachdisziplin“ ist. (Egger, Hausknecht, Liebich, Przybylo, 2013) In Deutschland gibt es keinen Standard, der den LOD festlegt, NATSPEC BIM definiert es im Paper „BIM and LOD, Building Information Modelling and Level of Development“ jedoch an den Leistungsphasen der HOAI orientiert. (NATSPEC Construction Information Systems Limited, 2013) Der Tabelle 15 ist der Detailgrad der Modellierung anhand des Beispiels einer Tür verdeutlicht.

Tabelle 15 Fertigstellungsgrad (LOD) entsprechend HOAI Leistungsphase

LOD	Leistungsphase	Detaillierungstiefe	Modellierungsbeispiel
100	Vorentwurfsplanung	In der Entwurfsphase ist die Tür als Öffnung modelliert, die die spätere Türposition verdeutlichen soll. (Egger, Hausknecht, Liebich, Przybylo, 2013)	 Abbildung 29: In Revit modellierte Tür mit LOD100
200	Entwurfsplanung	Festlegung und Modellierung der ungefähren geometrischen Parameter Höhe, Breite, Anschlag und Öffnungsrichtung. (Egger, Hausknecht, Liebich, Przybylo, 2013)	 Abbildung 30: In Revit modellierte Tür in LOD200
300	Genehmigungsplanung	Festlegung der genauen geometrischen Parameter Breite, Höhe, Anschlag, Öffnungsrichtung und der Materialität.	 Abbildung 31 In Revit modellierte Tür mit LOD300
400	Ausführungsplanung	Detailliertere Informationen und originalgetreue Darstellung des Aussehens, Details des Türanschlags, des Türblattes bis hin zu Material und Produktanforderungen werden hinzugefügt. Auswertungen wie Türlisten und weitere Detailplanungen in 2D kommen hinzu. (Egger, Hausknecht, Liebich, Przybylo, 2013) Grundlage für die Ausschreibung.	 Abbildung 32 In Revit modellierte Tür mit LOD400
500	Objektdokumentation	Aktualisierte Detailinformationen, Dokumentation des Ist-Zustands	

In der Schweiz ist der LOD als Swiss BIM LOIN ausgedrückt, das wiederum auf der Definition der alphanumerischen Information (LOI – Level of Information) und der Information

hinsichtlich Geometrie (LOG – Level of Geometry) basiert. (Bauen Digital Schweiz & buildingSMART, 2018). Der Information- und Detaillierungsgrad unterscheiden sich nicht wesentlich zur deutschen Definition, wie der Anlage 13 entnommen werden kann.

Die Modellierung eines Bestandsobjektes vor Beginn der Bewertung des Kreislaufpotenzials erfolgt auf einem Fertigstellungsgrad von mindestens LOD300. Es ist ein LOD400 anzustreben, in der Praxis sind die vorhandene Objektdokumentation und die visuellen Informationen, die aus den 3D Scans hervorgeht, für diese Detailtiefe jedoch meist unzureichend. Auf Grundlage der Modellierung kann eine erste Einschätzung durch die/der Urban Mining Fachplaner*in erfolgen. Die genaue Beurteilung des Zustands und der Einbausituation der Bauteile erfolgt in einer Begehung vor Ort und hat die Bestimmung der Nachnutzungsmöglichkeit aller Bauteile zum Ziel. Die Systematik für die Bewertung ist als Entscheidungsbaum in Abbildung 33 nachzuvollziehen.

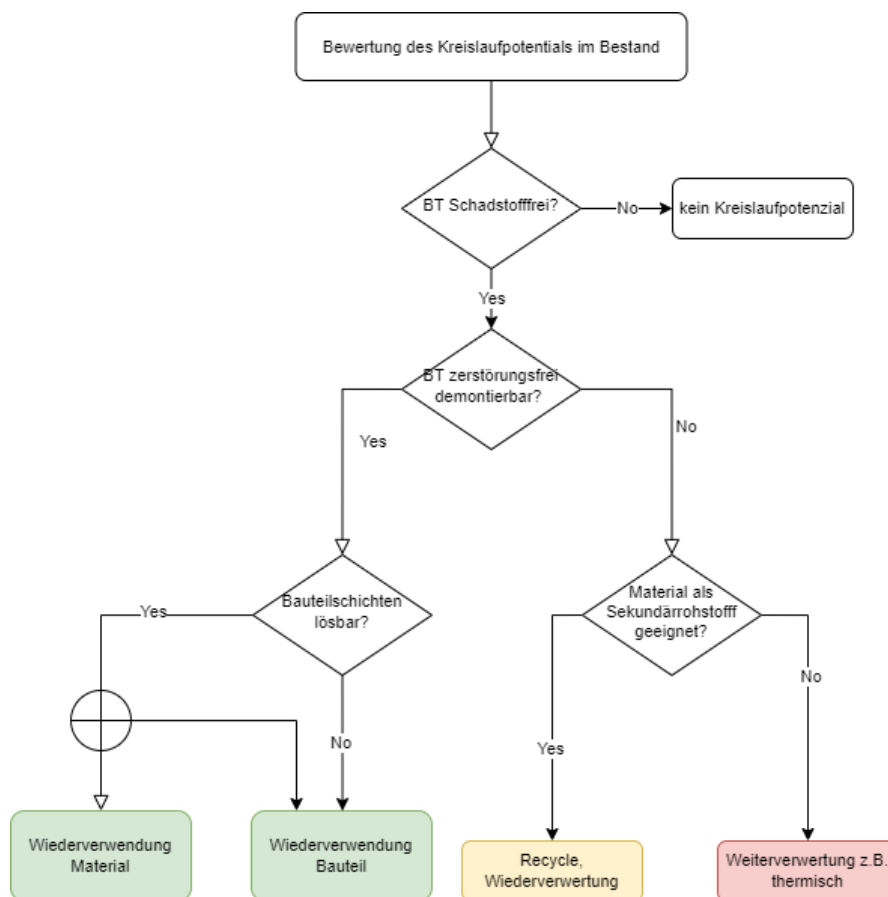


Abbildung 33 Prozessdiagramm zur Bestimmung der Nachnutzung, eigene Darstellung

Auf Grundlage dieser Einordnung kann die Rückbauplanung erfolgen, in der unterschieden wird nach der Demontage aller wiederverwendbarer Bauteile, dem selektiven Rückbau und dem selektiven Abbruch. Beim Urban Mining nimmt neben dem Rückbau und der Aufbereitung auch die Planung von Lagerungsflächen eine besondere Stellung ein, da

Bauteile, die erst zu einem späteren Zeitpunkt in einem neuen Gebäude eingesetzt werden sollen, eingelagert werden müssen. Zudem erfolgen die Ausbau- und Aufbereitungsprozesse durch das jeweilige Gewerk, da in der aktuellen Baupraxis Miet- und Rücknahmemodelle bei Herstellern kam verbreitet sind.

Die Bewertung der Bauteile gehen im allgemeinen Prozess nicht als Daten in das BIM Modell ein, sondern direkt in die gewählte Software für Erstellung von Materialpässen oder „Bewertung der Kreislauffähigkeit“. Das Modell dient daher tatsächlich nur als Quelle für die geometrischen Daten, die über die IFC Schnittstelle exportiert werden.

4.2.3. BEISPIELPROJEKT: SBB WOLF AREAL

In diesem Abschnitt soll anhand eines Beispielprojektes verdeutlicht werden, wie der Planungsprozess eines Urban Mining Projektes in der Praxis umgesetzt wurde, welche Tools verwendet wurden und welche Funktionen ein BIM Modell bereits übernimmt.

Das Projekt „Areal Wolf“ in Basel wurde durch die Schweizerische Bundesbahnen (SBB) in Auftrag gegeben und soll als Pilotprojekt die materiellen und finanziellen Potenziale aufzeigen, die durch das Urban Mining der nichtgenutzten Infrastrukturobjekte entstehen können. Auf dem etwa 16 Hektar großem Areal stehen 5 Hallen, ein Freiverladebereich, eine Güterrampe und ein denkmalgeschützter Verwaltungsbau. In einem vorangegangenen Stadtplanungswettbewerb hat sich als Nutzungskonzept ein gemischtes Areal aus Wohn- und Bürogebäuden durchgesetzt, das nach Abbruch des gesamten Areals mit Ausnahme der Hallen 3 und 4 und dem Verwaltungsbau entstehen soll (siehe Abbildung 34). Das Urban Mining Potenzial bezieht sich daher auf eine direkte Nachnutzung auf dem Areal.

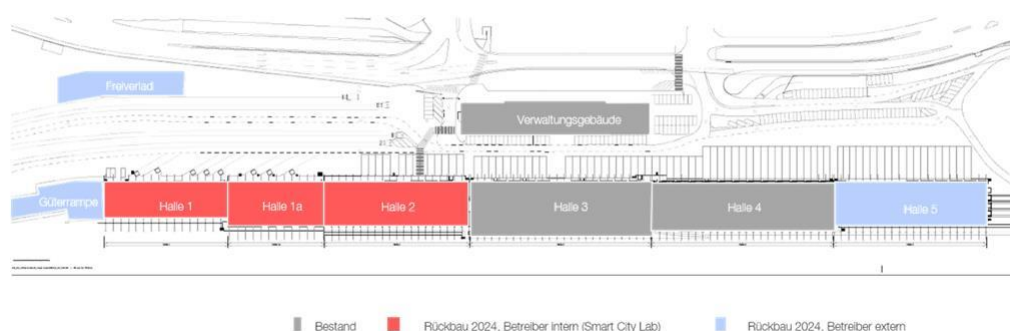


Abbildung 34: Übersicht des Areal Wolf (Auszug aus den Ausschreibungsunterlagen) (Saputelli, 2022, S. 3)

Der Auftrag umfasste dabei folgende Schritte:

1. *Modellbildung durch Festlegung relevanter Parameter*
2. *Ermittlung der verbauten Materialien anhand vorhandener Unterlagen (z.B. Pläne, Baubeschreibungen, Schadstoffgutachten und sonstiger übergebener Unterlagen) sowie vor Ort Begehungen. Auf der Grundlage einer Vor-Ort-Untersuchung sowie vorhandener Pläne, Schadstoffgutachten und weiterer Unterlagen werden die Massen der derzeit verbauten und rückzubauenden Materialien des Untersuchungsraums ermittelt. Hierbei werden im Rahmen einer ersten Sichtung potenziell wiederzuverwertende Bauteile ebenfalls ermittelt.*
3. *Einschätzung der Materialqualitäten. Im Rahmen der Vor-Ort-Untersuchung sowie in Anlehnung an die vorhandenen Schadstoffgutachten (nicht Bestandteil des Auftrags) wird eine Einschätzung hinsichtlich der Materialqualitäten getroffen. Hierbei werden die in Position 2 ermittelten Massen mit den Qualitäten verknüpft. Dadurch entsteht eine quantitative und qualitative Aufstellung der Materialqualitäten.*
4. *Erstellung von Empfehlungen für das Rückbau-Leistungsverzeichnis (im Zusammenhang mit Kreislaufwirtschafts-Aspekten) gemäss Modell sowie Bereitstellung eines Bauteilkatalogs mit potenziell wiederverwendbaren Bauteilen als Grundlage für den Architekturwettbewerb.*

Die Modellbildung entspricht dem zuvor in Abbildung 33 (S.61) dargestellten Prozess. Die Bestimmung der Nachnutzung erfolgte dabei nach dem Ausschlussprinzip: Identifiziert wurden nur die Bauteile, die für eine Wieder- oder Weiterverwendung infrage kommen und die in den architektonischen Entwurf einfließen sollen. Für den Rest wurde eine stoffliche Weiterverwertung sowie eine Wiederverwertung angenommen.

Auf Grundlage der Schritte 3 und 4 und auf Wunsch des Auftraggebers ergaben sich im Planungsprozess zwei parallele Prozesse: Die Erstellung eines BIM Modells für die Massenermittlung und die Materialauswertung in Madaster (siehe 3.1.4 Madaster), entsprechend Position 2 und 3, und die Erstellung eines Rückbauverzeichnisses. Das „Rückbauverzeichnis“ bzw. der Bauteilkatalog sollten auf software- und anwenderunabhängig zur Verfügung gestellt werden.

Das BIM Modell wurde extern in Revit mithilfe von 3D-Laser-Scans, die Punktwolken erzeugen können, mit einem LOD300 erstellt. Parallel dazu erfolgte die Konzepterstellung eines Bauteilkatalogs, das den Anforderungen der Rückbauunternehmen und der Architekten entsprechen sollte. Aus diesem Grund erfolgt eine Einteilung der Bauelemente nach dem elementbasierten Baukostenplan Hochbau (eBKP-H), auf dem in der Schweiz die Kostenplanung basiert und der mit der Kostengruppeneinteilung der DIN276 in Deutschland vergleichbar ist. Als Datenquelle für die Materialkennwerte wurde die Platt-

form OEKOBAUDAT¹³ festgelegt, die vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) als vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung gestellt wird.

Die daraus resultierende Struktur des Bauteilkatalogs ist der Abbildung 35 zu entnehmen.

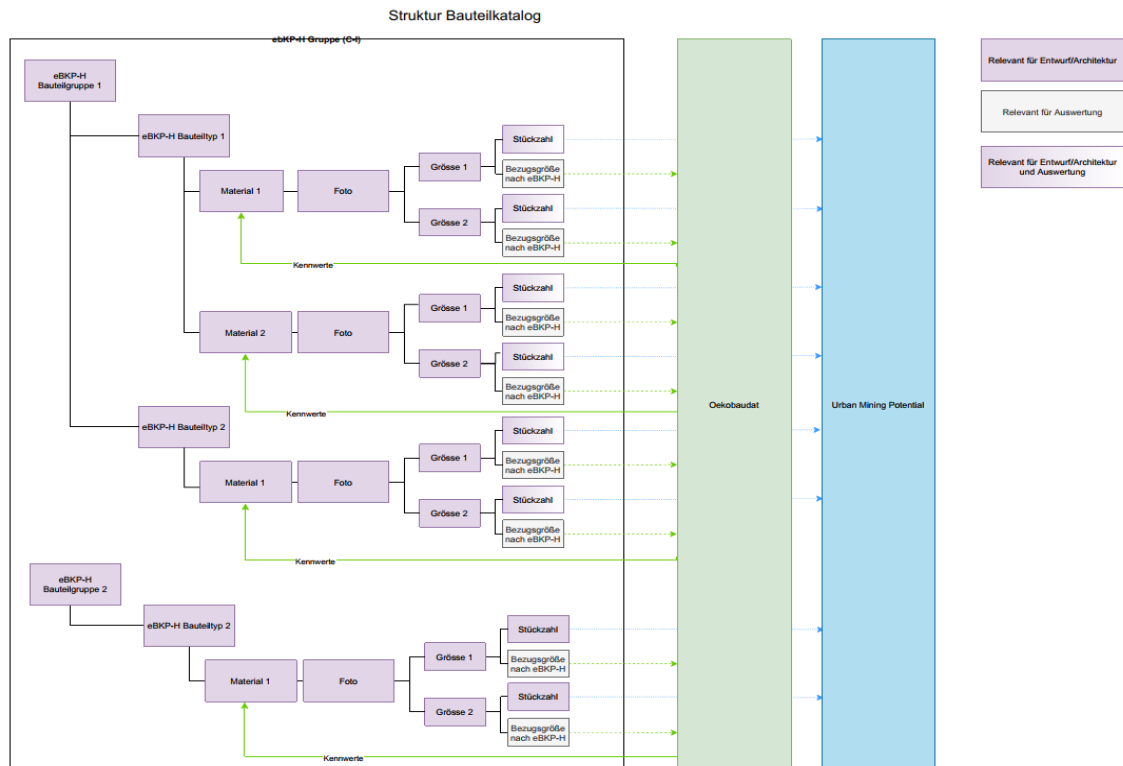


Abbildung 35 Struktur Bauteilkatalog zur Auswertung des Urban Mining Potentials und der Ökobilanzierung

Der Bauteilkatalog umfasst entsprechend der Modellbildung nur Bauteile, die bei der Begehung durch den/die UM Expert*in als wiederverwendbar eingestuft wurden. Diese Bauteile erhalten im Rückbauverzeichnis die Zirkularitätseigenschaften Demontagefähigkeit (Rückbaubarkeit) und Demontierbarkeit (Modularität). Die Demontagefähigkeit beschreibt den Rückbauaufwand in den Kategorien schwer (große (Hub-)Geräte notwendig), mittel (kleinere (Hub-)Geräte notwendig), leicht (per Hand oder kleinere Geräte notwendig). Die Demontierbarkeit bezieht sich auf die Lösbarkeit der Verbindungen mit angrenzenden Bauteilen. Entsprechend den C2C Kategorien des BCP (siehe 3.1.2 Building Circularity passport (BCP)) wird unterschieden in: gebolzt, gedübelt, geklebt, geklemmt, gemörtelt, genietet, geschraubt, geschweißt, getackert, lose/keine Verbindung.

Als Tools für die Erstellung des Katalogs kommen prinzipiell das BIM Modell, ein Tabellen-tool oder eine Onlinebauteilbörse (hier bauteilclick.ch) infrage. Im Projekt Areal Wolf

¹³ www.oekoaudat.de

wurde Excel verwendet, da die Plattform bauteilclick nicht um die nötigen Kreislauffähigkeitskriterien erweitert werden kann und die Wiederverwendung primär auf dem Areal stattfinden soll. Das BIM Modell wurde extern erstellt und nach jetzigem Stand ist keine Materialdatenbank mit den ausgefüllten (Ökobilanz-)Materialeigenschaften als material library file im Austauschformat für Materialbibliotheken (.adsklib Format) vorhanden. Die Materialkennwerte müssten, wenn es einen entsprechenden Parameter gibt, händisch eingetragen werden. Die Umsetzung des Kriterienkatalogs in Excel ist in Abbildung 36 dargestellt und wurde mit Fotos der Bauteile ergänzt.

- Bauteil-Inventarisierung inkl. Bewertung in *.xlsx-Datei

- Beurteilungs-Kriterien & Parameter:

- Pro BT-Typ eindeutige Nr.
- Verortung nach Halle & Stockwerk
- Bauteil-Bezeichnung
- eBKP-H Bauteilkategorie
- eBKP-H Bezugseinheit &-grösse
- Materialklasse (überwiegendes Material)
- Baujahr/-zeitraum
- Demontagefähigkeit (Rückbaubarkeit)
- Demontierbarkeit (Modularität)
- Materialgesundheit (Schadstoffrisiko)

ID	Name	Ort	Bauteil-Bezeichnung	eBKP-H Bauteilkategorie	Material	Materialspezifikation	Bezugseinheit	Materialmenge	Materialklasse	Baujahr	Materialgesundheit	Demontagefähigkeit	Demontierbarkeit	Materialzustand	Verortung	Prozess	Prozess	Prozess
1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
12	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
13	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
15	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
16	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
18	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
21	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
22	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
23	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
24	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
26	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
27	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
28	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
29	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
31	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
33	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
34	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
35	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
36	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
37	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
38	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
39	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
41	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
42	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
43	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
44	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
45	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
46	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
47	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
48	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
49	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
51	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
52	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
53	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
54	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
55	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
56	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
57	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
58	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
59	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
60	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
61	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
62	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
63	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
65	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
66	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
67	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
68	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
69	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
70	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
71	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
72	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
73	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
74	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
75	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
76	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
77	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
78	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
79	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
80	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
81	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
82	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
83	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
84	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
85	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
86	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
87	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
88	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
89	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
90	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
91	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
92	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
93	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
94	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
95	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
96	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
97	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
98	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
99	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
100	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Abbildung 36: Aufbau des Bauteilkatalogs im Projekt SBB Areal Wolf (Saputelli, 2022, S. 9)

Das Urban Mining Potenzial wird als gewichteter Anteil wiederverwendbarer Bauteile am Gesamtbestand ausgedrückt. Die dafür notwendigen geometrische Daten sowie Stückzahlen wurden dem BIM Modell entnommen.

Der Prozess ist in Abbildung 37 grafisch nach ISO5807 zusammengefasst. Die Grafik ist vergrößert in Anlage 14 zu finden.

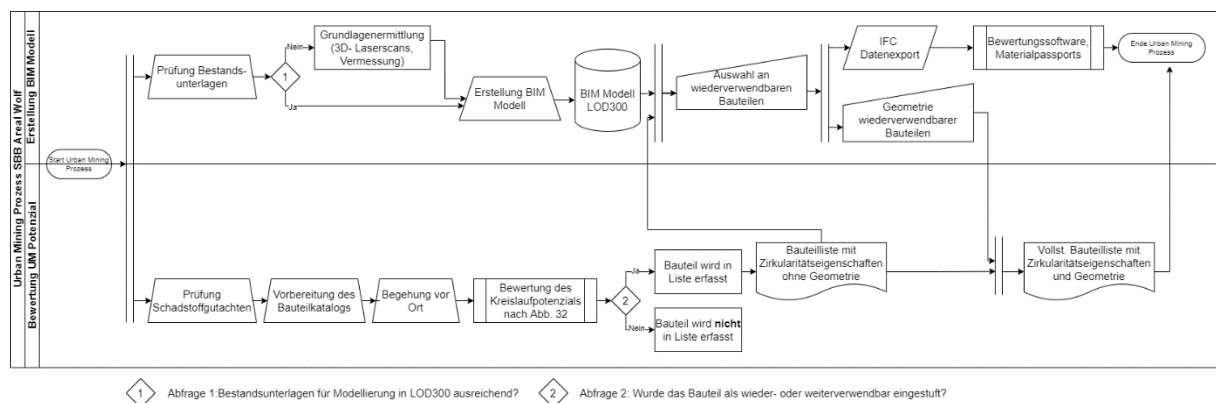


Abbildung 37 Urban Mining Prozess im Projekt Areal Wolf nach ISO5807, eigene Darstellung

4.2.4. BEWERTUNG HINSICHTLICH DER EFFIZIENZ UND ÜBER DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT

Der Planungsprozess im Bestand ist hinsichtlich des Arbeitsaufwandes und des Einsatzes von BIM ineffizient. Dies lässt sich zum einen auf fehlende Standards zurückführen, die eine einheitliche, quantitative Bewertung nicht zulassen und die Bewertung des Urban Mining Potentials im hohen Maße von der analogen Einschätzung durch die UM-Expertin abhängig machen. Die „Kreislauffähigkeit“ wird je nach Projekt von unterschiedlichen Zielstellungen und von den Bauherren festgelegten „Indikatoren“ (z.B. die Ökobilanz) abhängig gemacht. Eine Vergleichbarkeit zwischen den Projekten und ein etablierter Workflow sind dadurch nicht gegeben. Die uneinheitliche Zielstellung erschwert das Schnittstellenmanagement zwischen den verschiedenen Akteuren und Software, sodass Redundanzen entstehen: Beispielsweise zeigt der Arbeitsprozess im Projekt SBB Areal Wolf, dass die Bewertung der Zirkularitätseigenschaften insgesamt zweimal erfolgen muss: erst in der Excel-Datei und anschließend als Übertrag in Madaster.

Der Planungsprozess im Projekt Areal Wolf hat strukturelle Defizite, die durch eine BIM zentrierte Planung vermieden werden können. Die Urban Mining Bewertung und das BIM Modell werden als zwei unterschiedliche Arbeitsaufträge vergeben. Neben dem Mehraufwand der Katalogerstellung hat dies zur Folge, dass ein BIM Modell mit einem bestimmten vertraglich vereinbarten Fertigstellungsgrad (LOD) für ein Gebäude erstellt wird, das bis auf eine Bauteilauswahl anschließend abgerissen wird. Die Vorgabe eines einheitlichen LOD für das gesamte Modell ist im Urban Mining Prozess ineffizient, da für eine Wiederverwendung ein anderer Informationsgehalt notwendig ist als für eine (thermische) Weiterverwertung: Bei einer Wand, die nicht zerstörungsfrei lösbar und nicht trennbar ist, reicht für die Rückbauplanung eine Volumenangabe, eine Modellierung aller Schichten ist nicht notwendig. Die Planung aus einer Hand ermöglicht ein Modell mit einem niedrigeren LOD und selektiv höheren Informationsgehalten. Nach der Feststellung, welche Bauteile für eine Wiederverwendung infrage kommen, kann diese Auswahl im Modell mit geometrischen und Materialeigenschaften „aufgerüstet“ werden.

Zudem führt die Trennung des Arbeitsprozesses dazu, dass die Bestandsaufnahme zweifach stattfindet: zum einen für die Grundlagenermittlung in Form von Laser-Scans oder sonstigen Vermessungen für das BIM Modell und zum anderen durch den/die UM-Experten/in, der/die parallel auf Grundlage der unzureichenden Bestandsunterlagen das Kreislaufpotenzial vor Ort bestimmt.

Die Planung in verschiedener Software führt zu einem hohen Bedarf an Schnittstellenmanagement, um sicherzustellen, dass keine Informationen verloren gehen. Zum einen müssen die Bewertung und die Bauteile nachträglich zusammengeführt werden, wenn ihre Bewertung außerhalb des Modells durchgeführt wird. Dies bedeutet einen erheblichen Mehraufwand, da eine normale Bauteilliste in Revit die Bauteile durch die automatisch erzeugte, alphanumerische Bauteil-ID identifiziert. Die Zuordnung der Bauteilauswahl der

Excelliste mit den in Revit modellierten erfolgt daher entweder durch einzelnes Auswählen der Bauteile im Modell oder mithilfe einer Revit-Bauteilliste mit Bildern, die allerdings nicht automatisch erzeugt, sondern durch Ansichten erstellt werden müssen (erheblicher Zeitaufwand). Unabhängig von der Art der Zusammenführung erfolgt die Übertragung der Massen vom Modell in den Bauteilkatalog händisch. Zum anderen ist bei einer getrennten Bearbeitung der Informationsfluss ausschließlich in eine Richtung. Die Geometrien der manuell ausgewählten, wiederverwendbaren Bauteile werden aus dem Modell „exportiert“, die Bewertung ihres Kreislaufpotenzials fließt hingegen nicht zurück (siehe Abbildung 37). Ein Modell, das nicht als Datenspeicher genutzt wird, hat keinen Mehrwert gegenüber herkömmlichen 3D-CAD Zeichnungen. Sinnvoller erscheint das Anlegen und Ausfüllen so vieler Parameter wie möglich im Revit und ggf. notwendige Ergänzung der exportierten Bauteilliste. Sind die Parameter als Ifc Entities exportierbar, können diese auch anderen Programmen (z.B. Concular, Madaster) zur Verfügung gestellt werden, ohne dass erneut ein Abgleich mit dem Modell oder einer anderen (Excel-) Liste erfolgen muss.

Hinsichtlich seiner Aussagekraft über die Kreislauffähigkeit des Gebäudes ist der Planungsprozess im Bestand trotz fehlender Standards durch die qualitative Einschätzung durch eine*n UM-Fachplaner*in als ausreichend genau zu bewerten. Für das Ziel der Ressourcenschonung durch Ausnutzung des Wiederverwendungspotenzials im Bestand sind nur die in 3.2 Kreislauffähigkeitskriterien im Neubau und Bestand vorgestellten PostUse-Kriterien relevant und diese werden durch die in Abbildung 33 dargestellte Entscheidungslogik abgefragt.

4.3. PLANUNG DER KREISLAUFFÄHIGKEIT IM NEUBAU

Die Planung des Neubaus im Sinne des Urban Mining Design umfasst die Analyse und Optimierung von Stoffkreisläufen und Materialinputs über den gesamten Lebenszyklus (Bau- Betrieb/Nutzung- Abbruch) eines Gebäudes bis hin zur Vorbereitung der Zuführung ihrer Bestandteile in neue Kreisläufe im Anschluss an die Use-Phase.

Die in 3.2 Kreislauffähigkeitskriterien im Neubau und Bestand vorgestellte Kriterien, stellen nur eine Auswahl an Entwurfskriterien im gesamten Planungsprozess dar. Die fehlenden Standards erschweren einen ganzheitlichen Planungsansatz, sodass sich die Planung der Kreislauffähigkeit bei Neubauprojekten fast ausschließlich auf die in den Nachhaltigkeits-Zertifizierungssystemen enthaltenen Circular Economy Kriterien beschränkt. Es gibt bis auf sehr wenige Ausnahmen, beispielsweise das K118 in Winterthur, das hier vorgestellt wird, kaum Projekte außerhalb des privaten Hausbaus, deren Planungsziel die vollständige Zirkularität des Gebäudes ist. Einen repräsentativen Stand der Technik zu beschreiben, ist daher nicht möglich. Aus diesem Grund wird im Folgenden betrachtet, welche Planungsansätze theoretisch notwendig sind und welche Ansätze in einem Projektbeispiel bereits umgesetzt wurden.

4.3.1. PLANUNGSSCHRITTE

In der Neubauplanung haben neben dem Entwurf und der Konstruktion auch andere Planungsaspekte einen Einfluss auf die Kreislauffähigkeit des Gebäudes: die Standortwahl, die Haustechnik, die Kostenbetrachtung, Digitalität und das Mikroklima. Prof. Dipl.-Ing. Annette Hillebrandt, Prof. Dr.-Ing. Anja Rosen, Prof. Dipl.-Ing. Petra Riegler-Floors fassen diesen Planungsprozess als Urban-Mining-Design-Konzept zusammen. (Hillebrandt et al., 2022) Eine Übersicht des gesamten Prozesses und der Abhängigkeiten sind in Anlage 15 enthalten.

4.3.2. BEISPIELPROJEKT: K.118

Im Folgenden wird vorgestellt, wie die Zirkularität in der Planung im Projekt K.118 – Kopfbau Halle 118 in Winterthur in der Schweiz umgesetzt wurde. Das Projekt wurde als Fallstudie durch die Stiftung Abendrot in Auftrag gegeben und wurde durch das Projektteam von Barbara Buser, Pascal Hentschel, Marc Angst, Kerstin Müller des Architekturbüros baubüro in situ in Basel sowie dem Architekten Benjamin Poignon (bparchitecte) geleitet. Zusätzlich wurden die Planung und der Bau im Rahmen des interdisziplinären Lehr- und Forschungsprojekts Zirkulär Bauen des Instituts Konstruktives Entwerfen der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) hinsichtlich energetischer, ökonomischer, prozessualer und rechtlicher Fragen ausgewertet. Erklärtes Ziel war, "ausschliesslich bereits vorhandene Bauteile aus Rückbauten zu verwenden." (Baubüro in situ AG, 2022)

Das Projekt umfasst die Aufstockung einer Lagerhalle im Sulzer-Industrieareal in Winterthur für zwölf neue Denkstuben, Werkräume und Ateliers. Diese sammeln sich auf jedem der drei Stockwerke um eine Gemeinschaftsküche. Jedes Geschoss ist über Lift und Außentreppe erreichbar sowie mit Sanitärräumen und Balkonlauben ausgestattet. (Baubüro in situ AG, 2022).



Abbildung 38: K.118 in Winterthur Ansicht Nord-West (Baubüro in situ AG, 2022)

Durch diese Verdichtungsmaßnahme im urbanen Raum kann der Ressourcenaufwand für neue Infrastrukturen vermieden werden. (Hillebrandt et al., 2018, S. 10). Der Planungsprozess kehrt sich im Vergleich zur konventionellen Bauweise um: Er beginnt mit der Materialsammlung und verändert sich iterativ mit der voranschreitenden Suche nach unterschiedlichen Bauteilen. Auf die Wahl des Bauteils folgt das Ausmessen, Inventarisieren und Katalogisieren. (Baubüro in situ AG, 2022) Der Entwurf wird entsprechend der Verfügbarkeit angepasst.

Beim K.118 stammen die Bauteile aus verschiedenen Standorten, die durch sogenannte Bauteiljäger einzeln erfasst werden. In „Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen“ (Stricker et al., 2021) wird die Inventarisierung beschrieben, die sich in drei Teilschritten beschreiben lässt: Erstdokumentation, Digitalisierung, Kennzeichnung. Die Neubauplanung ist in diesem Projekt eng verbunden mit dem Urban Mining Prozess. So werden bei der Erstdokumentation ähnlich zum Projektbeispiel SBB Areal Wolf (siehe 4.2.3 Beispielprojekt: SBB Wolf Areal) die Bauteile "auf dem Gelände [...] aus unterschiedlichen Winkeln (fotografiert)" und "eine Inventarliste aller infrage kommenden Teile" erstellt. (Stricker et al., 2021, S. 36–37) Im nächsten Schritt wurden die Bauteile digitalisiert,

indem sie am Computer mit einem CAD Programm nachgezeichnet und in den Entwurfsplan eingefügt wurden. Nachdem (analog) geprüft wurde, ob sich das Bauteil in die bereits vorhandene Planung einfügt, erhält es eine Kennzeichnung in Form eines QR-Codes. Dieser wird im Entwurfsplan eingefügt und an dem physischen Bauteil angebracht. (Stricker et al., 2021, S. 36)

Die Katalogisierung erfolgt anhand eines Fotos und Angaben zu den in Tabelle 16 dargestellten Eigenschaften:

Tabelle 16 Bauteilkatalog nach baubüro insitu für das Projekt K118

Eigenschaft	Anmerkung
e-BKP Gruppe	
Menge	nach e-BKP Bezugsgröße
Baujahr	falls bekannt
Gewicht	
Dimensionen	
Material	Hauptmaterial, beispielsweise bei Träger: Stahl 235
Oberfläche	Beispielsweise bei Träger: Zinkstaub Anstrich
Typ	falls genormtes Bauteil oder aus Herstellerangaben, beispielsweise: IPE 120
Aufbereitung	Beschreibung des Aufbereitungsprozesses, der nach dem Ausbau und vor dem Wiedereinbau im Neubauprojekt erfolgen muss

Erst nach dem Sammeln einer großen Anzahl verschiedener wiederverwendbarer Bauteile ohne Vorgaben an die Architektur wurde mit dem Entwurf begonnen. Auf Basis des Entwurfs wurde dann konkret nach passenden Bauteilen gesucht. Im Falle der Nichtverfügbarkeit wurde der Entwurf angepasst oder auf rückbaubare Neubauteile aus nachwachsenden Rohstoffen gesetzt: Holz, Lehm oder Stroh.

Der Entwurf erfolgte unter Beachtung verschiedener Konzepte, die in Anlage 16 detailliert dargestellt sind. Einige dieser Kriterien stimmen inhaltlich mit der Auswahl aus 3.2.2 Kreislauffähigkeitskriterien überein, beispielsweise die Entflechtung, die Lösbarkeit, die Materialgerechtigkeit, die Modularität und die Trennbarkeit. Die Anpassung des Entwurfs unter Beachtung dieser Aspekte erfolgte iterativ und mithilfe von CAD-Programmen.

4.3.3. BEWERTUNG HINSICHTLICH DER EFFIZIENZ UND AUSSAGEKRAFT ÜBER DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT

Das Projekt K118 ist als Fallstudie ausgelegt, in der die Wiederverwendung als oberstes Ziel gilt und in der unter anderem die Wirtschaftlichkeit von zirkulären Gebäuden untersucht werden soll. Das Beispielprojekt ist aus diesem Grund aussagekräftig in Bezug auf die Umsetzbarkeit der Kreislauffähigkeit in der Planung. Die Zielstellung erforderte insbesondere ein Umdenken in der Planung, in der die Verfügbarkeit verschiedener Bauteile den Entwurf bestimmen und die die Planung im Vergleich zu konventionellen zeitlich intensiver, also „ineffizienter“ macht.

Der Mehraufwand lässt sich vorrangig auf den iterativen Entwurfsprozess zurückführen. Dieser wird zum einen notwendig, da in der traditionellen Baubranche Strukturen und Standards für die Wiederverwendung fehlen: es ist keine zentrale Datenbank oder eine Übersicht aller abzubrechenden Gebäude und deren Bauteile in Form eines Katasters vorhanden und es fehlt ein Qualitätsstandard, der die Nachnutzungsmöglichkeiten abbilden könnte. Die Einschätzung der Nachnutzungsmöglichkeiten und der nötigen Aufbereitungsprozesse erfolgen durch Fachspezialisten des Projektbüros. Zum anderen stehen bei der Wiederverwendung verschiedener Gebäude nicht alle Bauteile gleichzeitig zur Verfügung. Das bedeutet, dass der Wiedereinsatz in einem neuen Gebäude mit viel größeren zeitlichen Toleranzen geplant werden muss.

Im Projekt K118 wurden die Bauteile durch Recherchen zu verschiedenen Rückbauprojekten akquiriert und mussten anschließend nach selbst zusammengestellten Kriterien katalogisiert werden. Diese Kriterien sind mit den in 3.2 Kreislauffähigkeitskriterien im Neubau und Bestand genannten Kriterien auf Material- und Bauteilebene nur bedingt vergleichbar, da nur eine vorsortierte, als wiederverwendbar eingestufte Auswahl an Bauteilen überhaupt katalogisiert wird. Die Kriterien zur Schadstofffreiheit und zur Rückbaufähigkeit sowie der Sortenreinheit entfallen daher. Auf Gebäudeebene finden sich jedoch Parallelen zwischen den im Entwurf betrachteten Konzepten und den oben beschriebenen Kriterien.

Die gesamte Entwurfsplanung und die Katalogisierung sind hinsichtlich der Datenspeicherung und der Dokumentation für das Ende der Nutzungszeit nicht effizient. Die iterative Planung mithilfe von CAD-Programmen ist sehr aufwändig, da in diesen Programmen Bauteile als Linien dargestellt sind. Ändert sich die Form oder die Position des Bauteils im Entwurf, müssen die Linien zur Darstellung in den Grundrissen und den Schnitten entsprechend angepasst werden. (CADLearning, S. 2) Bei der Verwendung von BIM konzentriert man sich auf die Erstellung eines Gebäudemodells, aus dem dann die Zeichnungen generiert werden können. Das spart Zeit, da die Elemente in nur einer Ansicht erstellt werden müssen und anschließend in allen Ansichten erscheinen, in denen ihre Sichtbarkeit aktiviert ist. (CADLearning, S. 2) Zudem werden die Bauteile im Projekt K.118 zwar aufwendig katalogisiert und mit CAD Programmen nachgezeichnet, um sie den Planenden zu Verfügung zu stellen. Die Bauteildaten werden anschließend aber in Bauteil-Pässen zusammengefasst, die nicht zentral abgelegt sind. Dadurch ist die Informationslage für das EoL-Szenario zwar ausreichend, aber aufwendig zu verwalten.

Eine effizientere Umsetzung mit BIM wird in 4.4.1 Framework Bestand vorgestellt.

4.4. LÖSUNGSVORSCHLAG

Als Lösungsvorschlag für die Steigerung der Planungseffizienz soll die BIM basierte Planung im Bestand sowie im Neubau betrachtet werden. Bei der Arbeit mit einem zentralen Modell entfällt der Aufwand zur Beschreibung des Einbauorts, des Einbauzustands und zur Visualisierung wiederverwendbarer Bauteile. Zudem wird das Schnittstellenmanagement reduziert: alle notwendigen Informationen werden im Bauteil/Material selbst gespeichert. Das BIM Modell dient als Datenbank, in der alle relevanten Informationen gespeichert und entlang des Lebenszyklus des Gebäudes bei Änderungen aktualisiert werden, sodass am Ende der Nutzungsphase des Gebäudes alle relevanten Informationen zur Verfügung stehen. Aus dem Modell können Arbeitsgrundlagen wie Excellisten für Bauteilkataloge und IFC Daten für die Zertifizierung exportiert werden. Wegen der breiten Marktpräsenz und seiner Kompatibilität mit IFC wird in vorliegender Arbeit als Bezug die BIM-Software Revit der Autodesk GmbH verwendet.

Im Folgenden wird dargestellt, wie sich die Kreislauffähigkeitskriterien als Parameter in einem BIM Modell anlegen und exportieren lassen. Um einen softwareunabhängigen Datenaustausch zu ermöglichen, wird IFC als Export-Format gewählt.

Zur Beschreibung von Gebäudeobjekten in der realen Welt, verwendet IFC Container mit architektonischer Bedeutung: IfcProject, IfcSite und IfcBuilding (Autodesk GmbH et al., 2020). Diese Container enthalten Parameter mit relevanten Werten. Für viele Revit-Standardelemente stehen entsprechende IFC-Container zur Verfügung, die ohne spezielle Benutzereingriffe exportiert werden können. So werden z. B. Revit-Wände automatisch als ifcWalls exportiert. Andere Revit-Familien (zum Beispiel Rolltreppen) müssen vor dem Export IFC-Containern zugeordnet werden. (*Revit Und IFC | Revit 2022 | Autodesk Knowledge Network*, 2022) Bei der Verwendung von IFC für den Datenaustausch muss von vornherein geklärt sein, welche Version und welche Modellansichtsdefinition (MVD) verwendet werden sollen. (Autodesk GmbH et al., 2020)

IFC Versionen

Unter Versionen versteht man die IFC-Definitionen, die regelmäßig von buildingSMART aktualisiert und weiterentwickelt werden. Für den Import (zum Öffnen oder Verknüpfen einer IFC-Datei) unterstützt Revit IFC-Dateien, die auf den folgenden buildingSMART International-(bSI-)Datenaustauschnormen basieren: IFC2x3, IFC2x2 und IFC2x. Für den Export unterstützt Revit die folgenden Normen: IFC4, IFC2x3, and IFC2x2. (*Revit Und IFC | Revit 2022 | Autodesk Knowledge Network*, 2022)

Model View Definition (MVD)

Eine IFC View Definition oder Model View Definition (MVD) definiert eine Teilmenge des IFC-Schemas, zur Beschreibung des Datenaustauschs für einen bestimmten Verwendungszweck oder Arbeitsablauf. MVDs dienen dem gezielten Austausch von Fachmodellen unter Berücksichtigung der für Planer relevanten grafischen und inhaltlichen Informationen. (Autodesk GmbH, 2018, S. 7) Sie legen somit fest, welche Daten aus einem Modell beim Export zu IFC übertragen werden.

Um sicherzustellen, dass die Kreislauffähigkeitskriterien exportiert werden, ist daher zu betrachten, wie Eigenschaften im IFC Schema umgesetzt werden können und in welcher Model View Definition sie enthalten sind. Das IFC-Format ordnet Objekte hierarchisch nach ihrem Typ an. Diese vordefinierte Struktur ist in der unten gezeigten Grafik veranschaulicht. (Autodesk GmbH, 2018, S. 9)

IFC TREE-VIEW - Die IFC Baumstruktur

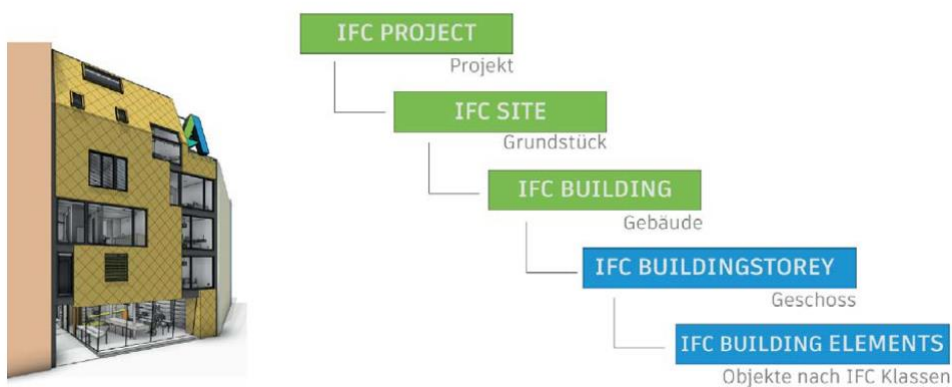


Abbildung 39: Hierarchische Struktur des IFC Formats (Autodesk GmbH, 2018, S. 9)

Eine IFC-Klasse (engl. Entity) ist ein eindeutig identifiziertes Objekt im IFC-Datenmodell. Abhängig von der Klassenzuweisung und der Typendefinition erhält das Objekt innerhalb des IFC-Schemas bestimmte Standardattribute und Abhängigkeiten (Beziehungen). Die verschiedenen Eigenschaften-Sets werden in sogenannten Property Sets (Psets) zusammengefasst. (Autodesk GmbH, 2018, S. 10). Um die Kreislauffähigkeitskriterien exportierbar anzulegen, muss demnach überprüft werden, ob bereits Eigenschaften im IFC Schema enthalten sind, die diese abbilden können.

Im IFC Schema beschreibt die Superklasse `IfcElement` alle physisch existierenden Objekte, bei denen es sich auch um leere Elemente wie Öffnungen handeln kann. Alle Bauteile, Elementgruppen, Haustechnikanlagen usw., stammen von `IfcElement` ab. Alle Objekte der Klasse `IfcElement` verfügen über die in Abbildung 40 (S.75) aufgeführten Attribute.

#	Attribute	Type
8	Tag	IfcIdentifier
	FillsVoids	IfcRelFillsElement @RelatedBuildingElement
	ConnectedTo	IfcRelConnectsElements @RelatingElement
	IsInterferedByElements	IfcRelInterferesElements @RelatedElement
	InterferesElements	IfcRelInterferesElements @RelatingElement
	HasProjections	IfcRelProjectsElement @RelatingElement
	ReferencedInStructures	IfcRelReferencedInSpatialStructure @RelatedElements
	HasOpenings	IfcRelVoidsElement @RelatedBuildingElement
	IsConnectionRealization	IfcRelConnectsWithRealizingElements @RealizingElements
	ProvidesBoundaries	IfcRelSpaceBoundary @RelatedBuildingElement
	ConnectedFrom	IfcRelConnectsElements @RelatedElement
	ContainedInStructure	IfcRelContainedInSpatialStructure @RelatedElements
	HasCoverings	IfcRelCoversBldgElements @RelatingBuildingElement

Abbildung 40: Attributdefinitionen der IFC-Klasse IfcElement (buildingSMART, 2019, S. 1)

Die genaue Verortung eines Bauteils (Standort, Gebäude, Stockwerk oder Raum) ist insbesondere für die Rückbauplanung wichtig und wird im Gebäude durch die Beziehung *IfcRelContainedInSpatialStructure* beschrieben. (buildingSMART, 2019)

Zudem verfügen alle Objekte der Superklasse IfcElement verfügen über sieben Eigenschaftensätze:

- Pset_EnvironmentalImpactIndicators
- Pset_EnvironmentalImpactValues
- Pset_Condition
- Pset_ManufacturerOccurrence
- Pset_ManufacturerTypeInformation
- Pset_ServiceLife
- Pset_Warranty

In IFC4 wurde mit dem Pset_EnvironmentalImpactIndicators der vollständige Satz mit Eigenschaften und Beziehungen für eine LCA Bewertung eines Gebäudes eingeführt. Die Daten der Ökobilanzierung, die im Projekt SBB Areal Wolf in einer Excel-Tabelle zusammengefasst und im Projekt K118 in Materialpässen angelegt werden, können in Revit direkt im betreffenden Bauteil hinterlegt werden. Zudem eignen sich die Properties auch für die Beschreibung der Kreislauffähigkeitskriterien „**Schadstofffreiheit**“ und „**EoL-Nachnutzungsszenarien**“ (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17 Eigenschaften des Pset_EnvironmentalImpactIndicators und zugehörige Zirkularitätskriterien

Property Name	Beschreibung	PostUse-Zirkularitätskriterien																
Reference	Typenreferenz																	
Functional UnitReference	Verweis auf eine Datenbank oder eine Klassifikation																	
Unit	Die Einheit, auf die sich die Werte der Umweltkennzahlen beziehen.																	
LifeCyclePhase	Der gesamte Lebenszyklus oder nur eine bestimmte Phase, für die Umweltdaten gültig sind. Im Aufzählungsset PEnum_LifeCyclePhase sind verschiedene Phasen aufgezählt und mit USERDEFINED, die Möglichkeit, selbst Phasen anzulegen.	Nachnutzung In dieser Property kann im Bestand das Ergebnis der UMBewertung, das EoL-Szenario des Elements, angegeben werden. Die LifeCyclePhase wird entsprechend der festgestellten Nachnutzung angepasst. <i>Tabelle 18 Option 1: Nutzung der vordefinierten Phasen</i> <table><tr><td>USAGE</td><td>Re-Use (Wiederverwendung)</td></tr><tr><td>RECOVERY</td><td>Recycle (Wiederverwertung auf Materialebene)</td></tr><tr><td>REFURBISHMENT</td><td>Further Use (Weiterverwendung)</td></tr><tr><td>DISPOSAL</td><td>Downcycling (Weiterverwertung)</td></tr></table> <i>Tabelle 19 Option 2: Anlegen eigener Phasen durch den Parameter USERDEFINED</i> <table><tr><td>REUSE</td><td>Re-Use (Wiederverwendung)</td></tr><tr><td>RECYCLE</td><td>Recycle (Wiederverwertung auf Materialebene)</td></tr><tr><td>FURTHER USE</td><td>Further Use (Weiterverwendung)</td></tr><tr><td>DOWNCYCLING</td><td>Downcycling (Weiterverwertung)</td></tr></table>	USAGE	Re-Use (Wiederverwendung)	RECOVERY	Recycle (Wiederverwertung auf Materialebene)	REFURBISHMENT	Further Use (Weiterverwendung)	DISPOSAL	Downcycling (Weiterverwertung)	REUSE	Re-Use (Wiederverwendung)	RECYCLE	Recycle (Wiederverwertung auf Materialebene)	FURTHER USE	Further Use (Weiterverwendung)	DOWNCYCLING	Downcycling (Weiterverwertung)
USAGE	Re-Use (Wiederverwendung)																	
RECOVERY	Recycle (Wiederverwertung auf Materialebene)																	
REFURBISHMENT	Further Use (Weiterverwendung)																	
DISPOSAL	Downcycling (Weiterverwertung)																	
REUSE	Re-Use (Wiederverwendung)																	
RECYCLE	Recycle (Wiederverwertung auf Materialebene)																	
FURTHER USE	Further Use (Weiterverwendung)																	
DOWNCYCLING	Downcycling (Weiterverwertung)																	
Hazardous-WastePerUnit	Menge der erzeugten gefährlichen Abfälle	Schadstofffreiheit In diesem Parameter wird hinterlegt, in welcher Menge das Element gefährliche Abfälle oder Schadstoffe verursacht. Ist der Wert über 0, ist das Bauteil schadstoffbelastet und kommt für eine Wiederverwendung nicht infrage.																

Mit dem Pset_Condition können dem Element weitere Beschreibungen des Elementzustands hinzugefügt werden, die für die Nachnutzung oder den Rückbau relevant sind (siehe Tabelle 20). Im Beispielprojekt SBB Areal Wolf diente dieser Eigenschaftensatz der Transparenz hinsichtlich der Begehungszeiträume.

Tabelle 20 Properties des Pset_Condition

Typ	Reference	Beschreibung
AssessmentDate	IfcDate	Datum, an dem der Gesamtzustand bewertet wird
AssessmentCondition	IfcLabel	Bewertung des Gesamtzustandes nach vorher vereinbarten Kriterien. Es können Bewertungen als Beschreibung „gut“, „mittel“, „schlecht“ oder als Saklierung, beispielsweise von 1 bis 10 erfolgen.
AssessmentDescription	IfcText	Beschreibung des Objektzustandes, Hinweis auf Besonderheiten

In den Eigenschaftensätzen Pset_ManufacturerOccurrence, Pset_ManufacturerTypeInformation, Pset_ServiceLife, Pset_Warranty werden Informationen zum Hersteller, der Produktart und der Garantie hinterlegt (siehe Abbildung 41. S.74). Diese Informationen sind für den Rückbau relevant, da sie Anleitungen zur Demontage referenzieren können sowie die Garantien und Herstellerangaben für eingebaute Produkte enthalten.

Pset_ManufacturerOccurrence	<table><tr><th>Template</th><th>PropertyName</th><th>Value</th><th>Reference</th></tr><tr><td>Single Value</td><td>AcquisitionDate</td><td>IfcDate</td><td></td></tr><tr><td>Single Value</td><td>BarCode</td><td>IfcIdentifier</td><td></td></tr><tr><td>Single Value</td><td>SerialNumber</td><td>IfcIdentifier</td><td></td></tr><tr><td>Single Value</td><td>BatchReference</td><td>IfcIdentifier</td><td></td></tr><tr><td>Enumerated Value</td><td>AssemblyPlace</td><td>IfcLabel</td><td></td></tr></table>	Template	PropertyName	Value	Reference	Single Value	AcquisitionDate	IfcDate		Single Value	BarCode	IfcIdentifier		Single Value	SerialNumber	IfcIdentifier		Single Value	BatchReference	IfcIdentifier		Enumerated Value	AssemblyPlace	IfcLabel									
Template	PropertyName	Value	Reference																														
Single Value	AcquisitionDate	IfcDate																															
Single Value	BarCode	IfcIdentifier																															
Single Value	SerialNumber	IfcIdentifier																															
Single Value	BatchReference	IfcIdentifier																															
Enumerated Value	AssemblyPlace	IfcLabel																															
Pset_ManufacturerTypeInformation	<table><tr><th>Template</th><th>PropertyName</th><th>Value</th><th>Reference</th></tr><tr><td>Single Value</td><td>GlobalTradeItemNumber</td><td>IfcIdentifier</td><td></td></tr><tr><td>Single Value</td><td>ArticleNumber</td><td>IfcIdentifier</td><td></td></tr><tr><td>Single Value</td><td>ModelReference</td><td>IfcLabel</td><td></td></tr><tr><td>Single Value</td><td>ModelLabel</td><td>IfcLabel</td><td></td></tr><tr><td>Single Value</td><td>Manufacturer</td><td>IfcLabel</td><td></td></tr><tr><td>Single Value</td><td>ProductionYear</td><td>IfcLabel</td><td></td></tr><tr><td>Enumerated Value</td><td>AssemblyPlace</td><td>IfcLabel</td><td></td></tr></table>	Template	PropertyName	Value	Reference	Single Value	GlobalTradeItemNumber	IfcIdentifier		Single Value	ArticleNumber	IfcIdentifier		Single Value	ModelReference	IfcLabel		Single Value	ModelLabel	IfcLabel		Single Value	Manufacturer	IfcLabel		Single Value	ProductionYear	IfcLabel		Enumerated Value	AssemblyPlace	IfcLabel	
Template	PropertyName	Value	Reference																														
Single Value	GlobalTradeItemNumber	IfcIdentifier																															
Single Value	ArticleNumber	IfcIdentifier																															
Single Value	ModelReference	IfcLabel																															
Single Value	ModelLabel	IfcLabel																															
Single Value	Manufacturer	IfcLabel																															
Single Value	ProductionYear	IfcLabel																															
Enumerated Value	AssemblyPlace	IfcLabel																															
Pset_ServiceLife	<table><tr><th>Template</th><th>PropertyName</th><th>Value</th></tr><tr><td>Single Value</td><td>MeanTimeBetweenFailure</td><td>IfcDuration</td></tr><tr><td>Bounded Value</td><td>ServiceLifeDuration</td><td>IfcDuration</td></tr></table>	Template	PropertyName	Value	Single Value	MeanTimeBetweenFailure	IfcDuration	Bounded Value	ServiceLifeDuration	IfcDuration																							
Template	PropertyName	Value																															
Single Value	MeanTimeBetweenFailure	IfcDuration																															
Bounded Value	ServiceLifeDuration	IfcDuration																															
Pset_Warranty	<table><tr><th>Template</th><th>PropertyName</th><th>Value</th></tr><tr><td>Single Value</td><td>WarrantyIdentifier</td><td>IfcIdentifier</td></tr><tr><td>Single Value</td><td>WarrantyStartDate</td><td>IfcDate</td></tr><tr><td>Single Value</td><td>WarrantyEndDate</td><td>IfcDate</td></tr><tr><td>Single Value</td><td>IsExtendedWarranty</td><td>IfcBoolean</td></tr><tr><td>Single Value</td><td>WarrantyPeriod</td><td>IfcTimeMeasure</td></tr><tr><td>Single Value</td><td>WarrantyContent</td><td>IfcText</td></tr><tr><td>Single Value</td><td>Exclusions</td><td>IfcText</td></tr></table>	Template	PropertyName	Value	Single Value	WarrantyIdentifier	IfcIdentifier	Single Value	WarrantyStartDate	IfcDate	Single Value	WarrantyEndDate	IfcDate	Single Value	IsExtendedWarranty	IfcBoolean	Single Value	WarrantyPeriod	IfcTimeMeasure	Single Value	WarrantyContent	IfcText	Single Value	Exclusions	IfcText								
Template	PropertyName	Value																															
Single Value	WarrantyIdentifier	IfcIdentifier																															
Single Value	WarrantyStartDate	IfcDate																															
Single Value	WarrantyEndDate	IfcDate																															
Single Value	IsExtendedWarranty	IfcBoolean																															
Single Value	WarrantyPeriod	IfcTimeMeasure																															
Single Value	WarrantyContent	IfcText																															
Single Value	Exclusions	IfcText																															

Abbildung 41: Eigenschaften der Property Sets Pset_ManufacturerOccurrence, Pset_ManufacturerTypeInformation, Pset_ServiceLife, Pset_Warranty (buildingSMART, 2019)

Abgesehen von den Psets, die von der Klasse IfcElement vererbt werden, können die unteren Klassen (siehe Abbildung 42) weitere Eigenschaften besitzen.

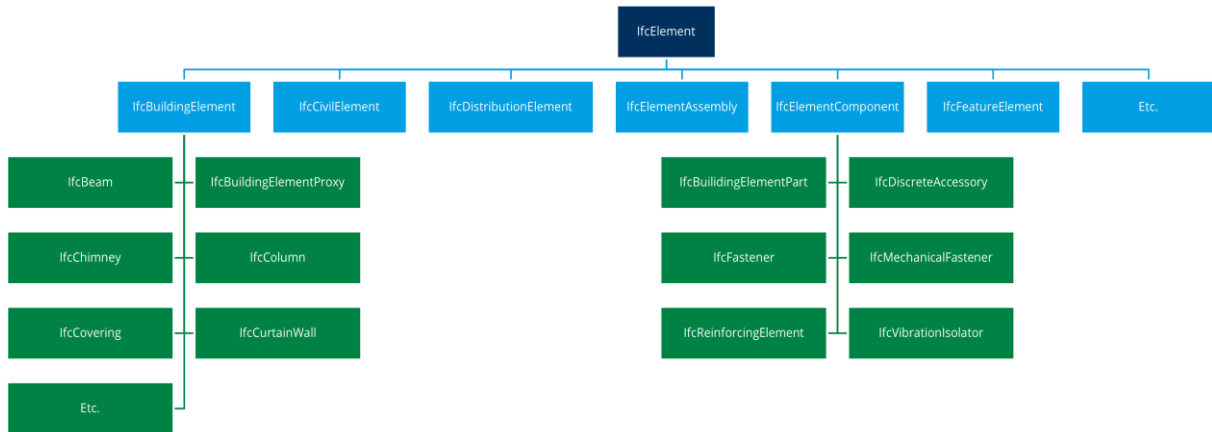


Abbildung 42: IFC Klassenvererbung, eigene Darstellung nach (buildingSMART, 2019, S. 2)

Im Hochbau wird je nach Zusammensetzung in der Regel unterschieden in **IfcBuildingElement** und **IfcElementAssembly**. Alle Einzelelemente, die primär zur Konstruktion eines Gebäudes gehören, d.h. das bauliche und raumbildende System bilden, werden innerhalb der Klasse **IfcBuildingElement** spezifiziert. Bauteile oder Baueinheiten, die aus mehreren Elementen zusammengesetzt sind, sind der Klasse **IfcElementAssembly**. Strukturen wie Stahlfachwerke können so näher charakterisiert werden: innerhalb der **IfcElementAssembly** können im Attribut **PredefinedType** die Typen **ACCESSORY_ASSEMBLY** (Zubehör), **ARCH** (Bogen), **BEAM_GRID** (Balkenlage), **BRACED_FRAME** (ausgesteifter Rahmen), **GIRDER** (Jochträger, Belagträger), **REINFORCEMENT_UNIT** (Bewehrung), **RIGID_FRAME** (Biegesteifer Rahmen), **SLAB_FIELD** (Plattenfeld), **TRUSS** (Fachwerk) oder **USERDEFINED** (durch Nutzer definierte Typen) ausgewählt werden. Die Baugruppe gibt Aufschluss über die Einbausituation. Die **Lösbarkeit der Verbindung** auf Bauteilebene wird durch die Art der Verbindungsmittel bestimmt, die im Modell der Klasse **IfcElementComponent** entsprechen. Für die Kreislauffähigkeit ist die Verbindung zwischen konstruktiven Elementen relevant, die den in Tabelle 21 (S. 78) abgebildeten Typen zugeordnet werden können.

Tabelle 21 Einteilung der Verbindungsmittel in Abhängigkeit der IFC-Klasse

IfcElementComponent Subklasse	Attribut	Typ	Übersetzung
ifcFastener (Verbindungsmittel)	PredefinedType	GLUE MORTAR WELD USERDEFINED NOTDEFINED	KLEBER MÖRTEL SCHWEISSNAHT NUTZERDEF: NICHT DEFINIERT
ifcMechanicalFastener (mechanische Verbindungsmittel)	PredefinedType	ANCHORBOLT BOLT DOWEL NAIL NAILPLATE RIVET SCREW SHEARCONNECTOR STAPLE STUDSHEARCONNECTOR USERDEFINED NOTDEFINED	ANKERBOLZEN BOLZEN DÜBEL NAGEL NAGELPLATTE NIETE SCHRAUBE SCHUBDÜBEL BÜGEL BOLZENDÜBEL NUTZERDEF: NICHT DEFINIERT

Die Lösbarkeit der ifcFastener Typen kann allgemein als nicht lösbar und die der ifcMechanicalFastener als lösbar eingestuft werden.

Weiter ist für alle materialbezogenen Informationselemente IfcMaterialDefinition ein allgemeiner Supertyp. (buildingSMART, 2017) Jedem instanzitierbaren Subtyp von IfcMaterialDefinition können Materialeigenschaften zugewiesen werden, oder es kann eine externe Klassifizierung seiner Definition erfolgen. (buildingSMART, 2017)

Die genaue Zusammensetzung eines Materials auf Rohstoffebene entsprechend der Kriterien „**Anteil Wiederverwendung RU**“ und „**Material-Recycling-Content (MRC)**“ ist nicht als Property in einem Pset für Materialien enthalten. Allerdings kann die Zusammensetzung (aus erneuerbaren/nicht erneuerbaren sowie aus Primär- oder Sekundärstoffen) eines Materials im Attribut *Description* als Freitextparameter angelegt werden. Gleiche Materialien mit unterschiedlichen Zusammensetzungen müssen dann entsprechend jeweils als einzelnes IfcMaterial mit der gleichen Kategorie angelegt werden. Ein Beispiel anhand der Spanplatte aus Abbildung 18 (S.41) ist der Tabelle 22 zu entnehmen.

Tabelle 22 Unterscheidung von ifcMaterial's nach Zusammensetzung (eigenes Beispiel)

Attribut	Typ	Material 1	Material 2
Name	<u>IfcLabel</u>	OSB 18	OSB 24
Description	<u>IfcText</u>	73% Nachwachsende Rohstoffe, 9% nicht erneuerbar Primärrohstoff, 18% Sekundärrohstoff	73% Nachwachsende Rohstoffe, 3% nicht erneuerbar Primärrohstoff, 24% Sekundärrohstoff
Category	<u>IfcLabel</u>	OSB	OSB

Im IFC Schema werden mehrschichtige Bauteile als Konstruktion (IfcMaterialLayerSet) aus mehreren Materialschichten (IfcMaterialLayer) angelegt. Die **Sortenreinheit** des Bauteils ist abhängig von der Verbindung zwischen den Schichten. Diese kann bei mehrschichtigen

Bauteilen (IfcMaterialLayer) durch das Attribut *Description* als Freitextparameter angelegt werden.

Tabelle 23 Attribute der IFC Klasse IfcMaterialLayerSet

Attribut	Typ	Beschreibung
1	MaterialLayers	Identifikation der Bauteilschichten (IfcMaterialLayer) aus denen die Konstruktion besteht.
2	LayerSetName	Name der Konstruktion
3	Description	Beschreibung der Verbindung zwischen den Schichten

Zusammenfassend enthält IFC 4 bereits Methoden zur Beschreibung der Beziehungen zwischen Schichten, Elementen und Produkten und somit zur Beschreibung und Bewertung von Verbindungstypen. (Markova, 2019) Allerdings ist in der jetzigen IFC Version nicht jedes Kriterium als eigenes Attribut, mit dem schon in Revit Berechnungen durchgeführt werden können, angelegt. Insbesondere zur Beschreibung der Rohstoffe eines Materials ist noch Bedarf an geeigneten Psets. Fehlende Parameter können jedoch als Freitext hinzugefügt werden.

Alle zuvor genannten Entities werden in der MVD Reference View exportiert.

4.4.1. FRAMEWORK BESTAND

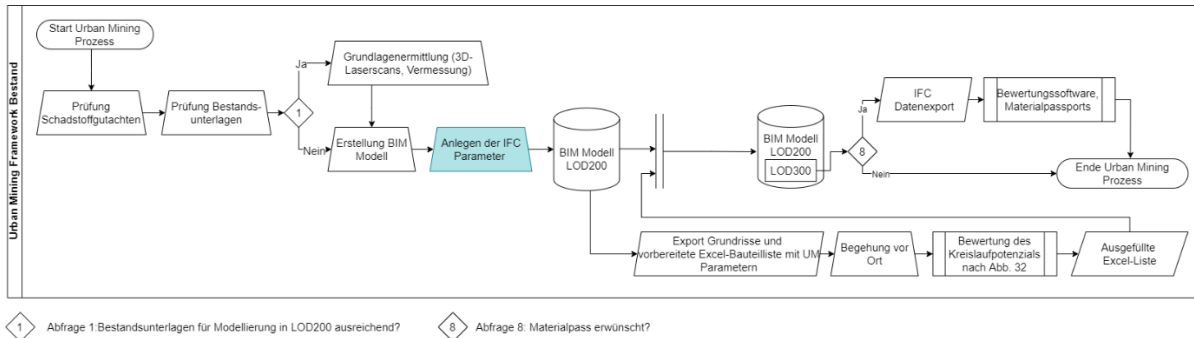


Abbildung 43 Urban Mining Framework, eigene Darstellung nach ISO5807

Die BIM basierte Planung ermöglicht den (fast) linearen Ablauf. Werden die oben genannten Parameter vorab im BIM Modell angelegt, kann daraus eine vorgefertigte Bauteilliste als Excel exportiert werden. Bei der Begehung wird diese Liste unter Beachtung der vordefinierten Werte ausgefüllt. Durch den Parameter LifeCyclePhase angegeben werden kann, ob das Bauteil für eine Wiederverwendung infrage kommt. Nach diesem Parameter kann nach dem Import der ausgefüllten Liste in das Modell gefiltert werden. Die Bauteile, die für eine Wiederverwendung infrage kommen können im Modell durch Informationen ergänzt und Detaillierung der Geometrie auf ein LOD300 „aufgerüstet“ werden. Das BIM Modell dient anschließend als Grundlage für die Rückbauplanung und für die weitere Aufbereitung der Daten in Materialpässen oder anderer Bewertungssoftware. Auch können die Re-Use Bauteile als Revit-Dateien auf geeigneten Bauteilbörsen angeboten werden.

Die händische Identifikation der Bauteile im Modell sowie die Zusammenführung des Modells mit einer externen Excel-Liste entfällt. Die Informationen zur Zirkularität sind im Modell gespeichert und können als IFC exportiert werden, sodass sie auch Fachfremden direkt zur Verfügung.

Das Urban Mining Framework steht in Anlage 17 vergrößert zur Verfügung.

4.4.2. FRAMEWORK NEUBAU

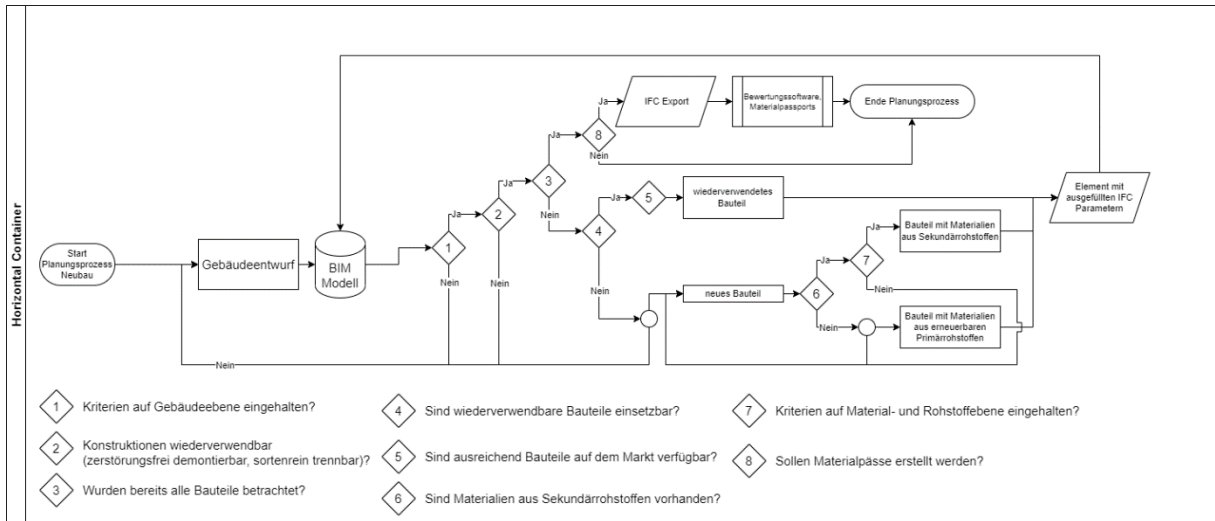


Abbildung 44 Framework BIM zentrierte Planung im Neubau, eigene Darstellung nach DIN5807

Das allgemeine Framework verdeutlicht zum einen, dass der Neubau-Planungsprozess iterativ ist und zum anderen, dass eine BIM-basierte Planung gewährleisten kann, dass alle nötigen Informationen am Ende des Planungsprozesses zur Verfügung stehen und über den Lebenszyklus des Gebäudes gespeichert sind.

In BIM Software wie Revit können Bauteile in das Projekt geladen werden, ohne dass diese direkt „physisch“ im Modell platziert werden müssen. Dadurch entsteht ein Bauteilkatalog, auf dessen Grundlage der Entwurf einfach angepasst werden kann. Bauteil-Typen, die für eine weitere Betrachtung nicht infrage kommen, können aus dem Projekt wieder entfernt werden, sodass am Ende der Planung nur die tatsächlich verbauten Elemente im Modell gespeichert und dokumentiert sind.

Das Framework der BIM zentrierten Planung steht vergrößert in Anlage 18 zur Verfügung.

5 SCHLUSSBETRACHTUNG

5.1. ZUSAMMENFASSUNG DER ARBEIT

Die Kreislauffähigkeit ist nach aktuellem Verständnis Bestandteil der Nachhaltigkeit. Sie wird durch die Ressourcenschonung und -effizienz in den Sustainable Development Goals der Agenda 2030 gefordert. Dem steigenden Ressourcenverbrauch und gleichzeitiger Verknappung der Primärrohstoffe soll die Kreislaufwirtschaft durch die Ausschöpfung des anthropogenen Lagers (Urban Mining) sowie die Verlängerung der Nutzungszyklen vorhandener Ressourcen durch Wieder- und Weiterverwendung entgegenwirken. Auch auf EU- sowie auf nationaler Ebene ist der Wandel der jetzigen linearen Wirtschaft zur Kreislaufwirtschaft als Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie rechtlich verankert. Eine klare Definition der Kreislaufwirtschaft sowie technische Bewertungskriterien, die ihre Umsetzung im Bauwesen beschreiben und ermöglichen, sind hingegen (noch) nicht vorhanden. In manchen Bereichen, so in der Wiederverwendung von Holzbauten, stehen ihr sogar rechtliche Grundlagen entgegen, sodass sie eine effiziente Kaskadennutzung verhindert wird.

Anerkannte Nachhaltigkeits-Zertifizierungssysteme betrachten die Kreislauffähigkeit nur unzureichend und reichen für eine vollständige Abbildung in der Planung nicht aus. Das Ziel, die Planung der Kreislauffähigkeit im Building Information Modelling (BIM) umzusetzen, erfordert jedoch eine standardisierte oder zumindest eine kriterienbasierte Bewertungsmethode. Einen Ansatz für die Beschreibung des Kreislaufpotenzials nicht nur auf Produkt-, sondern auf Gebäudeebene, bieten privatwirtschaftliche Unternehmen (wie Concular, Madaster oder EPEA) und öffentliche Forschungsprojekte (z.B. BAMB) in Form von digitalen Bewertungsinstrumenten. Keines der Systeme ist jedoch vollständig oder kann allein als ausreichende Planungsgrundlage dienen. Aus den Bewertungsinstrumenten und der Forschung an der Universität Wuppertal lässt sich allerdings eine Auswahl an Kriterien ableiten, auf deren Grundlage eine ausreichend detaillierte Planung kreislauffähiger Gebäude möglich sein sollte.

Ein wesentlicher Aspekt des Planungsprozesses ist die Verfügbarkeit der Daten während des und nach dem gesamten Lebenszyklus der Bauteile und -stoffe. Obwohl BIM umfassende Möglichkeiten bietet, diese Daten zu speichern und zu verwalten, zeigen die beiden Pilotprojekte SBB Areal Wolf und Kopfbauhalle K.118, dass dieses Potenzial in der Praxis nur zu einem geringen Maße genutzt wird. Das IFC Schema, das den Austausch der meisten openBIM-Software ermöglicht, bietet schon in seiner aktuellen Version Klassen an, mit denen die wesentlichen Kriterien und Informationen der Bauteile in ein BIM-Modell integriert werden können. Die BIM-basierte Planung ermöglicht durch offene Austauschformate zudem die weitere Dokumentation durch Materialpässe.

5.2. ERGEBNISSE DER ARBEIT

Die Betrachtung der Kreislauffähigkeit im Bauwesen hat gezeigt, dass eine allgemein anerkannte Definition sowie Normen und Zielwerte für ihre Umsetzung fehlen. Diese sind jedoch dringend notwendig, um einerseits die Planung zu vereinfachen und andererseits, um die gesamte Baubranche auf die Umstellung hin zu einer Kreislaufwirtschaft vorzubereiten. Die Planung kreislauffähiger Gebäude basiert derzeit auf projekt- oder unternehmensspezifischen Herangehensweisen, die eine Vergleichbarkeit behindern. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die jeweils gewählten Kriterien in der Praxis große Schnittmengen aufweisen. Kreislauffähige Gebäude haben in Deutschland und der Schweiz keine breite Marktpräsenz, es handelt sich um einzelne Pilotprojekte. Das Vorgehen innerhalb der Projekte steht aufgrund fehlender Erfahrung und Standards nicht von Beginn an fest, sondern wird fortlaufend angepasst. Der Einsatz von BIM bietet die Möglichkeit die Problemstellungen, insbesondere des Urban Minings (Schnittstellenmanagement, Datenspeicherung, Massenauswertung), zu umgehen und den gesamten Planungsprozess effizienter zu gestalten. Als Ergebnis dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die meisten (selbstgewählten) Kriterien zur Planung und Bewertung des Kreislaufpotenzials bereits in IFC Klassen abgebildet werden können.

5.3. AUSBLICK

In Zukunft ist davon auszugehen, dass der Anteil des Urban Minings und zirkulärer Gebäude wächst. Dies hängt einerseits mit dem zunehmenden Bewusstsein der Notwendigkeit der Ressourcenschonung und dem zu erwartenden Kostenanstieg bei Primärrohstoffen zusammen. Andererseits wurde durch die Politik in Aussicht gestellt, in den kommenden Jahren technische Bewertungskriterien für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft zu vereinbaren. In diesem Zusammenhang seien die Fortführung des EU-Forschungsprojekts Building As Material Banks und der im Jahr 2022 erwartete Rechtsakt zur „Übergang in eine Kreislaufwirtschaft“ im Rahmen der Taxonomie-Verordnung genannt. Es ist zudem zu erwarten, dass auch die betreffenden Verordnungen (beispielsweise die Altholz-Verordnung) in Zukunft die Weichen für eine effizientere Verwertung stellen.

Im IFC4 Schema wurde bereits die Ökobilanzierung durch Bereitstellung geeigneter Klassen ermöglicht, sodass davon auszugehen ist, dass auch eine Zirkularitätsbewertung vollständig umsetzbar ist, sobald eine gesetzliche Einigung für ihre technische Beschreibung vorhanden ist. Bei dem im Lösungsvorschlag präsentierten Planungsansatz mithilfe von BIM Software ist zwar eine Effizienzsteigerung, nicht aber eine Intelligenz vorhanden: Die Bewertung des Urban Mining Potenzials ist noch immer Expert*innen-abhängig, die/ihre Einschätzungen als Input geben. Ziel sollte die autonome Einschätzung über die Wiederverwendbarkeit durch Bedingungsanweisungen mit Parametern wie Material, Demontierbarkeit und Verbindungsmittel sein.