5. Parameter zur quantitaven Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen

Welche Parameter bestimmen nun die zirkulären Eigenschaften von Baukonstruktionen?
Aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Kapitel lässt sich ableiten: Die Parameter müssen sich am Lebenszyklusansatz orientieren, sowohl die materielle als auch die konstruktive Ebene berücksichtigen sowie die wirtschaftlichen Aspekte einbeziehen.
Dabei werden sowohl qualitative als auch quantitative Parameter benötigt: Messbare Kennzahlen ermöglichen eine Quantifizierung, qualitative Parameter hingegen erst eine differenzierte Bewertung.
Im folgenden Kapitel werden deshalb qualitative und quantitative Parameter auf materieller und konstruktiver Ebene definiert, mit der sich das Kreislaufpotenzial über den Lebenszyklus berechnen und die Kreislaufkonsistenz bewerten lässt.

5.1. Materielle Ebene 90
5.2. Konstruktive Ebene 96
5.3. Wirtschaftliche Ebene 98

A 5.1 Reitermann und Sassenroth mit Martin Rauch: Kapelle der Versöhnung, Berlin

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

5.1. Materielle Ebene

5.1.1. Umfang der materiellen Ebene

Abbildung A 5.2 zeigt die Bewertungsparameter im Lebenszyklus, gegliedert nach materieller, konstruktiver und wirtschaftlicher Ebene.
Auf materieller Ebene sind sowohl der Materialeinsatz in der Herstellung als auch der mögliche Materialverbleib nach der Nutzung zu betrachten. Unter Berücksichtigung der Nutzungsphase sind der Materialeinsatz und der Materialverbleib ggf. mehrfach zu berücksichtigen, wenn aufgrund der technischen Nutzungsdauer von Materialien im Lebenszyklus ein Austausch erforderlich ist:

Lebensphase	Materialeinsatz	Materialverbleib
Herstellung (Pre-Use)	x	
Nutzung/Austausch (Use)	x	x
Nachnutzung (Post-Use)		x

5.1.2. Parameter zur Qualifizierung

Für die qualitative Bewertung der Kreislaufkonsistenz auf materieller Ebene sind zwei Kriterien entscheidend: die Schadstofffreiheit und die Qualitätsstufen der End-of-Life-Szenarien.

Schadstofffreiheit

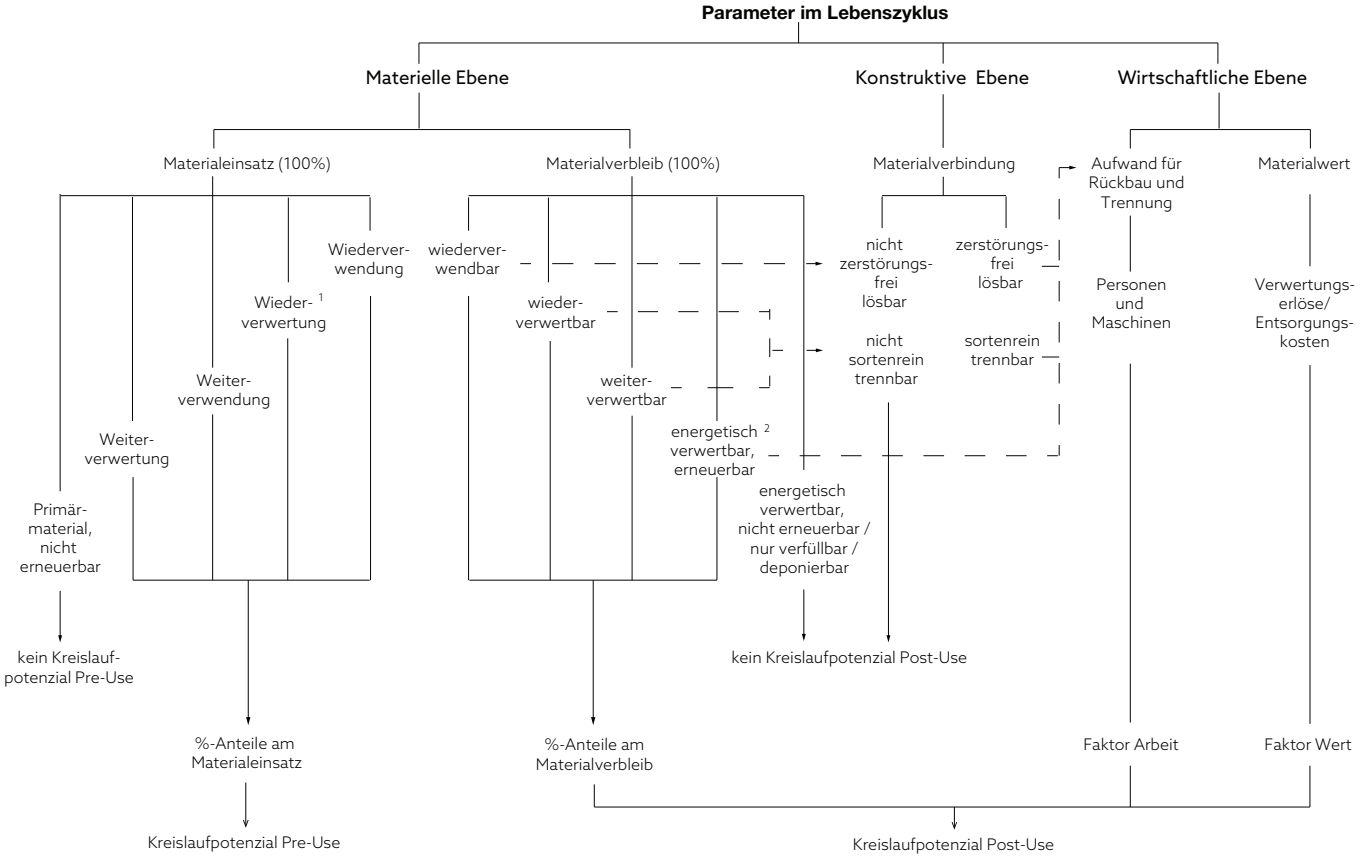
Schadstoffe, die gefährlich für Menschen und Umwelt sind, dürfen sich weder im Naturkreislauf noch im technischen Kreislauf anreichern. Bereits geringfügige Zusätze an Gefahrstoffen können die Recyclingfähigkeit einschränken. Deshalb sind schadstofffreie Baumaterialien eine Grundvoraussetzung für konsistente Kreisläufe. Braungart und McDonough haben sich ausführlich mit der Thematik befasst und eine „Banned List of Chemicals" (Liste verbotener Chemikalien) für das Cradle-to-Cradle-System (s. Kapitel 4.2.2) erstellt. Bei C2C-zertifizierten Produkten kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Schadstofffreiheit gegeben ist. Eine Prüfung nicht zertifizierter Produkte anhand der „Banned List" ist jedoch nicht möglich, da die Hersteller ihre genauen Rezepturen in der Regel nicht offenlegen.
Die deutschen Gebäudezertifizierungssysteme enthalten nach Bauteilen gegliederte Tabellen mit baustoffrelevanten Schadstoffen. Die DGNB gibt in ihrer Kriterienmatrix auch Hinweise zur Vermeidung von Risiko- und Störstoffen für den Recyclingprozess. Diese sind in Abb. A 5.3 zusammengefasst und können über Produktinformationen oder Sicherheitsdatenblätter der Hersteller geprüft werden.
Die Schadstofffreiheit ist im Urban Mining Index ein Ausschlusskriterium, d. h., enthält ein Bauprodukt einen Stoff, der die Grenzwerte nach Abb. A 5.3 nicht einhält, besitzt das Material kein Kreislaufpotenzial.

Qualitätsstufen

Eine differenzierte Bewertung des Materialeinsatzes und des möglichen Materialverbleibs erfolgt anhand der bereits in Kapitel 2.2.3 erwähnten und in Abb. A 5.2 benannten Nachnutzungsmöglichkeiten in Qualitätsstufen. Diese unterscheiden sich von der Hierarchie der Abfallrahmen-

A 5.2 Parameter zur Bewertung der Kreislaufpotenziale im Lebenszyklus
A 5.3 Schad- und Risikostoffe, die aus dem Kreislauf auszuschließen sind

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb



1 inklusive im Naturkreislauf wiederverwertete Materialien (nachgewachsene Rohstoffe)
2 die Weiterverwertbarkeit und energetische Verwertbarkeit erneuerbarer Materialien wird im Closed-Loop- und Loop-Potenzial weiter differenziert (s. Kapitel 7)

A 5.2

relevante Bauteile/Baumaterialien	**betrachteter Stoff**	**Anforderung**
Bodenbeläge, textil	besonders Besorgnis erregende Stoffe (substances of very high concern – SVHC*)	GUT-Gütesiegel o. Umweltzeichen DE UZ 128 (Blauer Engel für textile Bodenbeläge)
Bodenbeläge, elastisch	SVHC	Gehalt an Chlorparaffinen und reproduktionstoxischen Phthalaten < 0,1%
Holzbauteile	Holzschutzmittel und Biozide	keine chemischen Holzschutzmittel (Produktart 8 nach 528/2012/EG) keine Biozide (Produktart 7 nach 528/2012/EG: Schutzmittel für Baumaterialien)
Beschichtungsstoffe für Metallbauteile	Schwermetalle Halogene	keine Blei-, Cadmium- und Chrom-VI-Verbindungen keine haloginierten Brandschutzbeschichtungen
Aluminium- und Edelstahlbauteile der Gebäudehülle	Passivierungsmittel	Chrom-VI-freie Passivierungsmittel
Erzeugnisse aus Kunststoffen	SVHC	SVHC < 0,1%
Kunststoffe zur Belegung von Oberflächen und an der Gebäudehülle	Blei- und zinnorganische Verbindungen	Gehalt an Blei < 0,1% und Zinn < 0,1%
Flammhemmend ausgerüstete Bauprodukte	Chlorparaffine (CP), Polybromierte Biphenyle (PBB), Diphenylether (PBDE) und SVHC	Gehalt an CPs <0,1 %, PBB < 0,1 %, PBDE< 0,1 % und SVHC ≤ 0,1 %
Biozid- und flammhemmend ausgerüstete Bauprodukte	Borverbindungen	Gehalt an Borverbindungen < 0,1%

* gemäß REACH (= Europäische Chemikalienverordnung 1907/2006/EG)

A 5.3

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

■ hochwertigstes End-of-Life-Szenario: nur Baustoffe, für die ein etablierter Gebrauchtmarkt existiert oder absehbar ist (z.B. hochwertige Klinker, großformatige Natursteine, wertvolle Hölzer wie Eichenbalken), Demontage erforderlich

■ hochwertiges End-of-Life-Szenario, selektiver Rückbau erforderlich

□ übliches End-of-Life-Szenario, selektiver Abbruch

Reuse: Wiederverwendung
Recycling: stoffliche Wiederverwertung
Downcycling: stoffliche Weiterverwertung oder Weiterverwendung
Energy Recovery: energetische Verwertung
* renewable: aus nachwachsenden Rohstoffen
† fossil: aus fossilen Rohstoffen
= außerhalb der Kreislaufkonsistenz

Wertstoff	**End-of-Life-Szenarien**				
	Reuse	Recycling	Downcycling	Energy Recovery renewable *	fossil †
Beton		■	□		
Ziegel/Mauersteine	■	■	□		
Fliesen und Keramik			■ □		
Naturstein	■		■ □		
Boden/Lehmbaustoffe		■	□		
Holz A1 und A2 nach AltholzV	■		■	□	
biologische Faserstoffe (Kompost)		■		□	
Glas		■	□		
Kunststoff, nach Kunststoffart			■	□	□
Bitumengemische		■			□
Schrott, nach Metallart	■	■ □			
Hersteller-/Verbandsrücknahme (z. B. Mineralwolle, Gipsbaustoffe)		■			

A 5.4

richtlinie (s. Kapitel 3, Abb. A 3.3) wie folgt:

- Eine Vermeidung wird nicht abgebildet. Die Vermeidung ist Teil der Strategie der Suffizienz. Sie kann zur Ressourcenschonung beitragen, aber zum einen sind die Möglichkeiten der Suffizienz begrenzt (s. Kapitel 2.1.1), zum anderen ist eine Vermeidung nicht quantifizierbar.
- Bei der Verwertung wird im Gegensatz zur Abfallrahmenrichtlinie zwischen Wiederverwertung (Recycling) und Weiterverwertung (Downcycling) unterschieden.
- Die sonstige Verwertung fließt nur in die Berechnung der Kreislaufpotenziale ein, wenn damit Kreisläufe geschlossen werden können. Die Verfüllung ist insofern ausgeschlossen. Eine energetische Verwertung ist nur eine Option für nachwachsende Rohstoffe.

Die Baumaterialien müssen also zunächst hinsichtlich ihrer Kreislaufkonsistenz qualifiziert werden. Abb. A 5.4 zeigt eine Übersicht von Baustoffen, gegliedert nach Wertstoffen in Anlehnung an die Gewerbeabfallverordnung (s. Kapitel 3.1.2 Seite 44). Die Wertstofffraktionen, die in die Zukunft gerichtet über den aktuellen Stand nach GewAbfV hinausgehen und keine Abfälle zur Deponierung enthalten, lassen sich nach Art des Rückbaus und der dadurch erzielten Sortenreinheit den dargestellten End-of-Life-Szenarien zuordnen.

Die Qualifizierung entscheidet darüber, ob ein Material in geschlossenen oder offenen Kreisläufen geführt werden kann, also zum Closed-Loop-Potenzial oder nur zum Loop-Potenzial einer Konstruktion gezählt wird. Verbundwerkstoffe, für die keine Rücknahmeerklärung des Herstellers oder eines Verbands mit entsprechender Logistik existiert und die keinem der genannten End-of-Life-Szenarien zugeordnet werden können, sind disqualifiziert, d. h., sie fließen weder in das Closed-Loop- noch in das Loop-Potenzial ein.

Abbildung der Qualitätsstufen im Lebenszyklus

In der Pre-Use-Phase werden die Wieder- und Weiterverwendung von Bauprodukten sowie die Wieder- und Weiterverwertung technischer und natürlicher Rohstoffe zum Kreislaufpotenzial gezählt. Die energetische Verwertung spielt in der Pre-Use-Phase keine Rolle, da sie nicht stofflich in ein Bauwerk eingehen kann und die Prozessenergie nach Kapitel 2.4 außerhalb der festgelegten Systemgrenzen liegt.

Nach der Nutzung wiederverwendbare sowie wieder- und weiterver-

A 5.4 Wertstoffe und ihre End-of-Life Szenarien [140]

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

wertbare Materialien fließen in das Kreislaufpotenzial Post-Use ein. Die energetische Verwertbarkeit von Baustoffen wird in der Post-Use-Phase materialabhängig berücksichtigt: Sind Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen zwar nicht stofflich, aber energetisch verwertbar, gehen sie in das Kreislaufpotenzial ein, da sie sich in Zeiträumen, die dem Lebenszyklus von Gebäuden entsprechen, im Naturkreislauf erneuern können. Für Materialien aus fossilen Rohstoffen, die nur energetisch verwertbar sind, wird dagegen kein Kreislaufpotenzial ausgewiesen, da die Rohstoffe durch die Verbrennung unwiederbringlich verloren gehen.
Die weitere Differenzierung der Qualitätsstufen erfolgt in Kapitel 7.

5.1.3. Parameter zur Quantifizierung

In Anlehnung an den Indikator „Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe" der europäischen Nachhaltigkeitsstrategie (s. Kapitel 1, Seite 8) werden die Kreislaufpotenziale im Urban Mining Index als prozentuale Zirkularitätsraten quantifiziert. Im Gegensatz zum Indikator der EU[34] wird allerdings nicht nur der Materialeinsatz (Pre-Use) betrachtet, sondern auch der Materialverbleib (Post-Use).

- Zur Quantifizierung des Kreislaufpotenzials Pre-Use wird der Massenanteil zirkulär geführter Materialien ins Verhältnis zum Gesamtmaterialeinsatz gesetzt (Angabe in %).
- Zur Quantifizierung des Kreislaufpotenzials Post-Use wird der Massenanteil der am Ende der Nutzungsdauer zirkulär führbaren Materialien ins Verhältnis zum Gesamtmaterialverbleib (Abfall- bzw. Wertstoffaufkommen) gesetzt.

Für die Quantifizierung des Materialeinsatzes und des Materialverbleibs spielen zwei Kennwerte eine entscheidende Rolle, die von Hillebrandt und Seggewies im Atlas Recycling definiert wurden und **die in dieser Arbeit Verwendung finden: der Material Recycling Content und das Material-Loop-Potenzial.**

Material Recycling Content (MRC) – Pre-Use
Der Material Recycling Content (dt.: Anteil) beziffert den aktuellen Anteil an Recyclingmaterialien und/oder Neumaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe in einem Produkt oder Baustoff.
Kreislaufkonsistente Konstruktionen sollen ein Maximum an sekundären oder erneuerbaren (nachwachsenden) Rohstoffen enthalten, während nicht erneuerbare Primärrohstoffe möglichst zu minimieren sind. Zum Kreislaufpotenzial Pre-Use zählen deshalb der Anteil rezyklierter Materialien und der Anteil nachwachsender Rohstoffe, die zusammen als Material Recycling Content (MRC) bezeichnet werden. Als Datenquelle dienen die im Atlas Recycling veröffentlichten und nach Anwendung und Materialart gegliederten Daten zahlreicher Baustoffe. Zusätzlich können weitere geprüfte Herstellerdaten (z.B. Umweltdeklarationen Typ I und III, s. Kapitel 4.2.1) genutzt werden.

34 Der EU-Indikator ist etwas missverständlich formuliert, denn er drückt nicht die (am Ende der Nutzungsdauer) wiederverwendbaren Stoffe aus, sondern meint die wieder (und weiter) verwendeten bzw. verwerteten Stoffe.

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

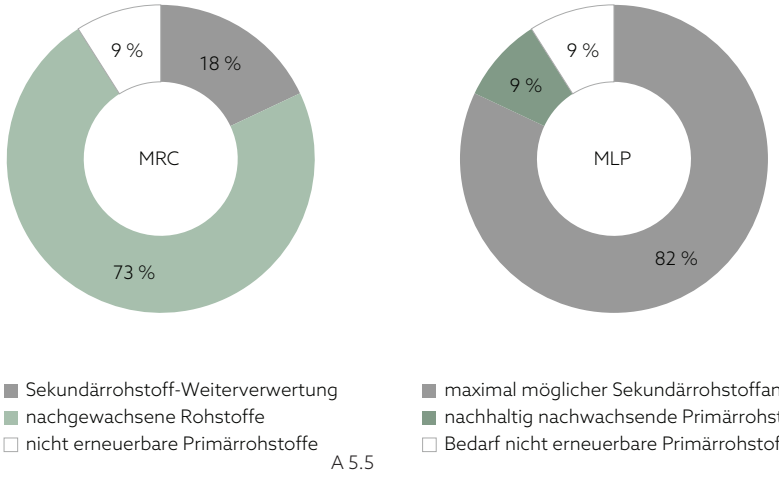


Abb. A 5.5 zeigt beispielhaft die Materialzusammensetzung einer Spanplatte: Die Platte enthält 18% Altholz, 73% Holz aus primären Quellen und 9% nicht erneuerbare Rohstoffe aus primären Quellen (z.B. erdölbasierter Leim). Im Gegensatz zum Atlas Recycling wird in dieser Arbeit nach einer Verifizierung der Methodik (siehe Kapitel 7.4) auch beim Materialeinsatz zwischen Wieder- und Weiterverwertung der Sekundärrohstoffe unterschieden. So wird im Beispiel der Spanplatte die Verwertung von 18% Altholz als praktizierte Weiterverwertung dargestellt, da die Holzfasern bei jedem Recyclingprozess eine Qualitätsminderung erfahren.

Material-Loop-Potenzial (MLP) – Post-Use
Das Material-Loop-Potenzial beziffert den nach heutigem Stand der Forschung „möglichen zukünftigen Anteil von Recyclingmaterialien in einem Produkt bei einer maximalen Optimierung der Produktion hinsichtlich ihres Sekundärrohstoffanteils." [141]
Es gibt einerseits an, wie hoch der Anteil an Recyclingmaterialien – abgesehen vom derzeitigen Material Recycling Content (MRC) – idealerweise sein könnte und zeigt andererseits die nach heutigem Stand der Forschung bestehenden Grenzen des Einsatzes von Sekundärrohstoffen in einem Produkt. Für die Schaffung geschlossener Kreisläufe ist der Faktor deshalb entscheidend.
Die Differenz zwischen Gesamtmaterial (100%) und dem maximal möglichen Sekundärrohstoffanteil (MLP) in einem Produkt kann prinzipiell nur durch Primärmaterial gedeckt werden. So können aktuell im Beispiel der Spanplatte maximal 82% des Rohstoffbedarfs durch Altholz gedeckt werden, während (für die äußeren Lagen) noch 9% Holz aus erneuerbaren primären Quellen – im Idealfall aus zertifiziert nachhaltiger Forstwirtschaft – sowie weitere 9% Bindemittel aus nicht erneuerbaren primären Quellen benötigt werden (s. Abb. A 5.6).

Das MLP ist für die Post-Use-Phase bedeutend, da bei zunehmender Abbruchtätigkeit (s. Kapitel 3.1) vermehrt Sekundärrohstoffe anfallen werden. Übersteigt das Aufkommen eines Sekundärrohstoffs den durch das MLP begrenzten Bedarf, fallen die Überschüsse als Abfall zur nachrangigen Verwertung oder Deponierung an, und für den nicht durch Sekundärrohstoffe deckbaren Anteil werden weiterhin Primärrohstoffe abgebaut. So können z. B. in Porenbeton-Mauersteinen nach den

A 5.5 Material Recycling Content (MRC) am Beispiel einer Spanplatte [142]
A 5.6 Material-Loop-Potenzial (MLP) der gleichen Spanplatte [142]

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

Recherchen von Hillebrandt und Seggewies nur maximal 15% der Rohstoffe durch gemahlenen Alt-Porenbeton ersetzt werden. Fällt mehr Alt-Porenbeton an, wäre bestenfalls eine Weiterverwertung (z. B. als Pflanzsubstrat oder Katzenstreu) möglich.

Das MLP ist damit ein wichtiger Koeffizient[35] zur Berechnung des Closed-Loop-Potenzials (CLP). Für das Loop-Potenzial (inkl. Weiterverwertung) spielt das MLP jedoch keine Rolle, da die Möglichkeiten der Weiterverwertung vielfältig und schwer absehbar sind.

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.
Die Besonderheiten von zertifiziert nachhaltig nachwachsenden Rohstoffen und nicht zertifiziert/nicht nachhaltig nachwachsenden Rohstoffen spiegeln sich in den Qualitätsstufen und damit im Closed-Loop-Potenzial und im Loop-Potenzial wider (s. Kapitel 7).

35 Ein Koeffizient (von lat. coefficere ‚mitwirken'), „auch Beizahl oder Vorzahl genannt, ist eine zu einem anderen rechnerischen Ausdruck als Faktor hinzugefügte Zahl oder Variable. Der Koeffizient kann ein Parameter oder eine Kennzahl (Physik, Ökonomie) sein." Quelle: Wikipedia

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

5.2. Konstruktive Ebene

Die konstruktive Ebene bestimmt entscheidend die Nachnutzung von Baumaterialien mit. Lösbare Verbindungstechniken und sortenreine Trennbarkeit sind Voraussetzungen für die hochwertige Rückgewinnung von Materialien.
In der Kabinettsvorlage zur novellierten GewAbfV heißt es hierzu: „Die Praxis zeigt, dass es aufwendig und kostenintensiv ist, möglichst sortenreine wertstoffhaltige Abfälle für einen Recyclingprozess zu generieren, wenn diese in Gemischen anfallen. Die getrennte Erfassung von Abfällen dagegen führt genau zu solchen weitgehend sortenreinen Abfallfraktionen und ist daher gegenüber der Erfassung von Abfallgemischen mit nachträglicher Sortierung die bevorzugte Handlungsoption." [143]

Um die getrennte Erfassung von Wertstoffen im Um- oder Rückbaufall zu ermöglichen, müssen „sowohl die Bauteile als auch die einzelnen Materialien lösbar gefügt sein", wie Riegler-Floors und Hillebrandt [144] im Atlas Recycling erläutern. Lösbare Verbindungstechniken müssen bereits in der Planung berücksichtigt werden.
Wodurch zeichnen sich nun lösbare Verbindungstechniken aus?

5.2.1. Zerstörungsfreie Lösbarkeit

Für die Wiederverwendbarkeit von Bauteilen oder -produkten ist eine zerstörungsfreie Demontage das entscheidende Kriterium.
Die Norm aus der Fertigungstechnik DIN 8593 „Fertigungsverfahren Fügen" definiert eine lösbare Verbindung als „eine durch Fügen hergestellte Verbindung, die ohne Beschädigung der gefügten Teile wieder gelöst werden kann." [122] In Tabelle 2 der Norm sind verschiedene Fügetechniken hinsichtlich ihrer Lösbarkeit nach Schädigung oder Zerstörung der Fügeteile charakterisiert (s. Abb. A 5.7).
Die Norm kann als Orientierung für die Beurteilung der zerstörungsfreien Lösbarkeit dienen. Da die Charakterisierungen jedoch für das Bauwesen nicht immer zutreffen (z. B. ist das Gießen von Beton als Technik des Urformens nicht ohne Zerstörung lösbar) und die Definitionen nicht eindeutig sind und von äußeren Faktoren wie Witterungseinflüssen abhängen können, muss die zerstörungsfreie Lösbarkeit im Einzelfall beurteilt werden.
Die zerstörungsfreie Lösbarkeit ist kein quantifizierbarer Parameter, sondern ein qualifizierendes Kriterium für wiederverwendbare Baumaterialien und -produkte (re-usables).
Für wieder- und weiterverwertbare Materialien ist die Lösbarkeit ohne Zerstörung nicht relevant, da die Produktgestalt im Verwertungsprozess per Definition (s. Kapitel 2.2.3) sowieso aufgelöst wird. Ebenso spielt die Lösbarkeit ohne Zerstörung für energetisch verwertbare Materialien keine Rolle.

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

Fügetechnik	Art des Zusammenhaltens	Lösbarkeit
Zusammensetzen	Schwerkraft (Reiben), Formschluss oder Federkraft	ohne Schädigung der Fügeteile lösbar
Füllen	Einschluss	ohne Schädigung der Fügeteile lösbar
Anpressen, Einpressen	Kraftschluss	im Allgemeinen ohne Schädigung der Fügeteile lösbar
Fügen durch Urformen (z.B. Gießen)	Formschluss, hervorgerufen durch Urformen	im Allgemeinen ohne Schädigung der Fügeteile lösbar
Fügen durch Umformen	Formschluss, hervorgerufen durch Umformen	im Allgemeinen nur mit Schädigung oder Zerstörung lösbar
Fügen durch Schweißen	Stoffverbindung	nur durch Schädigung der Fügeteile lösbar
Fügen durch Löten	Stoffverbindung	im Allgemeinen nur mit, teils jedoch auch ohne Schädigung lösbar
Kleben	Adhäsion	im Allgemeinen nur mit Schädigung oder Zerstörung der Fügeteile lösbar, in Sonderfällen ohne Schädigung lösbar
Textiles Fügen	Formschluss und/oder Kraftschluss bei textilen Faserstoffen	ohne Schädigung der Fügeteile lösbar, sofern keine Fasern miteinander verklebt sind

A 5.7

5.2.2. Sortenreinheit

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. So sind z. B. in rezyklierter Gesteinskörnung für Beton nach DIN 1045-2 gemäß DIN 4226-101 max. 1% bitumenhaltige Materialien wie Asphalt zugelassen.

Der Grad der Sortenreinheit ist kein Koeffizient, sondern ein Ausschlusskriterium. Ist der erforderliche Reinheitsgrad für den Recyclingprozess nicht erfüllbar, weil keine Mechanismen zur Trennung bestehen, kann das Material nach der Nutzung nicht reycelt werden, sondern wird je nach Möglichkeit anderweitig verwertet oder beseitigt.

A 5.7 Charakterisierung der Gruppen von Fügetechniken in Anlehnung an DIN 8593-0 [145]

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

5.3. Wirtschaftliche Ebene

Die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus ist, wie in Kapitel 1.4.4 bereits erwähnt, mitentscheidend für die Rückgewinnung von Baustoffen auf hohem Qualitätsniveau. Wie kann die Wirtschaftlichkeit nun gemessen werden?
Grundsätzlich wird die Wirtschaftlichkeit einer Handlung bestimmt, indem der Ertrag ins Verhältnis zum Aufwand gesetzt wird. Absolut gesehen ist eine Handlung wirtschaftlich, wenn der Ertrag größer ist als der Aufwand. Relativ gesehen, kann eine Handlung auch in Beziehung zu einer alternativen Handlung wirtschaftlich sein, unabhängig davon, ob ein Ertrag erzielt wird (wenn z.B. ein Verlust minimiert werden soll).[36]
Der Aufwand kann prinzipiell in Geldeinheiten, in Arbeitsstunden, Materialeinsatz etc. gemessen werden, während der Ertrag in der Regel in Geldeinheiten gemessen wird.
In Kapitel 3.4 wurde bereits erläutert, dass die Wirtschaftlichkeit des Rückbaus in erster Linie vom Rückbau-/Demontageaufwand und den Entsorgungskosten bzw. Verwertungserlösen[37] abhängt. Letztere können in Geldeinheiten gemessen und bewertet werden. Um den Rückbauaufwand in Geldeinheiten zu quantifizieren, müssten jedoch nicht nur durchschnittliche Lohnkosten für Rückbaupersonal, sondern auch Nutzungskosten für diverse Arten von Maschinen vorliegen. Im Grunde braucht es hierfür einen „Abbruchkosten-Index", ähnlich dem BKI Baukostenindex[38], der sowohl für konventionelle als auch für kreislaufgerechte Konstruktionen Abbruchkosten bereitstellt. Derlei Inhalte gehen jedoch über den Umfang dieser Forschungsarbeit hinaus. **Der Urban Mining Index setzt deshalb an der Basis an: Der Rückbauaufwand wird nicht in Geld umgerechnet, sondern der reine Arbeitsaufwand für Personen und Maschinen wird ermittelt und als Faktor Arbeit bewertet.**

5.3.1. Rückbauaufwand – Faktor Arbeit

Der Duden beschreibt den Begriff „Arbeit" als „eine Tätigkeit mit einzelnen Verrichtungen" [147]. Menschliche Arbeit kann in geistige und körperliche Arbeit unterschieden werden. Eine Bau- oder Rückbautätigkeit auf der Baustelle ist in erster Linie eine körperliche Arbeit. Dabei wirken Kräfte auf einen Körper (Bauteil oder Material) und setzen diesen in Bewegung, um eine konstruktive oder stoffliche Verbindung zu lösen.

Die physikalische Größe Arbeit
In der Physik ist Arbeit die Energie, die durch Kräfte auf einen Körper übertragen wird. Das Formelzeichen für Arbeit ist *W* (von engl. Work). Die internationale Standardeinheit (SI-Einheit) für Arbeit ist identisch mit der für Energie: das Joule mit dem Einheitszeichen J [148].

36 Für ein Rückbauunternehmen ist die absolute Wirtschaftlichkeit entscheidend, da es Gewinne erzielen muss. Für einen Bauherrn/Investor oder Grundstückseigentümer steht die relative Wirtschaftlichkeit im Vordergrund, da der Rückbau aktuell (auch monetär) mit Verlust verbunden ist, den es zu minimieren gilt.
37 Wären die Verwertungserlöse höher als Entsorgungskosten und Rückbauaufwand zusammen, wäre der Rückbau absolut wirtschaftlich. Aktuell ist der Rückbau nur wirtschaftlich, wenn mit einer anderweitigen Nutzung der Fläche Erlöse erzielt werden.
38 Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, diverse Bände zur Neubaukostenplanung.

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

Die Einheit leitet sich aus folgender Formel ab:

$$W\,[\mathrm{J}] = F\,[\mathrm{N}] \times s\,[\mathrm{m}]$$

$$1\,\mathrm{J} = 1\,\mathrm{N} \times \mathrm{m}$$

W	*Arbeit*
F	Kraft
s	Weg (Strecke)
[J]	Joule
[N]	Newton
[m]	Meter

Die zeitbezogene Verrichtung einer Arbeit wird als Leistung bezeichnet. Das Formelzeichen für Leistung ist P (von engl. Power). Die SI-Einheit für Leistung ist das Watt mit dem Einheitszeichen W (nicht zu verwechseln mit dem Formelzeichen *W* für Arbeit).
Die Leistung (*P*) ist der Quotient aus verrichteter Arbeit (*W*) und der dazu benötigten Zeit (*t*). Die Formel lautet:

$$P\,[\mathrm{W}] = \frac{W\,[\mathrm{J}]}{t\,[\mathrm{s}]}$$

$$1\,\mathrm{W} = \frac{1\,\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$$

P	Leistung
t	Zeit
[s]	Sekunde
[W]	Watt

Physikalisch betrachtet ist es dabei unerheblich, ob die Arbeit von Maschinen oder Personen durchgeführt wird.
Die Energie, die ein Mensch für das Verrichten von Arbeit in einer bestimmten Zeit benötigt, wird als „Leistungsumsatz" bezeichnet – im Gegensatz zu der Energie, die ihn am Leben erhält, die „Grundumsatz" oder auch „Ruheumsatz" genannt wird.

Damit kann das Joule als Maßeinheit für menschliche und maschinelle Arbeit verwendet werden.

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Leistungsfähigkeit oder Kraft brauchen Personen und Maschinen für dieselbe Arbeit eine unterschiedliche Zeit. Die an einem Körper oder Bauteil verrichtete Arbeit, in der Einheit Joule gemessen, ist jedoch dieselbe.
Selbstverständlich lässt sich der Mensch nicht auf eine Maschine reduzieren und natürlich hat Arbeit auch einen sozialen Aspekt, aber für die Berechnung des Faktors Arbeit ist die physikalische Größe Arbeit mit der Einheit Joule eine neutrale Größe zur Ermittlung des Rückbauaufwands. Gegenüber einem Kostenansatz (Lohn- und Maschinenkosten) hat sie den Vorteil, dass sie relativ konstant und unabhängig von regionalen Faktoren ist. Außerdem ist die Größe Arbeit unabhängig von fehlender Forschung zu Rückbaukosten.

A 5.8

A 5.8 schwere körperliche Tätigkeit bei der Entkernung eines Mehrfamilienwohnhauses in Handarbeit

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

Die Leistung für den Rückbau setzt sich somit aus der Leistung der Personen und der Leistung der Maschinen zusammen und wird anhand folgender Formel ermittelt:

$$P_R\ [W] = P_P\ [W] + P_M\ [W]$$

P_R Leistung Rückbau
P_P Leistung Personen
P_M Leistung Maschinen

mit den Unterformeln:

$$P_P\ [W] = \frac{W_P\ [J]}{t\ [s]}$$

$$P_M\ [W] = \frac{W_M\ [J]}{t\ [s]}$$

W_P Leistungsumsatz Personen
W_M Energieumsatz Maschinen

Wirkungsgrad
Grundsätzlich muss bei der Betrachtung der physikalischen Größe Arbeit zwischen aufgenommener Arbeit (Energie) und verrichteter Arbeit (Energie) unterschieden werden. Das Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Energie wird als Wirkungsgrad (η) bezeichnet. Wird chemisch gebundene Energie, z. B. in Form von Kraftstoff oder Nahrung, verbrannt, kann nur ein Teil in mechanische Energie umgewandelt werden, ein weiterer Teil wird in Abwärme umgewandelt. Für den Rückbau von Gebäuden ist die abgegebene Wärmeenergie nicht nutzbar, d. h., sie geht verloren.
Deshalb stellt sich die Frage, ob die von Mensch oder Maschine aufgenommene oder aber die verrichtete Arbeit/Energie für die Ermittlung des Rückbauaufwands zugrunde gelegt werden soll.
Für die verrichtete Arbeit (Nettoarbeit) spricht, dass diese Größe einen fixen Wert darstellt, der auf eine Materialverbindung einwirken muss, um sie zu lösen. Die real aufzuwendende Energie (Bruttoarbeit) ist dagegen veränderlich und abhängig von der Effizienz des angewendeten Verfahrens sowie der technischen Entwicklung. Für die Bruttoarbeit spricht, dass die unvermeidbaren Verluste ebenfalls einen Aufwand darstellen, der einen erheblichen Anteil am Gesamtaufwand ausmachen kann.
Im Folgenden muss der Wirkungsgrad weiter untersucht werden, bevor eine Festlegung getroffen werden kann.

Arbeit von Personen
Der durchschnittliche Grundumsatz eines Menschen wird vom Institut für Ernährungsinformation [149] mit 1 kcal pro Kilogramm Körpergewicht pro Stunde angegeben. 1 kcal entspricht 4.187 Joule.
Der Gesamtumsatz ist abhängig von der körperlichen Aktivität und kann anhand des PAL (physical acitivity level) annähernd ermittelt werden (Abb. A 5.9).
Bei körperlich anstrengender Arbeit benötigt ein Mensch demnach gut das Doppelte seines Grundumsatzes an Energie.

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

A 5.9 Physikal Activity Level (PAL) zur Bestimmung des Leistungsumsatzes [149]

Arbeitsschwere und Freizeitverhalten	**PAL**	**Beispiele**
ausschließlich sitzende oder liegende Lebensweise	1,2 - 1,3	immobile, bettlägerige, gebrechliche Menschen
ausschließlich sitzende Tätigkeit mit wenig oder keiner anstrengenden Freizeitaktivität	1,4 - 1,5	Büroangestellte, Feinmechaniker
sitzende Tätigkeit, zeitweilig auch gehend oder stehend, wenig oder keine Freizeitaktivität	1,6 - 1,7	Laboranten, Studierende, Fließbandarbeiter
überwiegend gehende und stehende Arbeit, aktive Freizeitaktivität	1,8 - 1,9	Verkäufer, Kellner, Mechaniker, Handwerker
körperlich anstrengende berufliche Arbeit oder sehr aktive Freizeitaktivität	2,0 - 2,4	Bauarbeiter, Landwirte, Waldarbeiter, Bergarbeiter, Leistungssportler

Der Energiebedarf eines 80 kg schweren Bauarbeiters – angenommen als Referenzgröße – beträgt demnach:

Grundumsatz:	4.187 J/h x 80	= 334.960 J/h
Leistungsumsatz:		= 334.960 J/h
Gesamtumsatz:		= 669.920 J/h

Da der Mensch auch unabhängig von seiner Tätigkeit Energie benötigt, fließt in den Faktor Arbeit nur der Leistungsumsatz ein.
Nimmt man das Gewicht von 80 kg als Durchschnittsgewicht für einen Bauarbeiter an, beträgt die durchschnittliche Leistung nach der Formel von Seite 99:

$$P_P\,[W] = \frac{334.960\ J}{h} = \frac{334.960\ J}{3.600\ s} = 93\ W$$

Hierbei handelt es sich um eine Bruttoleistung. Der Mensch kommt bei Bewegung ins Schwitzen. Das heißt, ein Teil der Energie wird in Abwärme umgewandelt (die nicht nutzbar ist) und ein weiterer Teil in mechanische Arbeit. In der Sportphysiologie wird das Verhältnis von Muskelarbeit (Leistung) zu Leistungsumsatz (Gesamtumsatz – Ruheumsatz) als Nettowirkungsgrad bezeichnet. Nach Böning, Maassen und Steinach [150] beträgt der intramuskuläre Nettowirkungsgrad (also der Nettowirkungsgrad des isolierten Muskels) ca. 30%. „Bei Ganzkörperbetrachtung ist er für einfache Drehbewegungen frequenzabhängig und erreicht maximal etwa 26%". Kurzfristige „Speicherung potenzieller, kinetischer und elastischer Energie" (z. B. in Sehnen oder Bändern) erhöht jedoch den Wirkungsgrad. Das bedeutet: Der Nettowirkungsgrad ist abhängig von der Art der Tätigkeit bzw. Bewegung.

Böning, Maassen und Steinach haben in ihrem Aufsatz die Nettowirkungsgrade verschiedener Sportarten, die mittels Ergometrie[39] und indirekter Kalorimetrie[40] (Messung von Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidabgabe) ermittelt wurden, wie folgt zusammengestellt:

39 Ergometrie kommt vom griechischen **ἔργον** (érgon, deutsch: Arbeit) und **μέτρον** (métron, deutsch: Maß, Maßstab) und bedeutet Arbeitsmessung. Quelle: Wikipedia

40 Die Kalorimetrie bezeichnet die Messung von Wärmemengen, die an biologische, chemische oder physikalische Vorgänge gekoppelt sind. Quelle: Wikipedia.

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

- Fahrrad (Ausdauer-)fahren 26%
- Treppensteigen 25%
- Gehen 40%
- Laufen 50%
- Rudern 19%

Für körperliche Arbeit am Bau liegen keine Nettowirkungsgrade vor und können mit standardisierten Methoden auch nicht ermittelt werden. Orientiert man sich an den genannten Werten aus dem Sport, kann der Nettowirkungsgrad für die Arbeit von Personen mit rund 30% angenommen werden. Die Nutzleistung von Personen wird wie folgt berechnet:

$$P_{NP}\ [W] = P_p \times \eta$$

P_{NP} Nutzleistung Personen
η Wirkungsgrad

Für körperliche Arbeit von als Bauarbeiter referenzierten Personen kann somit folgende Nutzleistung angenommen werden:

P_{NP} = 93 W x 30%
= 27,9 W
≙ 27,9 J/s

Arbeit von Maschinen
Die Leistung von Maschinen ist in technischen Datenblättern der Hersteller angegeben. Während bei elektrischen Handgeräten wie Bohrmaschinen und Hand-Elektrohämmern davon ausgegangen werden kann, dass sie in der Regel unter Volllast betrieben werden, verrichtet ein Abbruchbagger unterschiedliche Arbeiten wie z. B. Pulverisieren, Stemmen, Abgreifen oder Schneiden, die jeweils unterschiedliche Auslastungen bewirken.
Für Maschinen kann die Arbeit durch Multiplikation der Leistung mit der benötigten Zeit berechnet werden, wobei die Arbeit für Maschinen üblicherweise in Wattstunden oder Kilowattstunden (statt in Joule) angegeben wird.[41] Die Formel lautet:

$$W_{brutto}\ [Wh] = P_M\ [W] \times t\ [h]$$

W Arbeit
P_M Leistung Maschine (brutto = Leistungsaufnahme)
t Zeit
[Wh] Wattstunde
[h] Stunden

Bei elektrischen Handgeräten gibt der Hersteller in der Regel die Leistungsaufnahme in Watt an. Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades η ergibt sich die abgegebene Arbeit (netto) wie folgt:

$$W_{netto}\ [Wh] = P_{NM}\ [W] \times \eta \times t\ [h]$$

41 Nach dem internationalen Einheitensystem (SI) ist die offizielle Maßeinheit für Arbeit oder Energie das Joule. In der Praxis, vor allem im Stromsektor, wird aber immer noch die aus der Leistung abgeleitete Einheit Wattstunde oder Kilowattstunde verwendet.

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

Arbeitsgerät	Abbruchverfahren	Beispielbauteile	Verbrauch [l Diesel]
Meißel	Stemmen	Fundamente, Bodenplatten aus Stahlbeton	28-30
Abbruchschere	Pressschneiden/ Scherschneiden	Wände, Decken und Stützen aus Stahlbeton Wände und Decken aus Massivholz	25-27
Sortiergreifer oder Tieflöffel	Abgreifen, Einreißen/Eindrücken	Holzrahmenbau, Holzfachwerk Mauerwerk aus Ziegel, Kalksandstein, etc.	21-22
Schrottschere	Scherschneiden	Stahlbauteile > 20cm Durchmesser	30-32

A 5.10 Kraftstoffbedarf für verschiedene Abbruchverfahren mit entsprechenden Anbaugeräten für einen 40-65 t. Abbruchbagger [152]

Für Maschinen, die nicht ständig in Volllast betrieben werden, z. B. Abbruchbagger, kann ein Durchschnittswert für die Größe Arbeit (brutto) über den durchschnittlichen Kraftstoffbedarf mit folgender Formel annähernd berechnet werden:

$$W_{brutto}\ [J]^{42} = E_M\ [l/h] \times H_i\ [J/l] \times t\ [h]$$

E_M Kraftstoffbedarf Maschine (chemisch gebundene Energie)
H_i Heizwert
[l/h] Liter pro Stunde
[J/l] Joule pro Liter

Der Kraftstoffbedarf von Abbruchbaggern (Diesel) ist abhängig von der zu verrichtenden Arbeit. Die Fa. Liebherr [151] führt eine kontinuierliche Datenerhebung in Kooperation mit mehreren Abbruchunternehmern durch. Von sechs angefragten Unternehmen war nur ein Unternehmen bereit, der Verfasserin genauere Auskünfte zu erteilen. Die Fa. Reithelshöfer bildet jedoch mit einer Betriebsleistung von insgesamt 3.465 Stunden zumindest einen längerfristig ermittelten Durchschnittsverbrauch gut ab. Der Kraftstoffverbrauch wird digital gemessen und an die Fa. Liebherr übertragen. Zugleich kann über eine Anzeige im Cockpit der aktuelle Kraftstoffverbrauch abgelesen werden. So konnte durch Befragung der Kraftstoffbedarf für verschiedene Abbruchverfahren ermittelt werden (Abb. A 5.10).

Der Gesamtwirkungsgrad von heutigen Abbruchbaggern liegt nach Leifeld [153] in Abhängigkeit vom Lastzyklus ungefähr zwischen 5 und maximal 12%; somit wird nur ein Bruchteil der im Brennstoff enthaltenen Energie tatsächlich in mechanische Leistung umgewandelt. Der niedrige Wirkungsgrad wird hauptsächlich durch den ineffizienten Betrieb des Verbrennungsmotors und die Drosselverluste im Hydrauliksystem verursacht.
Je höher die Maschinenauslastung, desto höher ist der Wirkungsgrad. Beim Stemmen von Stahlbeton beispielsweise erbringt ein Abbruchbagger durch den enormen Krafteinsatz der Hydraulik Höchstleistungen. Der Wirkungsgrad ist hier relativ hoch, da der Dieselmotor unter Volllast noch

42 Die Arbeit (*W*) wird hier in der Einheit Joule (nicht Wattstunden) berechnet, da der Heizwert für Kraftstoff in Joule angegeben wird.

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

vergleichsweise effektiv arbeiten kann. Bei Arbeit mit relativ geringem Kraftaufwand, z.B. Abgreifen von Bauteilen aus Holz, arbeitet das Gesamtsystem in Teillast. Wegen des ineffizienten Betriebs des Dieselmotors ist der Wirkungsgrad hier entsprechend geringer.
Da die Leistung von Abbruchmaschinen während der Arbeitsprozesse stark schwankt, können durchschnittliche Wirkungsgrade nur mithilfe von Lastzyklen ermittelt werden. Solche Lastzyklen liegen nicht vor und können im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht erstellt werden. Daher wird Folgendes festgelegt:

Für die Ermittlung von Benchmarks für den Parameter Arbeit wird die Brutto-Arbeit zugrunde gelegt, da sie den effektiven verfahrensspezifischen Aufwand und damit die für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung interessantere Zielgröße darstellt und die Netto-Arbeit für verschiedenste Abbruchmaschinen (oder manuelle Tätigkeiten) nur mithilfe des Wirkungsgrades bestimmt werden könnte, der aber über den Arbeitsprozess stark schwankt.
Dies hat zur Konsequenz, dass die Benchmarks im Laufe der Zeit verifiziert werden müssen, da sich die Effizienz von Maschinen in Zukunft voraussichtlich verbessern wird.

Um den Faktor Arbeit bewerten zu können, muss der Zeitaufwand für Personen und Maschinen für diverse Rückbautätigkeiten zusammengestellt werden. Hierfür müssen die bisherigen Recherchen (Forschungsergebnisse von Schultmann und Graubner) ausgewertet und weitere Zeitaufwände empirisch ermittelt werden. Dabei muss die Bruttoleistung der jeweils eingesetzten Maschinen dokumentiert werden, während für die Leistung von Personen die auf Seite 101 genannte durchschnittliche Bruttoleistung zugrunde gelegt werden kann.

Um die Einheiten der Arbeit von Personen und Maschinen zu vereinheitlichen, werden die Einheiten wie folgt umgerechnet:

1 Joule [J]	= 1 Wattsekunde [Ws]
	= 0,0002778 Wattstunden [Wh]
1 Wattstunde [Wh]	= 3.600 Wattsekunden [Ws]
	= 3.600 Joule [J]
	= 3,6 Kilojoule [kJ]
	= 0,0036 Megajoule [MJ]
1 Megajoule [MJ]	= 1.000.000 Joule
	= 1.000.000 Wattsekunden [Ws]
	= 277,778 Wattstunden [Wh]

Die Bruttoleistung von Personen kann demnach wie folgt umgerechnet werden:

∅ Leistung Personen [P_P]	= 334.960 J/h
	= 335 kJ/h
	= 0,335 MJ/h

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

In Kapitel 6 wird die Arbeit von Personen und Maschinen einheitlich in der SI-Einheit Joule bzw. deren Vielfachem Megajoule [MJ] dargestellt.

Kapitel 6.2 bis 6.4 widmen sich den Ermittlungen des Rückbauaufwands, um daraus Benchmarks für eine Bewertung abzuleiten.

5.3.2. Entsorgungskosten und Verwertungserlöse – Faktor Wert

Neben dem Rückbauaufwand bestimmen die Entsorgungskosten bzw. Verwertungserlöse die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus. Ein Aufwand für die sortenreine Trennung von Materialien ist nur wirtschaftlich, wenn die zurückzugewinnenden Materialien auch einen entsprechenden Wert besitzen. Welcher Wert ist nun entscheidend?

Der monetäre Materialwert beim Neubau kann nicht herangezogen werden, da ein Bauteil oder Produkt durch Abnutzung an Wert verlieren kann.

Die Knappheit von Ressourcen spiegelt zwar einen gewissen Wert für ein daraus hergestelltes Material wider, dieser ist jedoch zum einen schwer nachvollziehbar zu messen (s. Ausführungen zum Indikator „Abiotisches Ressourcenpotenzial" auf Seite 28), zum anderen bestimmen nicht nur die Knappheit, sondern auch weitere Faktoren den Wert eines Materials, z. B. die Verfügbarkeit. Letztere lässt sich nicht immer anhand der Reserven (der wirtschaftlich abbaubaren Ressourcen) messen. So ist z. B. Naturstein prinzipiell kein knappes Gut, jedoch sind die Flächen zum Natursteinabbau begrenzt, da auch der Naturraum geschont werden muss. Anhand der Knappheit lässt sich also der Wert schlecht messen.

Entscheidend ist der Wert der zurückzugewinnenden Stoffe nach dem Rückbau. Dieser kann positiv sein, wenn es sich um Materialien handelt, für die eine **Nachfrage und ein Markt** existiert. So ist auch nach § 6 Abfallrahmenrichtlinie (s. Seite 40) die Nachfrage nach einem Stoff oder Gegenstand oder die Existenz eines Marktes ein Kennzeichen dafür, dass dieser das Ende der Abfalleigenschaft erreicht hat. Für das Material kann dann der Marktwert[43] ermittelt werden (z. B. Schrottpreise für Metalle). Der Wert kann aber auch negativ sein, wenn keine Nachfrage vorhanden ist oder der Aufbereitungsprozess erst zu einem positiven Wert führt. In diesem Fall ist eine Gebühr für die Annahme von Abfällen zu zahlen.

Ökonomisch betrachtet ist ein Wert ein Preis, der den aktuellen Tauschwert in einer monetären Einheit (Währung) ausdrückt. Wenn die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus berücksichtigt werden soll, ist der Tauschwert bei der Übergabe vom Rückbauunternehmen zum Verwerter/Entsorger maßgeblich.

Es ist zwar nicht absehbar, wie sich die Preise für Entsorgung und Verwertung von der Neubauplanung bis zum Rückbau entwickeln, dennoch ist der Preis für Wertstoffe zum Zeitpunkt der Neubauplanung zumindest ein Anhaltspunkt, der für eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus genutzt werden kann.

43 Marktwert ist der Wert, der einem Wirtschaftsobjekt auf einem Markt durch den Marktpreis von den Marktteilnehmern beigemessen wird. Quelle: Wikipedia.

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

A 5.11 Bewertungsparameter mit Maßstäben und Eigenschaften nach Lebenszyklusphasen

Lebenszyklusphase	Parameter	Maßstab/Einheit	Eigenschaft
Pre-Use	Wiederverwendung	Masseanteil in %	Variable
	Material-Recycling Content (MRC) nach Qualitätsstufen	Masseanteil in %	Variable
Post-Use	EoL-Qualitätsstufen	Masseanteile in %	Variable
	Schadstofffreiheit	Grenzwert in %	Ausschlusskriterium
	Sortenreinheit	Störstoffe in %	Ausschlusskriterium
	zerstörungsfreie Lösbarkeit	-	qualifizierendes Kriterium (für Wiederverwendbarkeit)
	Material-Loop Potenzial (MLP)	Masseanteil in %	Koeffizient
	Arbeit	Megajoule [MJ]	Kooffizient
	Wert	Euro [€]	Koeffizient

Bisher existieren für Entsorgungspreise von Baureststoffen keine Statistiken. **Die Preise verschiedener Wert- und Abfallstoffe müssen deshalb empirisch ermittelt werden.**

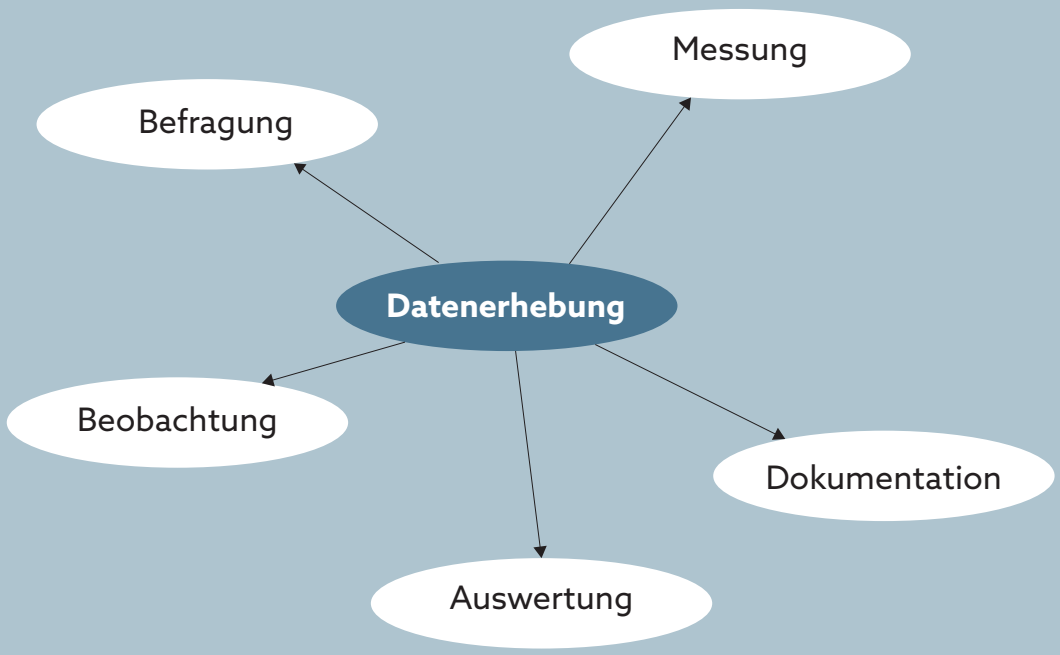
In Kapitel 6.1 wird die Ermittlung von Preisen für Bau- und Abbruchabfälle dargestellt und erläutert.

Schließlich soll aus den Benchmarks von Arbeit und Wert die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der die Wertstoffe das jeweils hochwertigste End-of-Life-Szenario erreichen (siehe Kapitel 7.3).

In Abb. A 5.11 sind die definierten Parameter noch einmal mit ihren jeweiligen Maßstäben und Einheiten zusammengefasst und nach Lebenszyklusphasen geordnet. Die Eigenschaften bestimmen darüber, wie die Parameter in die Berechnung eingehen (siehe Kapitel 7).

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb



https://doi.org/10.51202/9783738806069-87, am 30.06.2024, 00:39:18
Open Access – (cc) BY-NC – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb