
10. Fazit und Ausblick auf weitere Forschung

Die zentrale Frage dieser Arbeit lautete, wie das zirkuläre Bauen objektiv messbar gemacht werden kann.

Im Folgenden wird reflektiert, ob der Urban Mining Index Kreislaufpotenziale messen, objektiv bewerten und verständlich darstellen kann und ob die weiteren eingangs formulierten Ziele erreicht werden konnten.

Hierzu werden die Forschungsergebnisse zunächst bewertend zusammengefasst. Aspekte, die derzeit noch unzureichend in der Bewertung berücksichtigt werden können, werden benannt und die Datengrundlage zur Anwendung der Methodik wird noch einmal kritisch beleuchtet.

Anschließend soll die Frage beantwortet werden, welchen Beitrag der Urban Mining Index im Forschungsgebiet des zirkulären Bauens leisten kann. Hierzu werden die Ergebnisse den in Kapitel 4 vorgestellten Arbeiten anderer Wissenschaftler gegenübergestellt.

Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf die Verwendbarkeit der Ergebnisse in verwandten Forschungsfeldern zum Ressourcen- und Umweltschutz. Hier spielt insbesondere das Ineinandergreifen von Ökoeffektivität und Ökoeffizienz eine bedeutende Rolle.

10.1.	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse	292
10.2.	Beitrag des Urban Mining Index im Forschungskontext Zirkuläres Bauen	300
10.3.	Verwendbarkeit der Forschungsergebnisse in verwandten Forschungsfeldern	302
10.4.	Schlusswort	306

10.1. Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

10.1.1. Zusammenfassung

Hauptziel der Arbeit war die Entwicklung einer Methodik für die objektive, quantitative Bewertung der Kreislaufpotenziale von Baukonstruktionen in der Neubauplanung.

Um eine Bewertung überhaupt möglich zu machen, wurden zunächst Qualitäten der Nachnutzung definiert, nach denen die Kreislaufpotenziale abgestuft werden können. Für die quantitative Berechnung der Mengen, die in diese Qualitätsstufen eingehen, wurden messbare Parameter aufgestellt. Durch empirisch-experimentelle Forschung auf Rückbaustellen und in Versuchsständen sowie durch Einbeziehung der Ergebnisse anderer Wissenschaftler wurde eine Datenbasis für die messbaren Parameter erarbeitet. Anhand dieser Datenbasis konnten Bewertungsmaßstäbe (Benchmarks) aufgestellt werden, an denen die Kreislaufpotenziale von Konstruktionen gemessen und eingeordnet werden können. Auf dieser Grundlage wurden die definierten Parameter in einer Formel zur Berechnung der Kreislaufpotenziale zusammengefasst. Entscheidend für die Aufstellung der Formel war die objektive Einordnung der Benchmarks auf Skalen, denn nur durch diese Skalen konnten Faktoren festgelegt werden, mit der die quantitativ messbaren Parameter in der Formel durch Multiplikation in Beziehung gesetzt werden.

Die Vergleichsanalysen in Kapitel 8 und 9 haben gezeigt, dass die Kreislaufpotenziale von Baukonstruktionen mit dem entwickelten Urban Mining Index grundsätzlich analysiert und gemessen werden können. In der Gegenüberstellung von Planungsvarianten konnten deutliche Unterschiede in den Kreislaufpotenzialen gemessen werden, welche die qualitative Bewertung durch den Planer – die im Entwurfsprozess stets vorausgehen muss, um überhaupt sinnvolle Varianten zu messen – bestätigt haben.

Auf Gebäudeebene konnten die Kreislaufpotenziale der Pre- und Post-Use-Phase zusammengeführt und mit einer Gewichtung des Loop- und Closed-Loop-Potenzials in einer einzigen bewertenden Prozentzahl, dem Urban Mining Indicator, abgebildet werden. **Eine eindeutige Messbarkeit und Bewertbarkeit ist damit grundsätzlich gegeben.**

10.1.2. Interpretation der Ergebnisse – Objektivität der Bewertung

Entscheidend ist nun die Objektivität der Bewertung, denn letztlich ist sie es, die eine quantitative Bewertung nach wissenschaftlichen Maßstäben von einer subjektiven Bewertung, die sich auf erworbenes Wissen und Erfahrungen stützt, unterscheidet.

Im Zwischenfazit zu Kapitel 9 wurde bereits für die durchgeführten Vergleichsanalysen ein plausibles Ergebnis festgestellt. Die Methodik scheint also das angestrebte Ziel – die objektive Bewertung der zirkulären Eigenschaften von Baukonstruktionen – zu erreichen.

Da eine Plausibilitätsprüfung jedoch nur für ausgewählte Modellprojekte durchgeführt werden kann und sich außerdem auf die zuvor festgelegten Parameter bezieht, müssen diese Parameter sowie die Ganzheitlichkeit

der Betrachtung noch einmal kritisch hinterfragt werden.

Hierzu werden im Folgenden noch einmal die eingangs formulierten Teilziele (s. Kapitel 1.4) aufgegriffen und reflektiert, inwieweit diese erreicht werden konnten oder noch Aspekte offenblieben.

- **Einbeziehung des gesamten Lebenszyklus**

Der Urban Mining Index berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus. In den Kreislaufpotenzialen werden die Pre-Use- und die Post-Use-Phase grafisch dargestellt. Die Nutzungsdauer der Baustoffe geht in die Bewertung ein, indem die Austauschzyklen bzw. Austauschhäufigkeiten berücksichtigt werden. Muss ein Baustoff z. B. zweimal im Lebenszyklus ausgetauscht werden, fällt sowohl der Materialeinsatz (Pre-Use) als auch der Materialverbleib (Post-Use) insgesamt dreimal an. Die Nutzungsdauerntabelle des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung hat sich bereits für Lebenszyklusanalysen in den deutschen Gebäudezertifizierungssystemen bewährt und wurde in das UMI-Anwendungstool integriert.

Es bleibt jedoch zu berücksichtigen, dass in der BBSR-Tabelle nur durchschnittliche technische Nutzungsdauern abgebildet werden. Die tatsächlichen Nutzungsdauern können davon abweichen. So werden beispielsweise Gipskartonwände mit einer technischen Nutzungsdauer von > 50 Jahren kalkuliert. Der funktionale Aspekt der Umbaubarkeit, der dazu führt, dass Gipskartonwände während des Lebenszyklus des Gebäudes zurückgebaut und neu erstellt werden, bleibt unberücksichtigt.

Weiterhin bleibt eine systembedingte Problematik bestehen: Ein erforderlicher Austausch eines Baustoffs im Lebenszyklus kann sich positiv auswirken, wenn das Kreislaufpotenzial des Baustoffs hoch ist.

Eine geringe Nutzungsdauer fließt also nicht per se negativ in die Bewertung ein. Wie in Kapitel 8 erwähnt, **stößt der Urban Mining Index bei der Berücksichtigung der Nutzungsdauern aufgrund seiner prozentualen Auswertung an Grenzen bzw. grundlegende Strategiekonflikte, die in der Wissenschaft bereits länger diskutiert werden** (s. Kapitel 2.1.4 „Produktivität der Strategien“). Eine möglichst lange Nutzungsdauer sollte auch für Materialien mit hohem Kreislaufpotenzial angestrebt werden. Gerade bei nachwachsenden Rohstoffen kommt es darauf an, dass die Nutzungsdauer mindestens so hoch ist wie die Umtriebszeit. Eine hohe Nutzungsdauer minimiert außerdem Prozessenergien, die per Definition außerhalb der Systemgrenzen liegen. Auf das Thema Nutzungsdauern wird noch einmal in Kapitel 10.2 eingegangen.

- **Qualitätsstufen der Kreislaufpotenziale**

Übergeordnetes Ziel ist es, Materialien in möglichst geschlossenen Kreisläufen zu führen, um einen Qualitätsverlust in der Nachnutzung zu vermeiden.

Hierfür wurden Qualitätsstufen in Anlehnung an die Hierarchie der Abfallrahmenrichtlinie definiert. **Eine Vermeidung, die in der Hierarchie am höchsten steht, kann jedoch mit dem UMI nicht abgebildet werden.** Sie ist nicht quantifizierbar und wirkt sich nur in Systematiken aus, die den Ressourcenverbrauch in absoluten Zahlen darstellen (z. B. Ökobilanz).

Die Hierarchiestufen Wiederverwendung, Wiederverwertung und sonstige Verwertung wurden weiter differenziert: Es wird unterschieden, ob die Materialien durch die Nachnutzung einen Qualitätsverlust erfahren oder nicht. **Durch die Abstufung der Qualitäten war es möglich, zwischen geschlossenen und offenen Kreisläufen zu unterscheiden und diese unterschiedlich zu gewichten.**

In der Post-Use-Phase wird allerdings nicht zwischen Wieder- und Weiterverwendung differenziert, da zum einen nur schwer unterschieden werden kann, ob ein Bauprodukt oder Bauteil noch einmal für denselben oder für einen anderen Zweck einsetzbar ist; zum anderen ist eine Nachnutzbarkeit unter Beibehalt der Produktgestalt ohnehin nur für wenige Baumaterialien und -produkte realistisch (s. Abb. A 5.4 auf Seite 92), da der Markt für gebrauchte Baumaterialien sehr eingeschränkt ist.

Die Unterscheidung zwischen Wieder- und Weiterverwertung (Pre-Use) und Wieder- und Weiterverwertbarkeit (Post-Use) ist dagegen relativ einfach möglich und orientiert sich an der derzeitigen Praxis. **Eine Unsicherheit bleibt allerdings auch hier: Die technologische Entwicklung wird Veränderungen herbeiführen, sodass es sein kann, dass Materialien, die heute noch vorwiegend mit Qualitätsverlust verwertet werden, zukünftig hochwertig wiederverwertet werden können.**

Die Nachnutzung in Form von Energie wird nur in der Post-Use-Phase berücksichtigt, wobei eine Differenzierung nach der Reproduzierbarkeit getroffen werden konnte (zertifiziert nachhaltig nachwachsend/nachwachsend/fossil).

• **Messbarkeit der definierten Parameter**

Als quantifizierbar wurden in Kapitel 5 vier Parameter identifiziert, die im Folgenden hinsichtlich ihrer Messbarkeit noch einmal kritisch beleuchtet werden (vgl. Abb. A 5.11 auf Seite 106).

Die Massenanteile der Qualitätsstufen

Die Massen der Baustoffe sind relativ einfach kalkulierbar und können den Qualitätsstufen Pre-Use auch einfach zugeordnet werden.

Zur Berechnung der resultierenden Wertstoffmassen Post-Use muss der Anwender des UMI Störstoffanteile und Schadstoffe angeben, die eine Verwertung einschränken oder unmöglich machen. **Hier ist noch weitere Forschung erforderlich, da es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war, maximale Störstoffanteile für diverse Sekundärbaustoffe zu ermitteln.**

Zur Berücksichtigung recyclingeinschränkender Schadstoffgehalte konnte eine Aufstellung der DGNB verwendet werden, die in das Anwendungstool integriert wurde. **Der Aufwand für den Ausschluss von Schadstoffen kann trotzdem hoch sein**, da der Anwender für schadstoffrelevante Produkte in Produkt- oder Sicherheitsdatenblättern von Herstellern recherchieren muss, ob Schadstoffe enthalten sind.

Die Zuordnung der Wertstoffe zu den Qualitätsstufen Post-Use ist relativ komplex. Die Komplexität wird aber für den Anwender vereinfacht, indem die Baumaterialien per Dropdownmenü definierten Wertstoffgruppen zugewiesen werden (s. Abb. A 6.4 auf Seite 113). Die Zuweisung der Massen zu den verschiedenen Qualitätsstufen erfolgt dann im

Hintergrund. Die Vereinfachung für den Anwender hat aber den Nachteil, dass die Berechnung nicht leicht nachvollziehbar ist. Hier stand die Anwenderfreundlichkeit im Vordergrund, da sie eine Grundvoraussetzung für die Verbreitung des Urban Mining Index ist (s. Seite 297).

Generell lässt sich diskutieren, ob die Masse die geeignete Basis für die Berechnung und Bewertung der Kreislaufpotenziale ist. Alternativ könnte auch das Volumen¹⁰⁶ von Baustoffen als Basis herangezogen werden – wie im Entsorgungsindikator des IBO (s. Kapitel 4.3.2). Das IBO [232] begründet die Kalkulation nach Volumen damit, dass in vielen Teilbereichen der Entsorgung (Lagerung, Transport, Deponierung) das Volumen maßgeblich ist. **Der UMI ist jedoch auf die zirkuläre Verwendung von Materialien ausgerichtet und dabei ist in erster Linie die Masse maßgeblich.** So beziehen sich z. B. die meisten Rohstoffpreise auf die Masse. Viele leichte Baustoffe enthalten Luft (z. B. Dämmstoffe), die bei einer Bewertung nach Volumen mitgemessen würde, aber bei der Verwertung entweicht. **Aufgrund der Bewertung nach Massenanteilen ist bei der Anwendung des UMI zu berücksichtigen, dass sich schwere Baustoffe stärker im Ergebnis niederschlagen als leichte.**

Das Material-Loop-Potenzial (Koeffizient MLP)

Der maximale Recyclinganteil im Neuprodukt – das MLP – liegt für eine Reihe von Baumaterialien vor, muss aber vom Anwender im Atlas Recycling recherchiert werden. Eine Integration der Daten in eine zukünftige Online-Anwendung in Abstimmung mit Hillebrandt/Seggewies würde die Anwenderfreundlichkeit erhöhen. **Die Datenbasis muss zudem fortlaufend erweitert werden.** Eine Aufnahme des MLP in Umweltproduktdeklarationen (EPDs) wäre sinnvoll und kann z. B. bei der *ECO Platform*¹⁰⁷ angeregt werden.

Der Wert der zurückzugewinnenden Stoffe (Koeffizient Faktor Wert)

Die durchschnittlichen monetären Werte von Abbruchmaterialien an der Schnittstelle Abbruchunternehmen/Entsorger konnten im Rahmen einer deutschlandweiten Umfrage erhoben werden. Mit bis zu 36 teilnehmenden Entsorgern kann die Umfrage als repräsentativ bezeichnet werden. **Sie muss jedoch von Zeit zu Zeit erneuert und erweitert werden,** um Preisänderungen für zukünftige Anwendungen des UMI zu berücksichtigen. Die Werte wurden auf einer Skala eingeordnet, die mit Faktoren hinterlegt ist. In Kombination mit den Faktoren für den Rückbauaufwand spiegeln sie die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus wider. Durch Multiplikation der Masse eines Wertstoffs mit den jeweiligen Faktoren ergibt sich die Zuordnung der Massen zu der materialspezifischen hochwertigsten Qualitätsstufe.

Die Schwierigkeit bei einer Bewertung der Wirtschaftlichkeit besteht in der Prognostizierung über relativ lange Zeiträume: So kann sich der

106 Masse und Volumen sind grundlegende Eigenschaften von Materialien. Der Begriff Material kommt von „Materie“ (lateinisch *materia* = Stoff). In der Physik ist Materie alles, was eine Masse besitzt – im Gegensatz zum Vakuum, einem Raum (Volumen) ohne Materie.

107 Die ECO Platform [233] ist eine vom deutschen Institut Bauen und Umwelt e.V. initiierte Non-Profit-Organisation, die sich als Dachorganisation der nationalen EPD-Programmhälter für die Schaffung eines europäischen Kern-EPD-Systems einsetzt.

Wert von Abbruchmaterialien als Sekundärrohstoff mit zunehmender Rohstoffknappheit, Änderungen rechtlicher Rahmenbedingungen und Weiterentwicklung der Recyclingtechnologien stark ändern. Daneben gibt es weitere Aspekte, die die Wirtschaftlichkeit der Verwertung beeinflussen, allen voran die Transportkosten zum Verwerter.

Letztere können insbesondere bei der Hersteller- oder Verbandsrücknahme eine große Rolle spielen. Bei dieser Wertstoffgruppe könnten durchschnittliche Transport-Mehrkosten anstelle eines Entsorgungspreises angesetzt werden. Solange aber keine Sammelstellen bestehen, sind diese Transport-Mehrkosten kaum zu beziffern.

Trotz dieser Ungewissheiten ist der heutige Preis für Wertstoffe ein Anhaltspunkt, der für eine grobe Prognose der Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus genutzt werden kann. Die Berücksichtigung des Parameters Wert im UMI fördert die Kreislauffähigkeit von Baustoffen, da mit hochwertigen, nachnutzbaren Wertstoffen ein besseres Ergebnis erzielt wird. So regt der hohe Faktor Wert für die Hersteller- oder Verbandsrücknahme (Faktor 1,0) eben diese Kreise dazu an, Post-Consumer-Material zurückzunehmen, um daraus neue Produkte herzustellen.

Der Rückbauaufwand (Koeffizient Faktor Arbeit)

Die Ermittlung des Rückbauaufwands für diverse Baukonstruktionen war ein Kernelement dieser Arbeit. Durch empirisch-experimentelle Forschung und durch Zusammenführung der Ergebnisse mit Daten anderer Wissenschaftler (Schultmann et al., Graubner et al.) konnte eine Datenbasis für einen bewerteten Bauteilkatalog geschaffen werden.

Dieser Bauteilkatalog kann jedoch nur einen Anfang darstellen. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Konstruktionen und ständiger Neuentwicklungen ist es sinnvoll bzw. erforderlich, diesen fortlaufend zu ergänzen.

Die Messbarkeit der physikalischen Größe Arbeit in Form von Energie als Maßeinheit ist grundsätzlich gegeben. Die Maßeinheit setzt an der Basis des Rückbauaufwands an und nicht auf der höheren Ebene der Kosten.

Dies bietet den Vorteil, dass Personen- und Maschinenaufwand nicht in Kosten umgerechnet werden müssen, die regional sehr unterschiedlich sein können und aufwendig zu ermitteln sind.

Das Verfahren birgt jedoch die Gefahr von Ungenauigkeiten: Dem Parameter Arbeit liegt die Bruttoarbeit zugrunde. Die technologische Entwicklung wird zu höherer Effizienz von Abbruchmaschinen führen, was das Verhältnis von Bruttoarbeit zu Nettoarbeit stark verbessern kann, sodass heute gebaute Konstruktionen beim Rückbau einen weit geringeren Arbeitsaufwand (brutto) erfordern könnten. Die Kosten für effiziente Maschinen werden eine zunehmende Rolle spielen.

Die Wirtschaftlichkeit des Rückbauaufwands, gemessen anhand einer monetären Vergleichsgröße könnte mittelfristig in den Urban Mining Index integriert werden. Ein Forschungsvorhaben von Helmus [234] zur Erstellung eines Abbruchkosten-Index wurde 2019 genehmigt und kann eine Datenbasis für die Weiterentwicklung des UMI liefern. Eine Fortschreibung des Abbruchkosten-Index (ähnlich dem Baukosten-Index – BKI) würde gleichzeitig die Datenbasis verbessern.

Trotz etwaiger Ungenauigkeiten fördert die Berücksichtigung des Rück-

bauaufwands in der quantitativen Bewertung die kreislaufgerechte Planung von Baukonstruktionen. Die gesammelten Erfahrungen auf Rückbaustellen (s. Kapitel 6.3 und 9.1.4) haben die eingangs formulierten Thesen (s. Seite 14) bestätigt, wonach ein geringer Aufwand für den Rückbau und die sortenreine Trennung die Wahrscheinlichkeit für eine hochwertige Nachnutzung erhöhen, während ein hoher Aufwand einschränkend wirkt.

Generell führt die Einteilung der Parameter Wert und Arbeit auf einer abgestuften Skala zu groben Faktoren. Eine detailliertere Bewertung wäre möglich durch Interpolation zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Zahlenwert der jeweiligen Skala. Dies würde jedoch eine Genauigkeit suggerieren, die aufgrund der dargelegten Aspekte nicht gegeben ist.

- **Eignung der Bewertungsebenen**

Die Bewertung geht im Urban Mining Index bis auf die Rohstoffebene hinunter. Dies ist auch sinnvoll, da die Kreislauffähigkeit von Materialien auf dieser Ebene entschieden wird, was die Begriffe Primärrohstoff und Sekundärrohstoff verdeutlichen. Die Bewertung zieht sich durch Bauteilschichten über Bauteile bis hin zum ganzen Gebäude. Auf der Ebene von Bauteilschichten wird mit dem entwickelten Exceltool jeweils 1 m² Bauteilfläche bewertet. Dies ist in frühen Planungsphasen, wenn die Leitdetails entwickelt werden, sehr sinnvoll, da in dieser Phase wichtige Entscheidungen zur Auswahl der Materialien und ihrer Fügung getroffen werden.

Die Berechnung für 1 m² Bauteilfläche und Multiplikation der Ergebnisse mit den Flächen hat aber einen Nachteil: Die Ergebnisse auf Gebäudeebene weisen gewisse Ungenauigkeiten auf, da die innere Flächengröße von Bauteilen der Gebäudehülle nicht mit der äußeren Flächengröße übereinstimmt, genauso wie die konstruktive Deckenfläche nicht mit der Fläche von Belägen und Bekleidungen übereinstimmt. Die Ungenauigkeiten sind jedoch aus Sicht der Verfasserin akzeptabel, wenn der UMI zur Optimierung der Planung genutzt wird, da es dann nicht auf eine hundertprozentige Genauigkeit ankommt.

Zur nachträglichen Bewertung eines fertigen Bauwerks, z.B. im Rahmen einer Gebäudezertifizierung (s. Seite 299), können die Tabellenblätter in dem entwickelten Exceltool auch zur Berechnung von jeweils 1 m² Bauelementfläche in der 3. Ebene nach DIN 276 (s. Abb. A 7.2 auf Seite 157) genutzt werden, was ein genaueres Ergebnis für das Gesamtgebäude ermöglicht.

- **Anwendbarkeit und Darstellung**

Ziel war es, mit dem Urban Mining Index ein Werkzeug zu schaffen, das Architekten und Ingenieuren als praktikables Planungsinstrument zur Bewertung der Kreislauffähigkeit konkreter Gebäudeplanungen dienen kann. Auch wenn die in dieser Dissertation beschriebene Systematik recht komplex ist – was der objektiven Bewertung durch Einbeziehung diverser Parameter geschuldet ist –, ist die Anwendung des UMI-Tools relativ einfach und überschaubar, da viele Rechenoperationen und Zuordnungen automatisiert wurden. Die Anwendung durch Studierende der Universität Wuppertal (s. Kapitel 7.4) hat zu Verbesserungen geführt

und insgesamt plausible Ergebnisse geliefert. Schwierigkeiten hatten die Studierenden teilweise mit der Beschaffung benötigter Daten, z. B. dem Material-Recycling-Content oder dem Material-Loop-Potenzial. Sofern diese nicht aus dem Atlas Recycling oder Produktinformationen der Hersteller hervorgehen, müssen sie beim Hersteller angefragt werden. Weiterhin war für die Studierenden die Einschätzung des Rückbauaufwands aufgrund der begrenzten Datenbasis nicht immer einfach. Dies konnte mit der Erweiterung des Bauteilkatalogs von 36 auf 131 Konstruktionen nach Auswertung der Daten anderer Wissenschaftler verbessert werden.

Die Berechnung des CO₂-Footprints der Konstruktion ist mit einem Exceltool gegenüber einer Ökobilanz-Software recht aufwendig, wenn die Datenbasis nicht im Tool hinterlegt ist. Die Daten aus der Ökobaudat wurden nicht in das UMI-Tool integriert, da die Ökobilanzierung zum einen nicht Hauptziel des UMI ist und zum anderen die Implementierung einer Schnittstelle zur Ökobaudat in eine noch zu entwickelnde UMI-Online-Anwendung wesentlich einfacher ist.

Sowohl die Teilergebnisse einzelner Parameter als auch das Gesamtergebnis werden in grafisch visualisierter Form dargestellt.

Das Gesamtergebnis – der Urban Mining Indicator – wird als Prozentwert in einem Kreisdiagramm visualisiert und ist damit eindeutig und leicht ablesbar.

Die grafische Darstellung der Kreislaufpotenziale auf Bauteilebene ist für den Anwender hingegen nicht so einfach nachvollziehbar wie gewünscht.

Dies liegt an der Komplexität der Rechenoperationen, wie z. B. der Aufteilung einzelner Wertstoffe auf verschiedene EoL-Qualitätsstufen, bedingt durch die Berücksichtigung zweier EoL-Szenarien (hochwertige Nachnutzung und übliche Nachnutzung). Die Komplexität ist also der Einbeziehung der Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus geschuldet. Die Abbildung aller Materialien eines Bauteils in den Kreislaufdiagrammen, geordnet nach Qualitätsstufen, wäre zu kleinteilig und kaum noch lesbar, wie das erste Beispiel in Kapitel 8 auf Seite 190 zeigt.

Mit den entwickelten Kreislaufdiagrammen wurde letztlich ein Kompromiss gefunden: In erster Linie sollen die Ergebnisse der Qualitätsstufen ablesbar sein, um nachvollziehen zu können, welche Anteile der Gesamtkonstruktion in geschlossenen oder offenen Kreisläufen geführt werden können. Für den Anwender des Tools sind die Kreislaufpotenziale auf Materialebene dennoch erkennbar, wenn auch nur als ausgewiesene Zahl (s. Kapitel 7, Abb. A 7.11 h auf Seite 181). So können Schwächen oder Stärken einer Planung trotzdem schnell auf die Kreislaufeigenschaften bestimmter Materialien oder deren Fügung zurückgeführt werden.

Bei der grafischen Darstellung der Ergebnisse stößt ein Exceltool für eine solch komplexe Anwendung insgesamt gesehen an Grenzen. Das Hinzufügen oder Löschen von Zeilen in Excel führt leicht zu Fehlerausweisungen in den Diagrammen. Die Anwenderfreundlichkeit des UMI kann durch eine nutzerorientierte Software oder Online-Anwendung (z. B. mit grafisch visualisiertem Bauteilaufbau, ähnlich dem Ubakus von Plag [235] oder der eLCA-Software des BBSR [236]) noch verbessert werden. Dies ist aber nicht Aufgabe der Wissenschaft.

• Eignung für Zertifizierungssysteme

Der UMI kann von Gebäudezertifizierungssystemen (s. Kapitel 4.1) für eine quantitative Bewertung der Rückbau- und Recyclingfähigkeit genutzt werden.

Im BNB-System wird bisher nur die Post-Use-Phase des zirkulären Bauens abgebildet. Insofern bietet die komplette Bewertung mit dem UMI eine gute Möglichkeit, das Kriterium „Rückbau, Trennung und Verwertung“ durch ein Kriterium „Kreislaufpotenziale“ oder „Zirkularität“ zu ersetzen. Die bisherigen inhaltlichen Ziele des Kriteriums werden durch den UMI vollständig abgebildet. Darüber hinaus kann zukünftig die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus in der Bewertung berücksichtigt werden, die, wie in Kapitel 1.4 beschrieben, entscheidenden Einfluss auf das Kreislaufpotenzial eines Bauwerks hat. Der Urban Mining Indicator passt ohne Veränderung in das 100-Punkte-Schema des BNB-Systems.

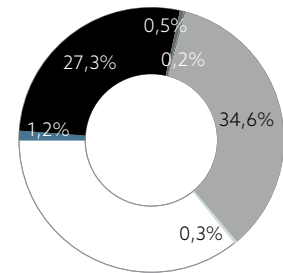
Im DGNB-System wird die Verwendung von Sekundärrohstoffen und zertifiziert nachhaltig nachwachsenden Rohstoffen bereits im Kriterium ENV1.3 „Verantwortungsbewusste Ressourcengewinnung“ berücksichtigt. Um eine Doppelbewertung zu vermeiden, könnte nur die Post-Use-Phase des UMI im Kriterium TEC1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit angewandt werden. Die Abbildung A 10.2 zeigt das Ergebnis der Post-Use-Phase für das Modellprojekt Rathaus Korbach mit der Gewichtung der offenen Kreisläufe von 0,5.

Eine andere Möglichkeit wäre, Teile der Kriterien des ENV1.3 mit dem TEC1.6 zu vereinen und durch ein Kriterium „Circularity“¹⁰⁸ zu ersetzen. Im Kriterium ENV1.3 könnten weitere Aspekte der verantwortungsvollen Beschaffung verbleiben (z.B. verantwortungsbewusste Gewinnung nicht erneuerbarer Primärrohstoffe).

Der Urban Mining Index kann darüber hinaus Grundlagen für die Berechnung der bisher in den Zertifizierungssystemen nicht berücksichtigten EoL-Kosten in der Lebenszykluskostenberechnung liefern. Entweder können die Systeme die erarbeitete Datenbasis zur Ermittlung von Entsorgungskosten und Verwertungserlösen nutzen (s. Kapitel 6, Abb. A 6.4) und in eigene Berechnungstools integrieren, oder mit dem UMI-Tool werden auf Bauteilebene die Kosten und Erlöse unter Berücksichtigung möglicher Verschmutzungen direkt prognostiziert und nur noch in bestehende LCC-Tools der Systeme übertragen. Die Prognose von Rückbaukosten ist dagegen mit dem UMI nicht möglich, solange eine Weiterentwicklung mit dem Abbruchkosten-Index (s. Seite 296) aussteht.

Insgesamt kann der Schluss gezogen werden, dass die Kreislaufpotenziale von Baukonstruktionen mit dem Urban Mining Index objektiv gemessen werden können, auch wenn Unsicherheiten oder Ungenauigkeiten in der Bewertung bleiben.

Der UMI bietet Planern ein leicht handhabbares Instrument zur Bewertung von Planungsalternativen mit einfach ablesbaren Ergebnissen. Auch für Zertifizierer ist der UMI eine gute Möglichkeit zur objektiven Bewertung der Circular-Economy-Aspekte.



Kreislaufpotenzial, Post-Use, gewichtet 64,1%

A 10.2 Bewertung der Kreislaufrfähigkeit Post-Use (gewichtet) für das Modellprojekt Rathaus Korbach

108 In Anlehnung an den Sprachgebrauch der DGNB wird der englische Begriff verwendet.

10.2. Beitrag des Urban Mining Index im Forschungskontext zirkuläres Bauen

Grundsätzlich fördert eine quantitative Bewertung der Kreislaufpotenziale von Bauwerken die Bemühungen der Wirtschaft, kreislauffähige Bauprodukte zu entwickeln, da bei entsprechender Nachfrage eine Wettbewerbssituation entsteht. Die quantitative Bewertung kann also wichtige Impulse für die industrielle Forschung setzen.

Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, haben sich in den letzten Jahren mehrere wissenschaftliche und gemeinnützige Institutionen mit der Bewertung der Rückbau- und Recyclingfähigkeit von Baukonstruktionen auseinandergesetzt. Bisher gab es jedoch keine wissenschaftliche Methode, die die Qualität der Nachnutzung berücksichtigt und die den Rückbauaufwand, basierend auf praxisnahen wissenschaftlichen Erhebungen, in einer quantitativen Bewertung abbildet.

Der Urban Mining Index ist damit die erste Methode zur Messung von Zirkularitätsraten für Gebäude, die die Qualität der Nachnutzung und den Aufwand für den Rückbau und die sortenreine Trennung der Wertstoffe am Ende der Nutzungsdauer angemessen berücksichtigt.

Darüber hinaus ist der UMI die erste Systematik, die die Grenzen der Kreislaufführung von Baustoffen in Form von materialspezifischen Recyclingpotenzialen (Material-Loop-Potenzial – MLP) berücksichtigt. Grundsätzlich kann darüber diskutiert werden, ob der maximale Recyclinganteil im Neuprodukt, in Zeiten, wo dieser Anteil mangels ausreichend verfügbarer Sekundärrohstoffe für die meisten Baumaterialien nicht erreicht wird, überhaupt in die Bewertung einbezogen werden sollte. Auch wird sich mit besseren Recyclingverfahren das MLP von Produkten in Zukunft erhöhen. Nach Ansicht der Verfasserin ist das MLP ein nicht zu vernachlässigender Parameter im zirkulären Bauen, da die heutigen Neubauvorhaben erst in ferner Zukunft zum Rückbau anstehen. Unter Berücksichtigung der zu erwartenden Entwicklung des anthropogenen Rohstofflagers (s. Kapitel 3.5) könnte bereits in rund 30 Jahren der Peak erreicht sein, an dem mehr Wertstoffe aus dem Rückbau anfallen, als für neue Bauprodukte benötigt werden. Die Einbeziehung des MLP im UMI führt somit vor Augen, welcher Anteil voraussichtlich auf Deponien landen oder minderwertig weiterverwertet werden wird. Außerdem treibt die Berücksichtigung des MLPs die Bauindustrie an, Recyclingverfahren weiter zu optimieren.

Eine praxisorientierte Systematik zur Ermittlung von Zirkularitätsraten für Gebäude ist parallel zur Entwicklung des Urban Mining Index entstanden: der Madaster Circularity Indicator (s. Kapitel 4, Seite 87).

Beide Systeme streben ein Ziel an: die zirkulären Eigenschaften von Gebäuden durch Optimierung der Planung zu verbessern.

Im Madaster CI werden die zuvor genannten Aspekte (Qualität der Nachnutzung, Rückbauaufwand, MLP) nicht abgebildet. Die für den UMI erarbeiteten Grundlagen, vor allem die empirischen Untersuchungen zum Rückbauaufwand und die differenzierten Qualitätsstufen, könnten für

eine Weiterentwicklung des Madaster CI genutzt werden.

Außerdem kann die für den UMI durchgeführte (und regelmäßig zu aktualisierende) deutschlandweite Erhebung von Verwertungskosten und -erlösen eine gute Datenbasis für die Madaster Datenbank sein: Für die dort registrierten deutschen Immobilien kann der aktuelle Materialwert anhand der Datenbasis aus dem UMI beziffert werden.

Anders als im Madaster CI wirken sich kurze Nutzungsdauern von Produkten mit hohem Kreislaufpotenzial – entgegen einem anzustrebenden Suffizienzgedanken – positiv im Urban Mining Index aus.

Im Madaster CI liegt die Lösung darin, dass nicht direkt die Zirkularitätsrate berechnet wird, sondern – genau andersherum – der lineare Anteil der Materialflüsse (Linear Flow Index, s. Kapitel 4.3, Seite 81).

Dabei wird dieser lineare Anteil mit einem Faktor multipliziert, der den Einfluss der Nutzungsdauer abbildet. Ist die Nutzungsdauer eines linearen Produkts kürzer als die durchschnittliche Nutzungsdauer eines funktional vergleichbaren Produkts steigt der Anteil linearer Materialflüsse entsprechend. Die Zirkularitätsrate wird berechnet, indem die lineare Rate von 100% abgezogen wird. Auf diese Weise wird durch den Austausch von zirkulären Produkten im Lebenszyklus nicht die Gesamtmasse und der Anteil kreislauffähiger Materialien erhöht.

Das Verfahren ist nicht auf den UMI übertragbar, da im UMI zwischen geschlossenen und offenen Kreisläufen unterschieden wird. Außerdem können lineare Stoffflüsse als Basis der Berechnung weder mit einem Material-Loop-Potenzial noch mit den Wirtschaftlichkeitsfaktoren Arbeit und Wert in Beziehung gesetzt werden.

Sollte der UMI als wissenschaftliche Methode zur Berechnung von Kreislaufpotenzialen angenommen werden, wäre eine Zusammenarbeit in der Forschung zwischen den beteiligten Institutionen der Madaster Foundation und der Universität Wuppertal erstrebenswert. Ziel sollte es sein, eine europaweit einheitliche Methode zur quantitativen Bewertung der zirkulären Eigenschaften von Bauwerken zu entwickeln.

10.3. Verwendbarkeit der Forschungsergebnisse in verwandten Forschungsfeldern

10.3.1. Verwendbarkeit in der Forschung zur Ökobilanzierung

Die durchgeführten Variantenvergleiche haben gezeigt, dass die kreislaufoptimierten Konstruktionen (fast) immer auch diejenigen mit dem geringeren CO₂-Footprint sind. Allerdings wurde das Treibhauspotenzial nach den gültigen Normen, insbesondere DIN 15804 für Bauprodukte und DIN 15978 für Gebäude, mit Daten aus der Ökobaudat oder Umweltproduktdeklarationen berechnet. Die Einbausituation im Gebäude und die sortenreine Trennbarkeit blieben somit bei der Berechnung der Gutschriften und Belastungen für den nächsten Lebenszyklus (Modul D) unberücksichtigt. Weiterhin wurde der heute übliche Entsorgungsweg bilanziert, für Holz z. B. die energetische Verwertung. Die Effekte des kreislaufgerechten Bauens können damit nur unzureichend abgebildet werden. Wenn die sortenreine Trennbarkeit der Materialien berücksichtigt werden könnte, würden sich möglicherweise Änderungen im CO₂-Footprint der Varianten ergeben.

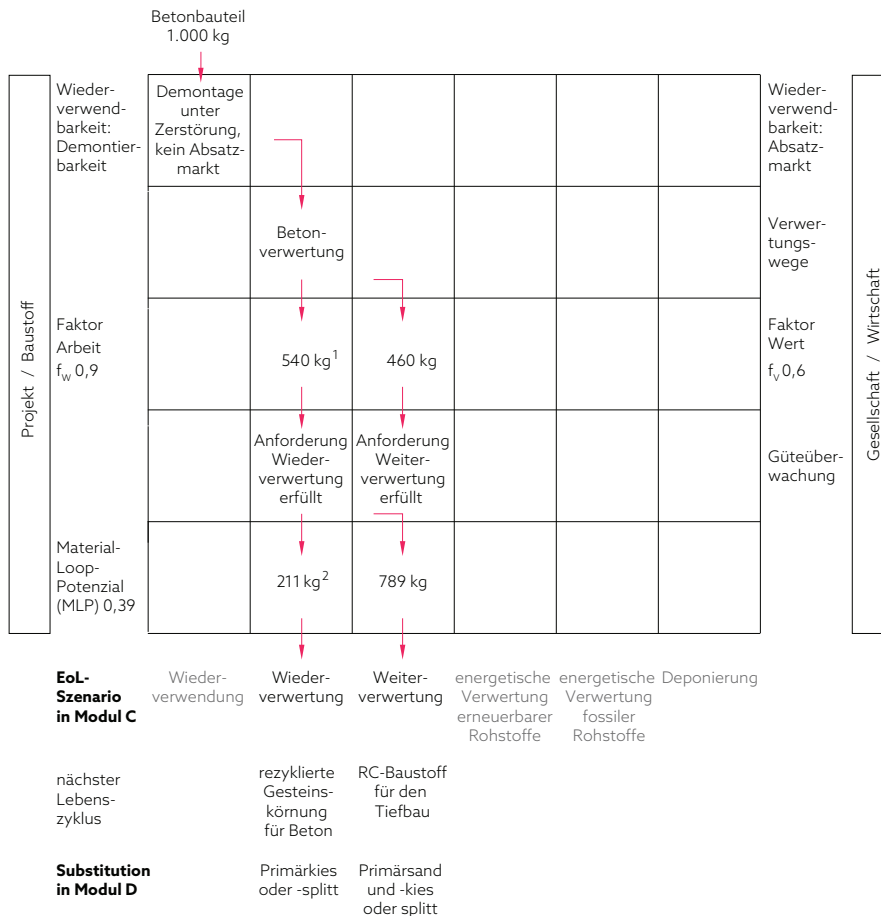
Um die Einbausituation und die Wirtschaftlichkeit des Rückbaus zu berücksichtigen, bedarf es unterschiedlicher Szenarien für das Ende der Nutzungsdauer. Genauso wie bei der Berechnung der Kreislaufpotenziale den Materialien verschiedene Verwertungswege zugewiesen werden, können auch im Modul D für die Umweltwirkungen verschiedene Verwertungswege abgebildet werden. Vereinzelt existieren bereits Ökobilanzdaten für unterschiedliche End-of-Life-Szenarien auf Bauproduktebene. Allerdings kann der Ökobilanzierer nicht ohne Weiteres abschätzen, welches EoL-Szenario eintreten wird.

Mit Förderung des Umweltbundesamtes arbeitet zurzeit ein Forscherteam unter der Leitung von Trinius [237] an der Weiterentwicklung methodischer Grundlagen und Szenarien für die Bereitstellung produktbezogener Informationen in Modul C und D einer Umweltproduktdeklaration (EPD). Die Verfasserin hat im November 2017 an einem von drei für das Forschungsprojekt durchgeführten Workshops in Brüssel teilgenommen. Ziel war unter anderem die Erarbeitung von Parametern zur Bestimmung materialspezifischer 100%-EoL-Szenarien.¹⁰⁹ Die Teilnehmer waren sich weitgehend einig, dass anteilige EoL-Szenarien nur auf Gebäudeebene entschieden werden können und dass hierfür die notwendigen Grundlagen fehlen.

Der Urban Mining Index liefert nun die Grundlagen für die anteilige Berücksichtigung von EoL-Szenarien in der Ökobilanzierung.

Abbildung 10.2 zeigt die Systematik des Urban Mining Index (Post-Use-Phase) am Beispiel eines Betonbauteils und weist auf die Überführung der Ergebnisse in die Ökobilanz hin. In der Grafik werden die Bewertungsparameter nach projektspezifischen und gesellschaftlich/wirtschaftlich bedingten Einflussgrößen geordnet dargestellt, wie von Trinius et al. im

¹⁰⁹ Für die drei beispielhaften Materialien Beton, Dämmstoffe und Fenster sollten Parameter entwickelt werden, die bestimmen, unter welchen Voraussetzungen (z. B. Schadstoffgehalte, Verunreinigungen) ein EoL-Szenario (Recycling, energetische Verwertung, Deponierung) entweder relevant oder eben nicht relevant ist (100% oder 0%).



A 10.3 Systematik des UMI am Beispiel eines Betonbauteils (Post-Use-Phase) mit Überführung der Ergebnisse in die Ökobilanz [239]

$$^1 1.000 \text{ kg} \times f_w 0,9 \times f_v 0,6 = 540 \text{ kg}$$

$$^2 540 \text{ kg} \times \text{MLP } 0,39 = 211 \text{ kg}$$

Die Grafik wurde vorveröffentlicht in Hillebrandt/Riegler-Floors/Rosen/Seggewies, Atlas Recycling, Edition Detail, München 2018, und seitdem überarbeitet

zuvor genannten Forschungsprojekt vorgeschlagen wurde.

Anwender von Umweltproduktdeklarationen könnten so zukünftig Daten für unterschiedliche EoL-Szenarien mit dem Urban Mining Index quantifizieren. Im Beispiel des Betonbauteils würden unter Berücksichtigung der Faktoren Arbeit und Wert sowie des Material-Loop-Potenzials im Modul C 21,1% mit dem Datensatz für die Wiederverwertung und 78,9% mit dem Datensatz für die Weiterverwertung bilanziert. Somit könnten Umweltwirkungen unterschiedlicher Verwertungsprozesse (z.B. zusätzliche Siebung für die Aufbereitung zur Wiederverwertung oder eine Nassaufbereitung) abgebildet werden.

Im Modul D können die Gutschriften für die unterschiedlichen Szenarien abgebildet werden: Der Anteil hochwertig aufzubereitender RC-Gesteinskörnung für Beton (21,1%) kann im nächsten Lebenszyklus Primärkies oder -splitt ersetzen. Der für den Tiefbau aufzubereitende Betonbruch (78,9%) ersetzt dort Primärsand und -kies oder -splitt.

Leider liegen noch keine Ökobilanzdaten für die beschriebenen Szenarien vor, sodass die Ergebnisse hier nicht dargestellt werden können.¹¹⁰

Im Beispiel des Betons werden die Unterschiede in der Umweltwirkung nicht allzu groß sein, da sich die Aufbereitungsprozesse und die substituierten Primärmaterialien nicht sehr unterscheiden. Allerdings bezieht sich die Prognose auf den heutigen Stand der Technik. Wenn es der Forschung

¹¹⁰ Im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts von Trinius et al. [238] wurde die Idee einer End-of-Life-Deklaration entwickelt. Damit soll die Recycling- und Entsorgungsbranche aufgefordert werden, die Bedingungen für spezifische EoL-Szenarien zu definieren und spezifische Umweltdaten bereitzustellen, die in eine EPD für Bauprodukte integriert werden können. Ein Endbericht ist bisher nicht veröffentlicht.

gelänge, Verfahren für die Rückgewinnung von Zement aus Zementstein zu entwickeln, wären die Unterschiede in der Umweltwirkung für die Substitution erheblich größer. Es bleibt also eine nicht zu vernachlässigende Unsicherheit in der Prognose.

Dennoch schließt die Berechnung der Kreislaufpotenziale Post-Use eine Lücke bei der Anwendung produktbezogener Ökobilanzdaten und Szenarien auf Gebäudeebene. Der Urban Mining Index kann damit nicht nur die Ökoeffektivität abbilden, sondern leistet auch einen Beitrag zur Berechnung der Ökoeffizienz.

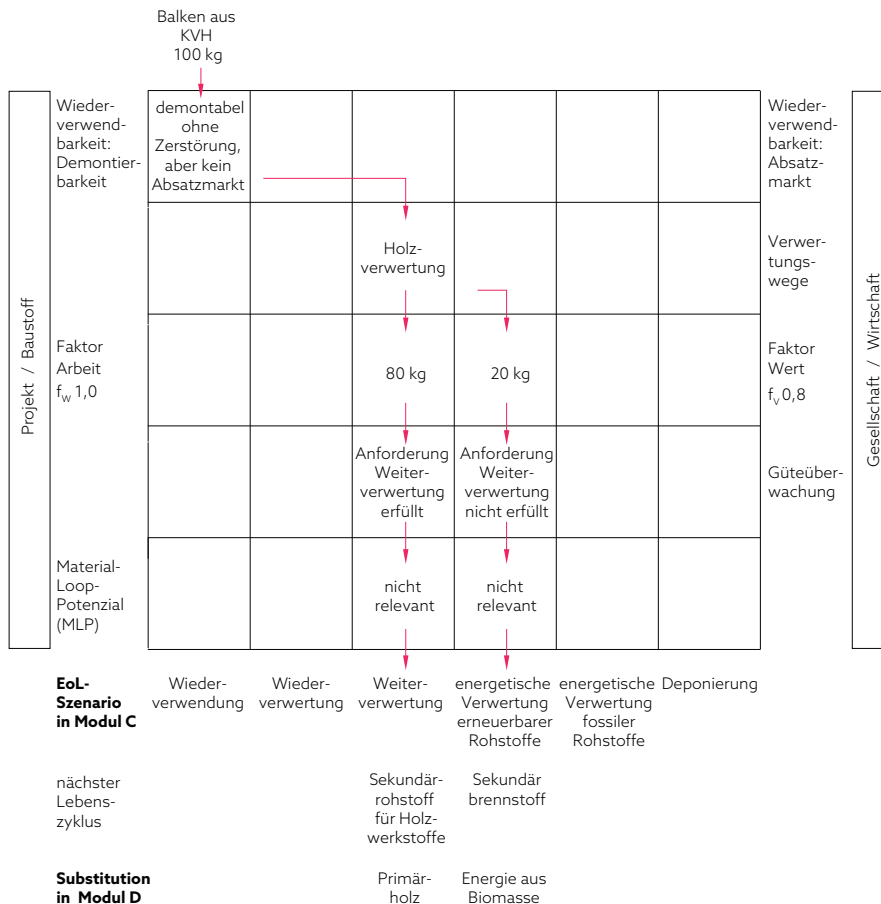
Es gibt aber noch einen Aspekt, der in der Ökobilanzierung bisher nicht gelöst ist und weiterer Forschung bedarf: Die Vorteile der Kaskadennutzung sind nach den derzeit gültigen Normen nicht abbildbar.

Eine Ökobilanz, in der für Holz das EoL-Szenario stoffliche Verwertung gewählt wird, schneidet in der Bewertung nach DGNB (in der das Modul D mitbewertet wird) schlechter ab als eine Bilanz, in der das EoL-Szenario energetische Verwertung gewählt wird. Für das stoffliche Recycling erfolgt eine wesentlich geringere Gutschrift als für die energetische Verwertung (s. Kapitel 2, Abb. A 2.11, Seite 31).

Dies liegt zum einen daran, dass die Kohlenstoffbilanz nach den Produktkategorieregeln für Holz und Holzwerkstoffe gemäß DIN EN 16485 immer ausgeglichen sein muss und der Kohlenstoff deshalb in Modul C das Produktsystem verlässt, auch wenn das Holz nicht am Ende des Lebenszyklus, sondern erst im nächsten oder übernächsten verbrannt wird. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass die Verbrennung von Altholz die Verbrennung fossiler Energieträger substituiert, während bei der stofflichen Verwertung ‚nur‘ Primärholz substituiert wird, das einen kleineren ökologischen Rucksack hat, also in der Herstellung geringere negative Umweltwirkungen verursacht.

Durch den klimapolitisch geplanten Ausstieg aus der Verbrennung fossiler Energien ist dieser Ansatz aus Sicht der Verfasserin nicht mehr gerechtfertigt, da das beim Rückbau heutiger Neubauvorhaben anfallende Altholz keine fossilen Energieträger mehr substituieren wird, wenn die politischen Ziele mit der notwendigen Ernsthaftigkeit verfolgt werden. Altholz wird dann (zumindest in Deutschland) nur noch erneuerbare Energien substituieren, also Windkraft, Wasserkraft, Solarenergie und Biomasse. In Abbildung A 10.4 sind deshalb noch einmal die Systematik des UMI (Post-Use) und die Überführung der Ergebnisse in die Ökobilanz am Beispiel eines Holzbauteils dargestellt.

Da die energetische Nutzung von Biomasse durch Verbrennung unzweifelhaft höhere Treibhausgasemissionen verursacht als die Nutzung der übrigen erneuerbaren Energieträger, bzw. sich der Energieeinsatz für deren Herstellung schneller amortisiert, sollte Biomasse nachrangig energetisch genutzt werden. Die längere Speicherung des biogenen Kohlenstoffs durch stoffliche Verwertung sollte dagegen Vorrang haben. **Die stoffliche Verwertbarkeit muss bereits heute gelenkt und geplant werden.** Die Normenreihe zum Nachhaltigen Bauen kann ihre Lenkungswirkung nur entfalten, wenn die Substitutionsmöglichkeiten an die klimapolitisch bedingte Entwicklung angepasst werden.



A 10.4 Systematik des UMI am Beispiel eines Holzbauteils (Post-Use-Phase) mit Überführung der Ergebnisse in die Ökobilanz

Mit den berechneten Kreislaufpotenzialen Post-Use (80% Weiterverwertung und 20% energetische Verwertung) können zukünftig die Umweltwirkungen der EoL-Szenarien in der Ökobilanzierung anteilig berechnet werden.

Ideal wäre es, wenn die zeitliche Dimension, die bei der Kaskadennutzung eine wesentliche Rolle spielt, in der Normung abgebildet werden könnte. Wie dies geschehen kann, ist Aufgabe weiterer Forschung.

10.3.2. Verwendbarkeit in der Forschung zu Lebenszykluskosten

Die Forschungsergebnisse können weiterhin auf dem Gebiet der Ökonomie des Planens und Bauens genutzt werden.

Mit dem UMI können auf Materialebene die Nachnutzungsmöglichkeiten bzw. die voraussichtlichen Verwertungswege und deren Anteile nach Masse prognostiziert werden. Damit können die Entsorgungskosten und Verwertungserlöse für die jeweiligen Anteile aus heutiger Sicht geschätzt werden.

Gegebenenfalls können die erhobenen und recherchierten Daten zum Rückbauaufwand ebenfalls in der Forschung weiter verwendet werden, indem diese mit Kosten hinterlegt werden. Hierfür müssen z. B. Nutzungskosten für Maschinen ermittelt werden, die mit den Rückbaudauern bzw. der Einsatzzeit der Maschinen zusammengeführt werden.

Diese Daten können aber nur einen Teil der Rückbaukosten abbilden. Weitere Kosten für Logistik, Sicherheit etc. sind stark projektabhängig, wie die Recherchen auf Rückbaustellen (s. Kapitel 6.3) gezeigt haben.

Der von Helmus et al. zu entwickelnde Abbruchkostenindex könnte anhand von Vergleichsprojekten solche spezifischen Rückbaukosten abbilden.

Das zirkuläre Bauen bleibt somit ein weites Feld für weitere Forschung.

10.4. Schlusswort

Auch wenn viele Aspekte des zirkulären Bauens aufgrund der langen Zeiträume von der Planung bis zum Rückbau nicht vorhersehbar sind, muss die Forschung eine Annäherung an die Quantifizierung und die Qualität der zurückzugewinnenden Ressourcen wagen. Auch andere Instrumente im Bauwesen, wie die Energieeinsparverordnung und die Werkzeuge zur Berechnung des Energiebedarfs, liefern keine genauen Daten zum tatsächlichen Verbrauch. Noch weniger kann die Ökobilanz verlässliche Zahlen über tatsächliche Emissionen über 50 Jahre liefern, da sich wahrscheinlich alleine schon die Quellen des deutschen Stroms in diesem Zeitraum stark ändern werden.

Die quantitativen Instrumente haben aber eines geschafft: Sie machen die Themen fassbar und können das Optimierungspotenzial aufzeigen. Sie bewirken vor allem eine Veränderung in den Köpfen der Planer.

Das energieeffiziente Bauen hat sich so zur Selbstverständlichkeit entwickelt. Nun muss die Baubranche den Blick auf die Ressourcen erweitern und neben den energetischen auch die stofflichen Ressourcen betrachten.

Klimawandel und Ressourcenverbrauch hängen eng zusammen. Klimaschutz und Ressourcenschonung sind Grundvoraussetzungen zum Erreichen der eingangs erwähnten globalen Ziele, wie Bekämpfung von Armut und Ungleichheit sowie Schaffung und Erhaltung von Frieden. Alles hängt miteinander zusammen und funktioniert nur in konsistenten Kreisläufen. Darum müssen Ziele zu konsistenten Kreisläufen konsequent verfolgt und gemessen werden.

Der Urban Mining Index kann einen kleinen Beitrag zur Transformation der linearen Bauwirtschaft hin zu einer zirkulären Bauwirtschaft leisten. Er liefert keine fertigen Lösungen, aber seine Anwendung schafft Anreize für Planer und Bauindustrie, Lösungen zu entwickeln.

Die quantitative Bewertung ermöglicht außerdem, politische Anreiz- oder Sanktionsmodelle zu etablieren, die vor Baubeginn wirken. So könnte z. B. der Energieausweis zu einem Ressourcenpass erweitert werden.

Der Urban Mining Index ist *ein* Ansatz, die Kreislaufpotenziale von Bauwerken und Baukonstruktionen *objektiv* zu messen. Andere Instrumente wie der Madaster Circularity Indicator liefern weitere Ansätze.

Für eine breite Anwendung sollte eine einheitliche Systematik gefunden werden. Hierfür ist im Prinzip die Entwicklung einer Norm zur Messung der Zirkularität von Bauwerken notwendig. In solch einer Norm können Ziele, Methodik und Parameter zur Quantifizierung einheitlich unter Mitwirkung der interessierten Kreise aus der Wissenschaft, der Politik und der Bauwirtschaft festgelegt werden.