

Abbildungsverzeichnis

A 1. Abbildungen Kapitel 1

- A 1.1 Die 17 Ziele der UN für nachhaltige Entwicklung (engl. Sustainable Development Goals - SDGs), Logos von Maria Gershuni [1]
- A 1.2 Inländischer Materialverbrauch (Domestic Material Consumption – DMC) und Materialfußabdruck in Industrie- und Entwicklungsländern, Jahre 2000-2017 [3]
- A 1.3 Materialfußabdruck pro Kopf (Raw Material Consumption – RMC) nach Rohstoffart in Industrie- und Entwicklungsländern, Jahre 2000-2017 [4]
- A 1.4 Genutzte Inländische Rohstoffentnahme in Deutschland 2015, nach Rohstoffgruppen [5]
- A 1.5 Sustainable Development Goals mit besonderer Relevanz für den Verbrauch stofflicher Ressourcen und Zuordnung relevanter Indikatoren auf den verschiedenen politischen Ebenen
- A 1.6 Reduzierung des theoretischen Rohstoffbedarfs durch die Sekundärrohstoffwirtschaft – DERec und DERec im Verhältnis zu DMI und RMI für das Jahr 2013, eigene Darstellung, Datenbasis UBA [19]
- A 1.7 Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität in Deutschland, 2000 = 100% [15]
- A 1.8 Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe (Circular Material Use Rate – CMU) in % der inländischen Materialverwendung, Europa nach Ländern, 2016 [16]
- A 1.9 Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe (Circular Material Use Rate – CMU) der 28 EU-Mitgliedsstaaten (gesamt), 2016 [17]
- A 1.10 Beispiel einer modernen Ruine: seit Jahren leerstehende Tankstelle im Münsterland

A 2. Abbildungen Kapitel 2

- A 2.1 Wegweiser an einem Kreisverkehr in Ostbevern bei Münster
- A 2.2 Produktivitätsraten der Nachhaltigkeitsstrategien Konsistenz, Effizienz und Suffizienz im Aufwands- und Ertragsdiagramm nach Schmidt [27]
- A 2.3 „Krafftelder“ suffizienter Strategien (a), effizienter Strategien ohne Kostenkomponente für Ressourcen- und Umweltaufwand (b), mit Kosten für Ressourcen- und Umweltaufwand (c) und notwendiges Kraffteld zum Erreichen des nachhaltigen Zielgebiets (d) nach Schmidt [30]
- A 2.4 Natürlicher Kreislauf und gestörter Kreislauf nach Schlichting [31]
- A 2.5 Eingriff des Technischen Kreislaufs in die von Schlichting beschriebenen Naturkreisläufe, eigene Darstellung
- A 2.6 Nutzungs- und Lebenszyklen von Baustoffen nach Hillebrandt [32]
- A 2.7 Earth Overshoot Day 1969-2018 [38]
- A 2.8 Wirkungsrichtungen der Ökoeffizienz und der Ökoeffektivität nach Braungart/EPEA [39]
- A 2.9 Ökobilanzmodule A – D in Anlehnung an DIN EN 15 978 [42]
- A 2.10 Umweltinformationen und zugeordnete Indikatoren in Anlehnung an DIN EN 15 978 [44]
- A 2.11 Treibhauspotenzial von 1m³ Nadelschnittholz – frisch, Durchschnitt DE [48]
- A 2.12 Systemgrenzen des Urban Mining Index
- A 2.13 Ablaufplan zur Vorgehensweise

A 3. Abbildungen Kapitel 3

- A 3.1 Konventioneller Abbruch in Brochterbeck/Münsterland (2018): sortenreine Trennung von Ziegeln, Beton, Holz, Metall, Dämm- und Kunststoffen? Fehlanzeige!
- A 3.2 Ebenen des Abfallrechts mit Relevanz für Rückbau und Recycling im Bauwesen
- A 3.3 Abfallhierarchie nach Abfallrahmenrichtlinie [56]
- A 3.4 Einordnung von Bau- und Abbruchabfällen nach Abfallverzeichnis (beispielhafter Auszug) [64]
- A 3.5 Potenziale von Althölzern für die höherwertige stoffliche Verwertung nach AltholzV [65]
- A 3.6 Abfallaufkommen gesamt in Deutschland 2016 in Mio. t [72]
- A 3.7 Bau- und Abbruchabfälle in Deutschland 2016 in Mio. t [73]
- A 3.8 Verbleib der ungefährlichen Bau- und Abbruchabfälle in Deutschland 2016 in Mio. t [74]
- A 3.9 RC-Baustoffverwendung in Deutschland 2010 in Mio. t [75]
- A 3.10 Wirkungsabschätzung für Konstruktionsbetone, RC-Beton mit erhöhtem Zementanteil, Relation in % [76]
- A 3.11 Entsorgungssicherheit über Deponiekapazitäten in Deutschland nach Haeming, Hartmut, 2018
- A 3.12 selektiver Abbruch mittels Abbruchzange
- A 3.13 Selektiver Rückbau von Installationen aus einer Mauerwerkswand
- A 3.14 Eignung von Abbruchverfahren mit Fokus auf den selektiven Rückbau von Gebäuden in Anlehnung an DIN 18007
- A 3.15 Abbruchtechniken [84]
- A 3.16 Kosten, Zeitbedarf und Verwertungsquoten beim Rückbau für unterschiedliche Demontagetiefen (Ergebnisse von Optimierungsrechnungen) [86]
- A 3.17 Materiallager des Gebäudebestands in Deutschland 2010 in Mio. t nach Materialgruppen [87]
- A 3.18 Zukunftsszenarien für den Rezyklateinsatz nach Sensitivitätsstudien von Deilmann et al. [87]
- A 3.19 Hochrechnungen zu Materialströmen im Hochbau (Wohnen und Nichtwohnen) [87]

A 4. Abbildungen Kapitel 4

- A 4.1 Atomium, Brüssel
- A 4.2 weltweit angewendete Zertifizierungssysteme für Gebäude, 2017

- A 4.3 recyclingbezogene Kriterien in den etablierten Zertifizierungssystemen
- A 4.4 Bewertung der Indikatoren Rückbau, Sortenreinheit und Verwertung im Kriterium 4.1.4 des BNB-Systems
- A 4.5 Bewertung der Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit im Kriterium TEC 1.6 der DGNB
- A 4.6 Kriterien mit Bezug zum Recycling von Baumaterialien im BREEAM-System International New Construction, 2016
- A 4.7 BREEAM-System International New Construction, 2016: Kriteriengruppen und deren Gewichtung für Nichtwohngebäude [92]
- A 4.8 LEED-System Building Design and Construction (BD+C) v4: Kriteriengruppen und deren Gewichtung
- A 4.9 Kriterien der Gruppe „Materialien & Rohstoffe“ im LEED-System Building Design and Construction (BD+C) v4 [93]
- A 4.10 etablierte Umweltzeichen Typ I für Bauprodukte [97]
- A 4.11 Cradle-to-Cradle-System: Materialkreisläufe der Bio- und Technosphäre, EPEA GmbH
- A 4.12 Bewertung des Materialrecyclings im Cradle-to-Cradle System [106]
- A 4.13 Volumenbezogene, materialabhängige Dauerkennwerte von Abbruchtechniken in h/m³ für einen 40-Tonnen-Bagger und zwei Arbeitskräfte [108]
- A 4.14 Vergleich der Arbeitsaufwände zum Rückbau von WDVS an unterschiedlichen Untergründen [111]
- A 4.15 Bewertung der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der Rückbaueigenschaften nach Graubner und Clanget-Hulin in Anlehnung an DGNB und BNB
- A 4.16 Entsorgungseinstufung der Baustoffe im Entsorgungsindikator EI10 des IBO [117]
- A 4.17 Einstufung des Verwertungspotenzials mit Zuordnung der (fiktiven) Reduktion/Erhöhung der betrachteten Abfallmengen im Entsorgungsindikator EI10 des IBO [118]
- A 4.18 Beispielhafte Baustoffe/Bauteilschichten mit Zuordnung der Entsorgungseinstufung und des Verwertungspotenzials im Entsorgungsindikator EI 10 des IBO [119]
- A 4.19 Systemgrenzen der Messmethodik im Madaster Circularity Indicator: Bauphase (blau) Nutzungsphase (grün) End-of-Life Phase (orange) [124]
- A 4.20 Darstellung der Komponenten des Madaster Circularity Indicators auf der Madaster-Plattform [131]
- A 4.21 Beispiel für eine Codierung von Gebäudedaten nach den Tabellen des NL-SfB Standard [127]
- A 4.22 Beurteilung der Demontagefähigkeit von Bauprodukten und -materialien im Madaster Circularity Indicator [124]

A 5. Abbildungen Kapitel 5

- A 5.1 Reitermann und Sassenroth mit Martin Rauch: Kapelle der Versöhnung, Berlin
- A 5.2 Parameter zur Bewertung der Kreislaufpotenziale im Lebenszyklus
- A 5.3 Schad- und Risikostoffe, die aus dem Kreislauf auszuschließen sind
- A 5.4 Wertstoffe und ihre End-of-Life Szenarien [140]
- A 5.5 Material Recycling Content (MRC) am Beispiel einer Spanplatte [142]
- A 5.6 Material-Loop-Potenzial (MLP) der gleichen Spanplatte [142]
- A 5.7 Charakterisierung der Gruppen von Fügetechniken in Anlehnung an DIN 8593-0 [145]
- A 5.8 schwere körperliche Tätigkeit bei der Entkernung eines Mehrfamilienwohnhauses in Handarbeit
- A 5.9 Physikal Activity Level (PAL) zur Bestimmung des Leistungsumsatzes [149]
- A 5.10 Kraftstoffbedarf für verschiedene Abbruchverfahren mit entsprechenden Anbaugeräten für einen 40-65 t. Abbruchbagger [152]
- A 5.11 Bewertungsparameter mit Maßstäben und Eigenschaften nach Lebenszyklusphasen

A 6. Abbildungen Kapitel 6

- A 6.1 Mindmap Datenerhebung
- A 6.2 Übersicht der Preiserhebung in Deutschland
- A 6.3 Preisabfrage für Bau- und Abbruchabfälle an die Entsorger
- A 6.4 Verwertungserlöse (+) und Entsorgungskosten (-) für Bau- und Abbruchabfälle, bundesweiter Durchschnitt
- A 6.5 wiederverwendbar: Wasserstrichklinker an massiver Außenwand, oben Kalkmörtel, unten Kalkzementmörtel (1)
- A 6.6 zurückgewonnene Ziegel: links mit Anhaftungen von Kalkmörtel-, rechts mit Kalk-Zementmörtel
- A 6.7 Dokumentation Rückbau und Wert: Wasserstrichklinker an massiver Außenwand (1)
- A 6.8 trocken gestapelt: Ziegel an Dämmebene mit MDF-Verschalung (2)
- A 6.9 leicht demontierbar: Ziegel mit Edelstahlankern befestigt
- A 6.10 Dokumentation Rückbau und Wert: Ziegel an Dämmebene mit MDF-Verschalung (2)
- A 6.11 reparaturfreundlich: VHF-Fassaden an massiver Außenwand (3-7)
- A 6.12 Unterkonstruktion der VHF-Fassaden
- A 6.13 Dokumentation Rückbau und Wert: VHF-Fassaden an massiver Außenwand (3-7)
- A 6.14 homogen: WDVS aus Mineraldämmstoffplatten mit Leichtputz auf Porenbeton (8)
- A 6.15 WDVS: Glasgewebe mit Putzrückständen
- A 6.16 Dokumentation Rückbau und Wert: WDVS (8)
- A 6.17 Holzbekleidung auf Außenwand in Holzständerbauweise (9-10)
- A 6.18 Holzständerwand mit OSB-Beplankung
- A 6.19 Dokumentation Rückbau und Wert: Holzbekleidung auf Außenwand in Holzständerweise (9-10)
- A 6.20 Pfosten-Riegel-Fassade aus Aluminiumprofilen (11)
- A 6.21 Wertstoffe Pfosten-Riegel-Fassade
- A 6.22 Dokumentation Rückbau und Wert: Pfosten-Riegel-Fassade (11)
- A 6.23 »umgekehrt«: Bitumenabdichtung unter Schaumglasdämmung mit Kiesauflage (12)
- A 6.24 Herstellerrecycling: Sammlung und Sortierung von Altbitumenbahnen

- A 6.25 Dokumentation Rückbau und Wert: Bitumenabdichtung unter Schaumglasdämmung (12)
- A 6.26 punktuell fixiert: Abdichtung aus nachwachsenden Rohstoffen mit Holzfaserdämmung (13)
- A 6.27 Dachbahn mit Restanhaftungen des Dämmstoffdübels
- A 6.28 Dokumentation Rückbau und Wert: Abdichtung aus nachwachsenden Rohstoffen mit Holzfaserdämmung (13)
- A 6.29 langlebig: Schieferdeckung auf geneigtem Dach (14)
- A 6.30 Demontage Schieferdeckung
- A 6.31 Dokumentation Rückbau und Wert: Schieferdeckung
- A 6.32 Closed-Loop-Konstruktion: Stehfalzdeckung aus Zinkblech auf geneigtem Dach (15)
- A 6.33 Rückbau Zinkdeckung
- A 6.34 Dokumentation Rückbau und Wert: Stahlfalzdeckung aus Zinkblech auf geneigtem Dach (15)
- A 6.35 Demontageaufwand im Vergleich
- A 6.36 Vergleich Parameter „Arbeit“
- A 6.37 Vergleich Parameter „Wert“ auf Basis der Preiserhebung 2016
- A 6.38 Übersicht der untersuchten Fassaden
- A 6.39 Übersicht der untersuchten Dachbekleidungen
- A 6.40 Anteil der Qualitätsstufen unter Berücksichtigung des Material-Loop-Potenzial am Beispiel der Pfosten-Riegel-Fassade
- A 6.41 „Zeilgalerie“ in der Frankfurter Innenstadt
- A 6.42 Fehlplanungen des Entwurfskonzeptes
- A 6.43 Rückbau Kinosaal in der Zeilgalerie: große Höhen erforderten besondere Sicherheitsmaßnahmen
- A 6.44 Rückbau technische Leitungen
- A 6.45 Wandaufbau im Kinosaal mit diversen Schichten
- A 6.46 geschossweiser Rückbau des Rohbaus [163]
- A 6.47 Bürogebäude in Frankfurt Niederrad
- A 6.48 Fassade mit Dämmstoffen und Bekleidung
- A 6.49 Rückbau des Dachbelags: Kies auf PE-Trennlage
- A 6.50 Rückbau der Attika
- A 6.51 Rückbau der Dachabdichtung [164]
- A 6.52 Hohlraumboden mit Teppichrückständen
- A 6.53 Rückbauprojekt Wohnhaus in Waldkraiburg/Bayern
- A 6.54 Abfalltrennung
- A 6.55 Dokumentation des Rückbauaufwands am Beispiel des Bodenbelags aus Abb. A 6.56
- A 6.56 selektiver Rückbau eines Bodenbelags
- A 6.57 Einfluss von Entsorgungskosten und Personalkosten auf die Abbruch- bzw. Rückbaukosten anhand von vier Modellrechnungen für ein Wohngebäude in Massivbauweise (Baujahr 1856) mit 4.200 cbm Bruttoraum- inhalt (BRI) [166]
- A 6.58 Beispielhafte Dokumentation der Untersuchungsergebnisse von Graubner et al. [170]
- A 6.59 flächenbezogene Zeitaufwandswerte und Energiebedarfe für den Abbruch beispielhafter Rohbauteile

A 7. Abbildungen Kapitel 7

- A 7.1 Logo des Urban Mining Index
- A 7.2 Ebenen der Gebäudestruktur mit Bewertungsgrundlagen
- A 7.3 Wertstoffe einer beispielhaften Außenwandkonstruktion (= Bauteilebene; Anteile nach Massen in %)
- A 7.4 Qualitätsstufen als Variable zur Bewertung der Kreislaufpotenziale (vor der Verifizierung)
- A 7.5 Qualitätsstufen Post-Use der WU-Beton-Bodenplatte aus der beispielhaften Berechnung Kapitel 7.3.3
- A 7.6 Berechnung der Kreislaufpotenziale am Beispiel einer studentischen Arbeit, Leona Heidrich, Bergische Universität Wuppertal, Korrektur Rosen
- A 7.7 MRC und MLP von Konstruktionsvollholz und einer beispielhaften Holzfaserplatte, nach Hillebrandt/Seggewies, Atlas Recycling [171]
- A 7.8 Qualitätsstufen als Variable zur Bewertung der Kreislaufpotenziale (nach der Verifizierung)
- A 7.9 Berechnung der Kreislaufpotenziale am Beispiel der studentischen Arbeit aus Kapitel 7.4.1 nach der Verifizierung
- A 7.10 Systematik zur Berechnung der Kreislaufpotenziale nach Qualitätsstufen
- A 7.11 Erfassung eines beispielhaften Dachaufbaus mit dem entwickelten Excel Tool

A 8. Abbildungen Kapitel 8

- A 8.1 Lärchenschindeln an der Kapelle Sumvig von Peter Zumthor, Foto: Hillebrandt
- A 8.2 Entwurfskonzept Modellprojekt 1: Schnitt und Grundriss EG nach Riegler- Floors/Hillebrandt [173], Maßstab 1:1000
- A 8.3 Konventionelle Konstruktion nach Riegler- Floors/Hillebrandt [173], Vertikalschnitt Maßstab 1:50
- A 8.4 Urban Mining Design nach Hillebrandt/Riegler-Floors [173], Vertikalschnitt Maßstab 1:50
- A 8.5 Entwurfskonzept Modellprojekt 2: Grundrisse EG und OG nach Riegler-Floors/Hillebrandt [179], Maßstab 1:1000
- A 8.6 Konventionelle Konstruktion nach Riegler- Floors/Hillebrandt [179], Vertikalschnitt Maßstab 1:50
- A 8.7 Urban Mining Design nach Hillebrandt/Riegler-Floors [179], Vertikalschnitt Maßstab 1:50
- A 8.8 Treibhausgasemissionen der recyclingorientierten Gründung aus Modellprojekt 2 mit unterschiedlicher Datenbasis (Rechenexemple)
- A 8.9 Treibhausgasemissionen der in Modellprojekt 2 verwendeten Metalle in kg CO₂-Äquiv. pro kg Metall

A 9. Abbildungen Kapitel 9

- A 9.1 Visualisierung Rathaus Korbach, Christian Thomann/ARGE agn heimspielarchitekten
- A 9.2 Bestand Rathaus Korbach, Foto: Christian Thomann/ARGE agn heimspielarchitekten
- A 9.3 Luftbild historischer Innenstadtkern von Korbach [200]
- A 9.4 Urban Mining Konzept Rathaus Korbach, Anja Rosen für ARGE agn heimspielarchitekten
- A 9.5 Rechenmodell für die Direktverwertung der mineralischen Abbruchmaterialien aus dem Bestandsgebäude [201]
- A 9.6 Sichtbeton mit rezyklierter Gesteinskörnung Typ 2 unter Verwendung von Ziegelrezyklat an einer Musterfassadentafel
- A 9.7 Erweiterung Rathaus Korbach, Grundriss EG, ohne Maßstab, ARGE agn-heimspielarchitekten, Christian Thomann/Marc Matzken
- A 9.8 Selektiver Rückbau des Rathausanbaus: ausgebaute Dachdämmung mit Verschmutzung von Bitumen
- A 9.9 Selektiver Rückbau Porenbetonmauerwerk und Gussasphaltestrich im Erdgeschoss
- A 9.10 Abbruch des Stahlbetonskeletts
- A 9.11 Aufbereitung der mineralischen Abbruchabfälle in einer mobilen Brechanlage
- A 9.12 Sockeldetail Rathaus Korbach – ursprüngliche Planung, M 1:20, ARGE agn-heimspielarchitekten, Christian Thomann/Marc Matzken, Stand 12/2018
- A 9.13 Sockeldetail Rathaus Korbach – Urban Mining Design, M 1:20, ARGE agn-heimspielarchitekten, Christian Thomann/Marc Matzken/Anja Rosen, Stand 12/2018
- A 9.14 Stoffraumrechnung für den Beton der Gründungvarianten
- A 9.15 Anschluss Außenwand/Fassade an Geschossdecke Rathaus Korbach, M 1:20, ARGE agn-heimspielarchitekten, Vitali Hense/Marc Matzken, Stand 09/2019
- A 9.16 Fassade Rathaus Korbach, Horizontalschnitt Fenstertyp 1, M 1:20, mit maßstabloser Ansicht innen und außen, ARGE agn-heimspielarchitekten, Christian Thomann/Marc Matzken, Stand 09/2019
- A 9.17 Innenwände, Vertikalschnitt, M 1:20
- A 9.18 Anschluss Dach an Außenwand/Fassade Rathaus Korbach, M 1:20, ARGE agn-heimspielarchitekten, Christian Thomann/Marc Matzken, Stand 12/2018
- A 9.19 Vergleichende Berechnung der Kreislaufpotenziale auf Gebäudeebene
- A 9.20 Ergebnisse der Kreislaufpotenziale auf Gebäudeebene und Überführung in den Urban Mining Indicator
- A 9.21 Treibhauspotenzial der untersuchten Varianten auf Gebäudeebene
- A 9.22 Test einer anderen Berechnungsweise des Urban Mining Indicators: Gewichtung der Kreislaufpotenziale auf Gebäudeebene nach Bauteilflächen
- A 9.23 Kreislaufpotenziale der Urban Mining Design Variante des Modellprojekts 1 aus Kapitel 8 auf Gebäudeebene
- A 9.24 Urban Mining Indicator derselben Konstruktion
- A 9.25 Kreislaufpotenziale derselben Konstruktion bei optimiertem Material-Recycling-Content (MRC)
- A 9.26 Urban Mining Indicator derselben Konstruktion bei optimiertem Material-Recycling-Content (MRC)

A 10. Abbildungen Kapitel 10

- A 10.1 Reflektion und Ausblick am Kinney Lake, Mt. Robson Provincial Park, Canada
- A 10.2 Bewertung der Kreislauffähigkeit Post-Use (gewichtet) für das Modellprojekt Rathaus Korbach
- A 10.3 Systematik des UMI am Beispiel eines Betonbauteils (Post-Use-Phase) mit Überführung der Ergebnisse in die Ökobilanz [239]
- A 10.4 Systematik des UMI am Beispiel eines Holzbauteils (Post-Use-Phase) mit Überführung der Ergebnisse in die Ökobilanz

Abbildungen ohne Hinweise auf den Urheber sind eigene Grafiken oder Fotos der Verfasserin.