



TECHNIK
HOCHSCHULE MAINZ
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

IREC – Practice Paper No. 2

Schriftenreihe des IREC

Institute of Real Estate and Construction Management
Hochschule Mainz

März 2024

Sabrina Mangerich, B.Eng.

Kreislaufgerechtes Bauen

**Von der Linearwirtschaft zur
Kreislaufwirtschaft im Bauwesen**

Vorgeschlagene Zitierweise:

Mangerich, Sabrina (2024): Kreislaufgerechtes Bauen - Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. In: IREC (Hrsg.): IREC – Practice Paper No. 2, Mainz: Schriftenreihe des Institute of Real Estate and Construction Management an der Hochschule Mainz, März 2024.

Impressum

Herausgeber:

IREC – Institute of Real Estate and Construction Management, Hochschule Mainz

Vertreten durch die Institutsleitung:

Prof. Dr.-Ing. Axel Freiboth

Prof. Dr. Stephan Ruhl

IREC – Institute of Real Estate and Construction Management – Mainz

Hochschule Mainz

Holzstraße 36

55116 Mainz

T +49 6131 628 1311

E-Mail: irec@hs-mainz.de



TECHNIK
HOCHSCHULE MAINZ
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

Komplexes wissenschaftliches Immobilienprojekt
Studiengang Master Bau- und Immobilienmanagement

Kreislaufgerechtes Bauen
Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft
im Bauwesen

Hochschule Mainz
University of Applied Sciences
Fachbereich Technik

vorgelegt von: Sabrina Mangerich
Matrikel-Nr.: 916316
Holzstraße 36
55116 Mainz

vorgelegt bei: Prof. Dr.-Ing. Michael Küchler
eingereicht am: 16.12.2022

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	II
SYMBOLVERZEICHNIS	IV
GLOSSAR	V
1 EINLEITUNG	1
2 AUSGANGSSITUATION IM BAUWESEN UND AUSWIRKUNGEN	3
2.1 RETROSPEKTIVE UND GEGENWÄRTIGE SITUATION IM BAUWESEN	3
2.1.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG.....	3
2.1.2 GEGENWART	4
2.1.3 BEDEUTUNG DES BAUSEKTORS.....	5
2.1.4 ETABLIERTE PROZESSE, BAUWEISEN UND BAUSTOFFE	7
2.2 KONSEQUENZEN EINES LINEAREN BAUWESENS	14
2.2.1 ÖKOLOGIE	15
2.2.2 ÖKONOMIE	16
2.2.3 SOZIALES	17
2.3 GESETZLICHE VORGABEN: UMWELTSCHUTZ, BAUPRODUKTE UND ABFALL	18
2.4 ZWISCHENFAZIT.....	22
3 KREISLAUFGERECHTES BAUEN – PARADIGMENWECHSEL FÜR DAS BAUEN DER ZUKUNFT	23
3.1 IN KREISLÄUFEN DENKEN.....	23
3.2 GANZHEITLICHE LEBENSZYKLUSBETRACHTUNG VON GEBÄUDEN	24
3.3 GESCHLOSSENE KREISLÄUFE IM BAUWESEN.....	25
3.3.1 CRADLE TO CRADLE – IDEALE KREISLÄUFE ALS BASIS DES KREISLAUFGERECHTEN BAUENS.....	26
3.3.2 URBAN MINING – GEBÄUDEBESTAND ALS ROHSTOFFLAGER	32
3.3.3 KRITERIEN FÜR KREISLAUFGERECHTES BAUEN.....	35
3.3.4 BEWERTUNG VON KREISLAUFGERECHTIGKEIT IM BAUWESEN	37
3.4 DESIDERATE UND POTENZIALE GESETZLICHER VORGABEN	42
3.5 AUSBLICK	45
4 FAZIT	46
ANHANG	VIII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XI

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

aaRdT	allgemein anerkannte Regeln der Technik
Abb.	Abbildung
AbfRRL	Abfallrahmenrichtlinie
Abs.	Absatz
Art.	Artikel
AVV	Abfallverzeichnisverordnung, Abfallverzeichnis-Verordnung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
C2C	Cradle to Cradle
ca.	circa
CE	Conformité Européenne
DafStb	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung
EPEA	Environmental Protection Encouragement Agency
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EUBauPVO	Bauproduktenverordnung
f.	die angegebene und die folgende Seite
ff.	die angegebene und mind. die folgenden beiden Seiten
GEG	Gebäudeenergiegesetz
gem.	gemäß
gestalt.	gestalterisch
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
ggf.	gegebenenfalls
i.d.R.	in der Regel
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
max.	maximal
Mio.	Millionen

Mrd.	Milliarden
Nr.	Nummer
o.D.	ohne Datum
o.g.	oben genannt
o.J.	ohne Jahr, ohne Jahresangabe
Öko	ökologisch
OSB-Platte	Oriented Strand Board (Grobspanplatte)
ProgRess	Ressourceneffizienzprogramm
S.	Seite
sog.	sogenannt
städtebaul.	städtebaulich
STB	Stahlbeton
teilw.	teilweise
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
u.	und
u.a.	und andere
usw.	und so weiter
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
v.g.	vorgenannt
Vgl.	Vergleich
VHF	vorgehängte hinterlüftete Fassaden
WDVS	Wärmedämmverbundsysteme
z.B.	zum Beispiel

SYMBOLVERZEICHNIS

§	Paragraf
%	Prozent
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
° C	Grad Celsius
©	Copyright

GLOSSAR

ABFALL:

„Stoff oder Gegenstand, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss.“¹

ANTHROPOGEN:

Durch den Menschen beeinflusst, verursacht, menschengemacht.

BIOSPHERE:

Gesamter „Bereich unter und über der Oberfläche der Erde“², der von Lebewesen bewohnt wird. (Synonym: „Ökosphäre“)

CIRCULAR ECONOMY:

Verständnis von Kreislaufwirtschaft als ganzheitliche Wirtschaftsentwicklung, die sich durch Regeneration, Vermeidung von Abfall und Umweltverschmutzung sowie vollständig geschlossene Stoffkreisläufe abzeichnet.³

CRADLE TO CRADLE:

Prinzip, nachdem Produkte so entwickelt sind, dass daraus kein Abfall entsteht, sondern sie möglichst werterhaltend Bestandteil von Kreisläufen bleiben – Intention von idealen Kreisläufen. Ableitung von dem linearen Ansatz „Cradle to Grave“⁴.

EINSTOFFLICHE BAUWEISE:

Bauteile und -produkte, die vollständig aus einem Material hergestellt sind.⁵

GRAUE ENERGIE:

Energie, die für die Herstellung von Bauprodukten, -teilen sowie das Gebäude aufgewandt wurde, inkl. Gewinnung, Verarbeitung, Transport, Einbau und Entsorgung von Materialien.⁶

KREISLAUFGERECHT / KREISLAUFGERECHTIGKEIT:

Produkte sind so konzipiert, dass sie am Ende ihrer Lebensphase wieder- oder weitergenutzt werden können. Nach dem Verständnis einer Circular Economy entsteht daraus kein Abfall.

¹ Art. 3 Nr. 1 AbfRRL.

² Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften o.J.

³ Vgl. Ellen MacArthur Foundation o.J.b.

⁴ Vgl. Braungart und McDonough 2014, S. 134.

⁵ Vgl. Hillebrandt 2021a, S. 13.

⁶ Vgl. Baunetz Wissen o.J.b.

KREISLAUFWIRTSCHAFT:

Wird hier synonym zu „Circular Economy“ verstanden; anders als nationales Verständnis der Kreislaufwirtschaft, was einen Umgang und Bewirtschaften von Abfallprodukten beschreibt.

MEHRSTOFFLICHE BAUWEISE:

Bauteile, die aus mehreren Materialien bestehen; Antagonist von „einstofflicher“ Bauweise.

ÖKOBILANZ:

Analyse und Bewertung der Umweltwirkung aus dem Energiebedarf und verwendeten Baumaterialien über vollständigen Lebenszyklus von Gebäude.⁷

ÖKOSPHERE:

Synonym zu „Biosphäre“.

PRIMÄRMATERIAL:

Baumaterialien, die nach ihrer Herstellung erstmalig verwendet werden.

PRIMÄRROHSTOFF:

Rohstoffe, die erstmalig gewonnen wurden.

SEKUNDÄRMATERIAL:

Baumaterialien, die nach ggf. erforderlichen Aufarbeitungsmaßnahmen aus entsorgten Primärmaterialien gewonnen wurden und erneut verwendet werden können.

SEKUNDÄRROHSTOFF:

Rohstoffe, die durch Recyclingmaßnahmen erneut gewonnen werden können.

SORTENREIN:

Baumaterialien, die aus einem Material bestehen und somit „gleiche Werkstoffeigenschaften aufweisen“⁸.

TECHNOSPHERE:

Durch den Menschen geschaffene und beeinflusste Umwelt, die durch Technik bestimmt wird.

⁷ Vgl. Deutsche BauZeitschrift 2019.

⁸ Hebel et al. 2022, 22 f.

URBAN MINING:

Bereits verbaute Baumaterialien und -teile werden aus nicht konventionell errichteten Gebäuden rückgewonnen und wieder-/weiterverwendet oder -verwertet.

RECYCLING:

Produkte/Stoffe, die als Abfall gelten, werden wieder „für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet“⁹. Energetische Verwertung oder Herstellung von Brennstoffen/Verfüllmaterialien sind nicht erlaubt.¹⁰

WEITERVERWENDUNG:

Produkte/Stoffe werden für einen Zweck verwendet, für den sie ursprünglich nicht bestimmt waren.

WEITERVERWERTUNG:

Produkte/Stoffe werden dafür genutzt, der Herstellung von Produkten/Stoffen mit einem anderen als ihrem ursprünglichen Zweck zu dienen.

WIEDERVERWENDUNG:

Produkte/Stoffe werden nochmal „für denselben Zweck verwendet [...], für den sie ursprünglich bestimmt waren“¹¹.

WIEDERVERWERTUNG:

Produkte/Stoffe werden dafür genutzt, der Herstellung von Produkten/Stoffen mit demselben Zweck, zu dienen.

⁹ § 3 Abs. 25 KrWG.

¹⁰ Vgl. § 3 Abs. 25 KrWG.

¹¹ Art. 3 Nr. 13 AbfRRL.

1 EINLEITUNG

„Nachhaltig ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“¹² Der Begriff der Nachhaltigkeit sowie ihre Entwicklung, die auf ökologischen, ökonomischen und sozialen Prinzipien beruht, sind allgegenwärtig. Ein unübersehbarer, folgenschwerer Klimawandel, schwindende Rohstoff- und Ressourcenvorkommen und eine wachsende gesellschaftliche Verantwortung veranlassen dabei auf vielen Ebenen zu einer Veränderung menschlichen Handelns auf der Erde – zukunftsorientierte Prozesse für eine positive Entwicklung sind Ziel und Notwendigkeit.

Bei der Betrachtung von Potenzialen der Ressourceneinsparung sowie Emissions- und Abfallreduzierung wird dem Bausektor regelmäßig eine Schlüsselrolle zugesprochen. Denn Verbrauch, Herstellungsprozesse und damit einhergehende Auswirkungen sind schwerwiegend. Parallel bildet sich ab, dass das Bauwesen in seiner gegenwärtigen Form zukünftig unter Materialmangel und immensen Kostensteigerungen leiden wird, wobei Abfallentsorgungsverfahren wie bisher nicht mehr möglich sein werden. Ein maßgebender Wandel des Bauwesens ist also unumgänglich.

Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft – kreislaufgerechtes Bauen als zukunftsorientierter, ökologischer Ansatz für ein nachhaltiges Bauwesen in Deutschland werden im Folgenden betrachtet.

Wie gestalten sich die Rahmenbedingungen für die Entwicklung hin zu einem kreislaufgerechten Bauen? Wie bilden sich die gegenwärtig vorherrschenden gesetzlichen Vorgaben bezogen auf die relevanten Schwerpunktthemen Umweltschutz, Produktanforderungen, Abfallwesen und zukunftsorientiertes Bauen (in Kreisläufen) ab? Worin bestehen Desiderate und Potenziale gesetzlicher Vorgaben, um einen tatsächlichen Wandel bewirken zu können?

Um diese Fragestellung in dem vorliegenden Projekt fundiert untersuchen zu können, findet eine Analyse der vorherrschenden Ausgangssituation im Bauwesen statt sowie der Betrachtung etablierter Prozesse, Konstruktionsmethoden und Baumaterialien und den daraus resultierenden Konsequenzen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Folgend gilt es den Ansatz des kreislaufgerechten Bauens als „Paradigmenwechsel“ für das Bauwesen der Zukunft abzubilden und die grundlegenden Veränderungen und Ansätze einer Weiterentwicklung des Bausektors, die dafür erforderlich werden. Dabei sollen nicht nur negative Auswirkungen von Bauprozessen reduziert

¹² Aachener Stiftung Kathy Beys o.D.

werden, sondern vielmehr das Erarbeiten und Nutzen von Potenzialen für eine positive Einflussnahme auf die Umgebung angestrebt werden.

Ein Denken in Kreisläufen, welches die ganzheitliche Betrachtung von Immobilien, deren Rückbau oder Abbruch dauerhaft einbezieht und resultierende Wertschöpfungspotenziale berücksichtigt, bildet die Grundlage dieses Vorhabens. Kreisläufe im Bauwesen schließen – um dies zu ermöglichen besteht die Notwendigkeit, maßgebende Kriterien zu berücksichtigen. Dazu wird das Prinzip von **Cradle to Cradle**, also die dauerhafte Wiederverwendung von Rohstoffen durch eine konsequente, ideale Kreislaufwirtschaft¹³ sowie das Prinzip von **Urban Mining** betrachtet, bei dem die Wertschöpfung aus Bestandsgebäuden durch die Sichtweise eines „von Menschen geschaffenes Rohstofflager, als städtische Mine“¹⁴ verfolgt wird. Bewertungsansätze, die eine Kreislaufgerechtigkeit im Bauwesen messbar werden lassen, gilt es darzulegen. Abschließend wird ein Ausblick gewährt, wie die Chancen einer Etablierung des kreislaufgerechten Bauens aussehen, unter Einwirkung der betrachteten gesetzlichen Vorgaben.

¹³ Vgl. Baunetz Wissen o.J.a.

¹⁴ Müller 2021, S. 65.

2 AUSGANGSSITUATION IM BAUWESEN UND AUSWIRKUNGEN

Für eine ganzheitliche Darstellung der gegenwärtigen Ausgangslage im Bauwesen mit ihren Auswirkungen auf Klimawandel, Ressourcenverfügbarkeit und Energieverbrauch, ist es erforderlich, die zugehörige Entwicklung zu beleuchten. Ursprung und Entstehung etablierter Prozesse, Bauarten und -materialien werden aufgezeigt, um das Herausarbeiten möglicher Potenziale für ein kreislaufgerechtes Bauen zu ermöglichen und die dafür erforderlichen Entwicklungen aufzuzeigen. Folgend gilt es unter Bezugnahme der Wirtschaftssektoren die zentrale Bedeutung des Bausektors darzulegen, die Gründe dafür aufzuzeigen und dessen Konsequenzen für die Säulen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Soziales – abzubilden. Als Basis des bestehenden Sachverhaltes werden außerdem die vorherrschenden gesetzlichen Vorgaben und deren gegenwärtige Umsetzung betrachtet.

2.1 RETROSPEKTIVE UND GEGENWÄRTIGE SITUATION IM BAUWESEN

2.1.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Der Blick in die Vergangenheit zeigt eine Adaption menschlichen Handelns an die Grundprinzipien von Kreisläufen in der Natur. Unbehandelte Materialien, die aus der Umwelt entnommen wurden, wiesen nach ihrer Lebensdauer eine Zersetzung auf, die keinen Einfluss auf die Umgebung bewirkte und gesellschaftliches Handeln war von „Wiederverwendung, Reparatur und Anpassung an das Vorhandene“¹⁵ geprägt. In der Baupraxis bildete sich dieses Verständnis besonders durch die Wieder-, Weiterverwendung und -verwertung vorhandener Baumaterialien ab. Z.B. wurde eine Kathedrale beim Rückbau als Materiallager für einen Neubau angesehen und wertgeschätzt.¹⁶ Bis zum Zerfall des Materials wurde die Wiederaufbereitung fortgeführt und Gebäude wiesen in der Regel eine Lebensdauer über mehrere Generationen auf. Die Auffassung, Leben und Handeln ist durch die Abhängigkeit von der Natur geprägt, veränderte sich besonders mit der industriellen Revolution ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts. Es entwickelte sich eine moderne Industriegesellschaft¹⁷, beeinflusst von wissenschaftlichem und technologischem Fortschritt und der verstärkten

¹⁵ Stahel 2021, S. 33 f.

¹⁶ Vgl. Stahel 2021, S. 35.

¹⁷ Vgl. Stahel 2021, S. 35 f.

Förderung und Nutzung anorganischer Ressourcen wie z.B. Eisen und Kohle. Der Grundstein für eine global vernetzte Massenfertigung durch Maschinen war gelegt. Ab den 1940er Jahren konnte durch wissenschaftlichen Fortschritt mit Hilfe fossiler Brennstoffe wie Erdöl, -gas und Kohle nach kurzer Zeit synthetische Bauprodukte hergestellt werden. Diese maschinell schnell und günstig hergestellten Baustoffe übertrafen mit ihren technischen Eigenschaften häufig jene von natürlichen Baustoffen. Eine Bewusstseinsänderung entstand innerhalb der Gesellschaft: Wiederverwendung und -verwertung von Materialien erschien immer weniger rentabel, wenn Aufwendungen für Aufbereitungsmaßnahmen, Zwischenlagerungen und Transportwege berücksichtigt werden sollten. Ein Merkmal dieser Produkte war allerdings auch, dass sie nicht vollständig in die Natur rückführbar waren – eine Erzeugung von Abfall und der Einfluss auf die Umwelt waren vorausgesetzt.¹⁸ Potenziale für eine Wieder- und Weiterverwendung blieben unberücksichtigt. In der Baupraxis zeichnete sich dies durch einen immer geringeren Anteil an Rückbaumaßnahmen von Bestandobjekten ab, da sich ein potenzieller Gewinn aus wiederverwerteten Materialien fortlaufend reduzierte, bei einem gleichzeitigen Anstieg von Immobilien- und Mietpreisen.

2.1.2 GEGENWART

Die gegenwärtige Situation im Bauwesen ist von linearen Prozessen geprägt, für die Rohstoffe gewonnen, benutzt und anschließend entsorgt werden – nach einmaligem Gebrauch entsteht Abfall.¹⁹ Dabei hat sich die Lebensdauer von Gebäuden und Baustoffen (verglichen mit der Vergangenheit) deutlich verringert, was Einfluss auf die Produktherstellung hat. Es gilt, vorgegebene Gewährleistungsfristen zu wahren.²⁰ Durch die Einhaltung dieser Fristen und vorgegebener Technischer Lebensdauern von Bauprodukten wird sichergestellt, dass den erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen zur Nutzung von Gebäuden nachgekommen wird.

In den vergangenen Jahrzehnten zeichnete sich im Bauwesen ein deutlicher Wandel in den Bereichen Bauphysik und Gebäudeausstattung ab. Neben wachsenden Komfortansprüchen beruht dies u.a. auf der Lebenszyklusphase der Gebäudenutzung und dem hierbei entstehenden Energiebedarf. Diesem soll mit einer möglichst effizienten, technischen Gebäudeausstattung und Energieeinsparmaßnahmen entgegengetreten werden, um Emissionen zu verringern. Weiterhin zeigt sich, dass Bauprojekte häufig nicht mehr vordergründig durch ihre Funktionalität bestimmt werden, sondern dass

¹⁸ Vgl. Stahel 2021, S. 35

¹⁹ Vgl. Heisel und Hebel 2021b, S. 10

²⁰ Vgl. Hillebrandt und Seggewies 2021, S. 58

Komfort und Ästhetik einen maßgebenden Anteil bei der Projektentwicklung einnehmen. Eine Verdopplung des Wohnflächenbedarfs, verglichen mit vor rund 40 Jahren, stellt dies dar.²¹ Bei der Wahl geeigneter Baumaterialien, -weisen und -prozesse für Projekte, erscheint es jedoch gegenwärtig so, dass eine Verfolgung monetärer Ziele und Vorteile, gegenüber sozialen und ökologischen Werten häufig priorisiert werden. Damit zwangsläufig einhergehende Konsequenzen für Ökologie und Gesellschaft, wie z.B. Ressourcenknappheiten und Klimaschäden, werden in Kauf genommen.

2.1.3 BEDEUTUNG DES BAUSEKTORS

„Bauen bedeutet Zerstörung [...]“²²

„Das Bauwesen ist einer der größten Treiber des Klimawandels.“²³

„[...] Branche mit dem höchsten Ressourcenverbrauch und Abfallaufkommen.“²⁴

Bei einer Gegenüberstellung der Wirtschaftssektoren unter Bezugnahme des Ressourcenverbrauchs, der Treibhausgasemission und der Abfallerzeugung zeichnet sich die Bedeutung des Bausektors ab. In Anbetracht einer wachsenden Weltbevölkerung und damit einhergehendem ansteigendem Wohnraum- und Energiebedarf, wird zwangsläufig der Bedarf und Verbrauch von Ressourcen ansteigen, wobei es zu berücksichtigen gilt, dass bei steigender Nachfrage und sinkender Verfügbarkeit Krisen entstehen können. Die Konsequenzen unseres Handelns machen daher eine umgehende und entschlossene Umsetzung wirkungsvoller Maßnahmen erforderlich, um ein zukunftsorientiertes Bauwesen anzutreiben. Die Bedeutsamkeit des Bausektors sollte als großes Potenzial für positive Veränderungen verstanden werden.

BEDARF UND VERBRAUCH

Das Bauwesen ist von einer Vielzahl ressourcenintensiver Prozesse geprägt, wobei der Bedarf an Energie, Wasser und mineralischen Baurohstoffen besonders hervorzuheben ist. Dabei wird gem. Untersuchungen der EU ca. die Hälfte des gesamten Verbrauchs von Primärenergie und -rohstoffen und ein Drittel des Wasserbedarfs vom Bausektor benötigt.²⁵ Während der Bauphase bilden die Tief- und Rohbauarbeiten eine bedeutende Ressourcenintensivität ab, woraus resultiert, dass ein großer Anteil an Energie, Baustoffen und Wasser, die im Bauprozess aufgewendet wurden,

²¹ Vgl. Sobek 2021, S. 27

²² Baunetz 2010, S. 10

²³ VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH o.J.

²⁴ Anja Rosen 2021, S. V

²⁵ Vgl. Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union 2019, S. 5

in der Tragkonstruktion von Gebäuden enthalten sind – insgesamt rund 75 %.²⁶ Neben der Errichtungsphase ist die Nutzungsphase sehr energieintensiv – entgegenwirkende Energiesparmaßnahmen während des Gebäudebetriebs erfahren eine Einschränkung durch einen wachsenden Wohnflächenbedarf (Rebound-Effekt).

EMISSIONEN

Bei der globalen Betrachtung von Treibhausgasemissionen wird dem Bauwesen ein Anteil von fast 40 % zugeschrieben.²⁷ National ist der deutsche Bausektor für rund 14 % der CO₂-Emissionen verantwortlich (Stand 2018), wobei jene Emissionen für die Baustoffherstellung, Elektrizität und Fernwärme mit rund 14 % hinzukommen – diese werden allerdings dem Sektor der Industrie und Energiewirtschaft zugeordnet.²⁸ Gemäß dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung wird der größte Anteil an Emissionen mit ca. 75 % während der Nutzungs- und Betriebsphase von Gebäuden emittiert – wobei eine sektorübergreifende Betrachtung von der Grundstoffindustrie, über die Baumaterialherstellung, bis hin zu der Nutzungsphase eines Gebäudes durchgeführt wurde.²⁹

ABFALL

Die gegenwärtige Linearwirtschaft im Bausektor mit kurzen Lebenszyklen von Bauprodukten, sorgt für eine bedeutende Erzeugung von Abfall: Laut Umweltbundesamt entspricht die Abfallgruppe der Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Straßenaufbruch) 55,4 % des gesamten Brutto-Abfallaufkommens.³⁰ Dabei bilden mineralische Bauabfälle den überwiegenden Teil mit über der Hälfte der Bau- und Abbruchabfälle ab (Stand: 2020).³¹ Wie in Abb. 1 dargestellt werden mineralische Bauabfälle in die Abfallgruppen Boden und Steine (z.B. Bodenaushub), Bauschutt (z.B. Beton, Ziegel, Keramik), Straßenaufbruch (z.B. Schotter, Bitumen oder Teer), Bauabfälle auf Gipsbasis und Baustellenabfälle (z.B. Verpackungen, Holzreste) eingeteilt.

²⁶ Vgl. Stahel 2021, S. 40

²⁷ Vgl. Sobek 2021, S. 25

²⁸ Vgl. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung o.J.

²⁹ Vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2020, S. 14

³⁰ Vgl. Umweltbundesamt 2021

³¹ Vgl. Umweltbundesamt 2022a

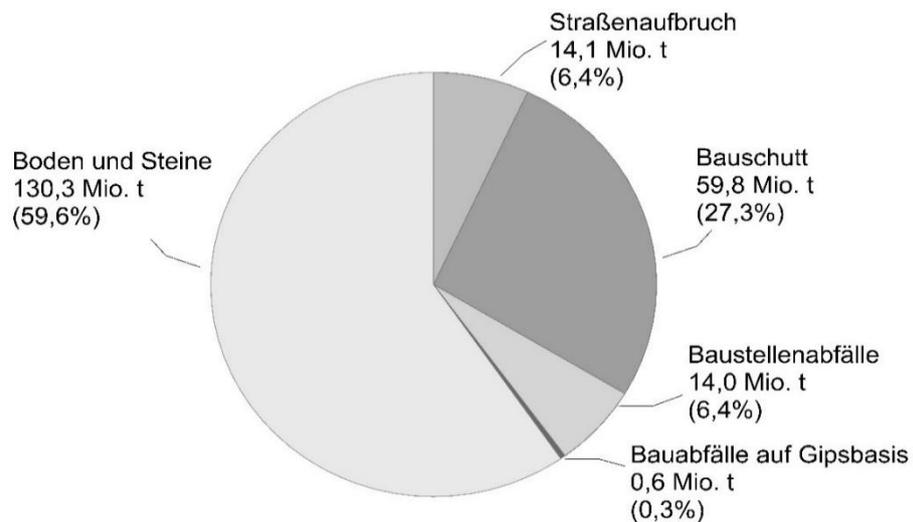


Abb. 1: Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle 2018 (in Mio. t)³²

Insgesamt weisen die hier dargestellten mineralischen Bauabfälle, mit Ausnahme der Abfälle auf Gipsbasis, hohe Verwertungsquoten zwischen 80 - 90 % auf³³ – was z.B. auf etablierte Aufbereitungsmaßnahmen von Bodenaushubmaterialien zur Weiterverwendung zurückzuführen ist. Bezüglich der Verwertungsquote ist anzumerken, dass hierbei neben der Aufbereitung zu Recycling-Baustoffen ebenso qualitätsabwertende Weiterverwendungen wie das Verfüllen von Gruben im Tagebau mit gewonnenen Aushubmaterialien inbegriffen sind.³⁴ Das steigende Abfallaufkommen der vergangenen Jahrzehnte führt gegenwärtig zu vollen Abfalldeponien und wachsende Entsorgungskosten.³⁵ Es zeigt sich, dass auch hinsichtlich der Erzeugung und im Umgang mit Abfallaufkommen wirksame Maßnahmen erforderlich sind.

2.1.4 ETABLIERTE PROZESSE, BAUWEISEN UND BAUSTOFFE

Ausgehend von Gesichtspunkten wie der historischen Entwicklung, den gegenwärtig vorliegenden Erkenntnissen über Wissenschaft und Technik und gesetzlicher Vorgaben, haben sich im Bauwesen eine Vielzahl von Prozessen, Bauweisen und -stoffen etabliert. Die Gründe dafür sind unterschiedlich: über Jahrzehnte bewährte Erfüllung von Qualitätsanforderungen durch Materialien, günstige Bezugspreise, kurzfristige Verfügbarkeiten bei großem Bedarf, (scheinbarer) Mangel an Alternativen usw. Schlussendlich wird das angebotene Produkt oftmals durch die Nachfrage bestimmt. In dieser Arbeit wird sich auf Etablierungen konzentriert, die für die Entwicklung von einer Linearwirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen relevant sein können.

³² Eigene Darstellung in Anlehnung an Umweltbundesamt 2021

³³ Vgl. Umweltbundesamt 2021

³⁴ Vgl. Rosen 2021c, S. 19

³⁵ Vgl. Hillebrandt und Seggewies 2021, S. 58

Es handelt sich somit nur um einen Ausschnitt aller tatsächlich stattfindenden Bauprozesse mit ihren Sekundärprozessen. Dabei gilt es bei der Betrachtung etablierter Bauweisen und -materialien zu berücksichtigen, dass sie meist über lange Zeiträume erforscht, weiterentwickelt und umgesetzt wurden, weshalb für viele ein großer Kenntnisstand besteht. Für das Anstreben zukunftsorientierter Bauweisen kann dieses Wissen unter Bezugnahme der Vor- und Nachteile eines etablierten „Produktes“ und seiner Auswirkungen als Basis für die Weiterentwicklung neuer Ansätze genutzt werden.

EINGESCHRÄNKTE LEBENSZYKLUSBETRACHTUNG UND EFFIZIENTER BETRIEB

Bei der Betrachtung von Planungsprozessen und Projektentwicklungen fällt auf, dass i.d.R. nur Ausschnitte des Lebenszyklus von Immobilien einbezogen werden. Neben der Betrachtung der Errichtungsphase, hat es sich etabliert, die energieintensive Nutzungsphase zu berücksichtigen. Was danach mit dem Objekt geschieht – ob Abriss oder Rückbau mit Verwertung – wird meist (noch) nicht beleuchtet und fließt somit zu diesem Zeitpunkt nicht in Kostenschätzungen oder -berechnungen ein. Für die Lebensdauer einer Tragkonstruktion wird ein Zeitraum von ca. 50 Jahren angenommen, während bei Außenhüllen je nach Bauart schon nach ca. 25 Jahren von Instandsetzungs- oder Ertüchtigungsmaßnahmen ausgegangen werden kann, um wachsenden, technischen Anforderungen gerecht zu werden.³⁶

Für einen möglichst energieeffizienten Gebäudebetrieb fanden neben gesetzlichen Vorgaben wie dem GEG, auch staatliche Förderungsprogramme Einzug ins Bauwesen. Sie sind in Planungsprozesse einzubeziehen und teilw. für Bauanträge nachzuweisen. Die Realisierung effizienter technischer Gebäudeausstattungen sowie die Vorgabe und Einhaltung von Jahres-Primärenergiebedarf und Transmissionswärmeverlust, z.B. durch den Nachweis geforderter Gebäudedichtheit, konnten etabliert werden. Eine Kostengegenüberstellung für tatsächlich eingesparte Energie während der Nutzungsphase und den Aufwendungen eines effizienten Gebäudebetriebs, der sich in der Baupraxis teilw. durch hoch technologisierte Gebäudeausstattungen oder zum Teil bedenkliche Dämmstoffe abzeichnet, ist gegenwärtig selten anzutreffen.

ABBRUCH UND RÜCKBAU

Beim Erreichen des Nutzungsendes von Gebäuden ist eine Entscheidung zu treffen, ob Abbruch- oder Rückbaumaßnahmen zur Ausführung kommen. Gegenwärtig ist häufig feststellbar, dass die Bauherrschaft die Auswahl eines Abbruchverfahrens auf ein Abbruchunternehmen überträgt. Die Entscheidung für Abbruch oder Rückbau ist

³⁶ Vgl. Hillebrandt und Seggewies 2021, S. 72

oftmals durch die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen geprägt. Diese setzt sich aus erforderlichem Personalaufwand, Gerätschaften und Sicherungen sowie Kosten für die Entsorgung zusammensetzen. Dabei ist die Einflussnahme verschiedener Faktoren zu berücksichtigen: z.B. allgemeine Objektmerkmale, Grundstücks- und Baustellenbedingungen sowie Konstruktionsart, Bauweise und Baustoffe.³⁷

Gegenwärtig hat sich für den Komplettabbruch von Gebäuden ein selektiver Abbruch mit Entkernung etabliert, bei dem sukzessive abgebrochen, sortiert und entsorgt wird. Somit wird eine Wiederverwertung von Abbruchabfällen ermöglicht. Im Vergleich zu konventionellem Abbruch ohne vorherige Entkernung, bei dem keine Separierung von Baustoffen angestrebt wird und enorme Entsorgungskosten resultieren, entsteht ein erhöhter Personal- und Zeitaufwand bei reduzierten Entsorgungskosten.³⁸ Weiter gesteigerte Verwertungsquoten für eine Wieder- oder Weiterverwertung sind durch Rückbau- oder Demontagearbeiten zu erreichen. So können bei einem selektiven Rückbau, bei dem „die unterschiedlichen Materialien vor dem Abbruch der Tragkonstruktion hochgradig sortenrein zurück- bzw. ausgebaut“³⁹ werden, Abbruchabfälle bestmöglich wiederverwertet werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Entscheidungsfindung, ob ein Abbruch oder Rückbau umgesetzt wird, im Zuge von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen besonders durch personelle und zeitliche Aufwendungen sowie die Höhe der Entsorgungskosten geprägt ist. In Anbetracht hoher Lohnkosten übersteigen diese oftmals die Entsorgungskosten, wodurch ein temporär komprimierter Abbruch bei möglichst reduzierten Kosten für Entsorgungen durch sortenreine Abfälle angestrebt wird.

VERANTWORTLICHKEIT FÜR ABFALL

Das Prinzip linearer Fertigungsgesellschaften, bei denen Rohstoffe gewonnen und für die Herstellung von kurzlebigen Produkten genutzt werden, lässt daraus in aller Regel ein imposantes und wachsendes Endprodukt entstehen: Abfall. Das Bauwesen ist von einer Vielzahl abfallproduzierender Prozesse geprägt, welche durch die Herstellung und Verarbeitung von Baustoffen, deren Lebensdauer und wirtschaftlichen Wiederverwendungspotenzialen entstehen. Das Ausmaß der Bauprozesse, die eine Abfallerzeugung herbeiführen und wie zuvor dargelegt, mehr als die Hälfte des gesamten Brutto-Abfallaufkommens ausmachen, bilden eine Kernfrage ab: Wie sind gegenwärtig Verantwortlichkeiten für produzierten Abfall geregelt?

³⁷ Vgl. Rosen 2021c, S. 21 f.

³⁸ Vgl. Rosen 2021c, S. 20

³⁹ Rosen 2021c, S. 20

Gegenwärtig reicht es i.d.R., den Besitz zu klären, denn mit dieser geht die Verantwortung für den Abfall einher. Wer zu der Erzeugung des Abfalls durch seine Tätigkeiten (Produktherstellung), Behandlungen oder Vermischen mit anderen Stoffen vermeintlich beigetragen hat, findet keine Berücksichtigung – die Aufgabe des Abfallmanagements wird an jene übertragen, die zum Zeitpunkt der Entsorgung und/oder Verwertung Besitzer/in sind.⁴⁰

WIEDER- UND WEITERVERWENDUNGEN VON BAUPRODUKTEN

Auf die Wieder- und Weiterverwendbarkeit von Bauprodukten haben diverse Faktoren Einfluss wie Materialzusammensetzung und -eigenschaften, Verbindung verschiedener Stoffe, Einsetzbarkeit des Bauproduktes sowie Trenn- und Abbaubarkeit. Mangelnde sortenreine Trennbarkeiten verhindern dabei oftmals Wieder- und Weiternutzungsprozesse. Außerdem ist es für die Prozesse der Mehrfachnutzung von Bedeutung, inwieweit ein Qualitätserhalt oder -verlust mit fortlaufender Zeit stattfindet – ob es sich also um eine Wieder- oder Weiterverwendung, bzw. um eine Wieder- oder Weiterverwertung handelt. Dabei wird derzeit das Recyclingpotenziale von Bauprodukten am Ende ihrer Lebensdauer, selten in die Planungsprozesse einbezogen,⁴¹ sondern wird erst im Zuge der tatsächlichen Rückbau-/Abbruchmaßnahmen relevant. Gegenwärtig werden nur „etwa 1 % aller in Neubauten eingesetzten Materialien wiederverwendet,⁴² was auf fehlende Rentabilität unter Berücksichtigung zusätzlich notwendiger Aufbereitungs- und Logistikmaßnahmen zurückgeführt werden kann. Bei der Betrachtung von Unternehmen, die eine Wieder- und/oder Weiterverwendung betreiben, zeichnet sich i.d.R. eine Spezialisierung ab. Neben der Konzentration vereinzelter Fachfirmen auf historisch wertvolle Baumaterialien, haben sich besonders Nachnutzungsprozesse und Aufbereitungsmaßnahmen für den großen Anteil mineralischer Bau- und Abbruchabfälle etabliert, bei denen durch Zerkleinerung verschieden große Gesteinskörnungen erzeugt und z.B. als Zuschlag bei der Betonherstellung oder als Tragschicht im Straßenbau genutzt werden – was einem Qualitätsverlust entspricht. Dabei ist die Zusammensetzung für die Kerndichte und Härte bedeutend für das Recyclingpotenzial.⁴³ Bei der Baustoffherstellung gilt es Vorgaben zu befolgen: wie hoch der Anteil wiederverwendeter- oder verwerteter Gesteinskörnungen sein darf und für welche Bauprodukte dies generell zulässig ist. So wird für die Stahlbetonherstellung durch die Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) empfohlen, diesen Anteil auf höchstens 45 % zu begrenzen, wobei sich

⁴⁰ Vgl. Stahel 2021, S. 36

⁴¹ Vgl. Heisel und Hebel 2021a, S. 115

⁴² Cortés und Vande Capelle 2021, S. 82

⁴³ Vgl. Hillebrandt und Seggewies 2021, S. 69

die Weiterverwendung nicht für alle Festigkeitsklassen von Betonen etabliert hat. National werden derzeit nur 0,5 % der aufkommenden und aufbereiteten Beton-Abfälle zur Herstellung von Recycling-Gesteinskörnungen für neuen Beton genutzt, EU-weit sind es rund 6 %.⁴⁴ Zur Weiterverwendung von Ziegelmauerwerk konnte sich ebenso eine Zerkleinerung zu Rezyklat etablieren, welches der Herstellung anderer Baustoffe dient. Der Verbund, der zwischen dem Ziegelmauerwerk und Putzen oder Mörtel hergestellt wurde, kann durch Aufbereitungsmaßnahmen sortenrein getrennt werden und es entsteht ein reiner Ziegelsplitt, welcher als Substrat für Dachbegrünungssysteme oder als Bodenaustauschmaterial genutzt wird. Ein Verbund mit synthetischen Dämmmaterialien verhindert hingegen i.d.R. eine Weiterverwendung, da Aufwendungen einer sortenreinen Trennung zu groß wären.⁴⁵

BAUWEISEN UND -STOFFE

Im Folgenden werden etablierte Bauweisen sowie eingesetzte Baustoffe näher beleuchtet. Dabei hat die Entwicklung im Bauwesen mit wachsenden technischen, wirtschaftlichen, ästhetischen und komfortbezogenen Anforderungen zu weitaus komplexeren Baustoffzusammensetzungen geführt. Ebenso haben sich die Verbindungstechniken von Bauweisen deutlich gewandelt, um der Schnellebigkeit einiger Bauprozesse gerecht werden zu können. So gibt es einstoffliche Konstruktionssysteme bspw. aus Stahl, die eine sortenreine Trennbarkeit ermöglichen. Der bedeutende Anteil wird jedoch durch mehrstoffliche Systeme abgebildet, bei denen eine Trennung in einzelne Werkstoffe nur mit großen Aufwendungen oder gar nicht möglich ist.

Besondere Beachtung gilt es sog. Verbund-/ Hybridmaterialien zu schenken, die aus mehreren Werkstoffen mit unterschiedlichen Eigenschaften bestehen und untrennbar verbunden wurden, wodurch sie andere Eigenschaften als in ihrer Grundform vorweisen können. Beispiele hierfür sind Beschichtungen, Imprägnierungen, Verklebungen oder Verfugungen, die Systemeigenschaften verändern, um bspw. Brandschutzanforderungen an Stahlbauteilen durch eine Beschichtung zu erfüllen.⁴⁶ Solche teilw. untrennbaren Verbindungen von Werkstoffen können entweder werkseitig bei der Bauproduktherstellung oder durch Arbeitsprozesse auf der Baustelle angefertigt werden. Weiterhin gilt es zu erwähnen, dass einige Bauprodukte aus der Vergangenheit Schadstoffbelastungen aufwiesen, über deren gesundheitliche Folgen für Mensch und Umwelt inzwischen Kenntnis besteht. Gesetzliche Vorgaben, um diese einzu-

⁴⁴ Vgl. Deilmann et al. 2016, S. 30

⁴⁵ Vgl. Hillebrandt und Seggewies 2021, S. 69

⁴⁶ Vgl. Heisel und Hebel 2021b, S. 106

dämmen wurden etabliert. Dennoch werden weiterhin Materialien eingesetzt, die Beeinträchtigungen für die Gesundheit hervorrufen und die bei Entsorgungsprozessen keiner Verwertung unterzogen werden, wie bspw. diverse Lacke und Lösungsmittel.

TRAGKONSTRUKTIONEN

Für die Ausbildung von Tragkonstruktionen können neben mineralischen Massivbauweisen aus Stahlbeton, Mauerwerken und Holz, auch Skelett- oder Tafelbauweisen aus Stahl oder Holz ausgeführt werden. Dabei weisen einstoffliche Konstruktionen häufig eine gute Trennbarkeit und Recyclingpotenzial auf.⁴⁷ Mineralische Konstruktionssysteme z.B. aus Beton, denen je nach statischen Anforderung Stahl, Bindemittel und Zuschlagstoffe zugesetzt, oder für einen notwendigen Verbund vermörtelt werden, machen eine sortenreine Trennungen nach dem Nutzungsende des Gebäudes schwieriger. Dabei macht Beton einen maßgebenden Anteil eingesetzter Baumaterialien aus (Stand 2010: ca. 40 %),⁴⁸ was sein etabliertes Vorkommen für Konstruktionssysteme zurückzuführen ist. Auch Gründungen und Kellergeschosse werden auf Grund statischer und bauphysikalischer Erfordernisse meist aus STB hergestellt.

In der Ausführung des Dachtragwerks, welches als Flach- oder Schrägdach ausgebildet werden kann, kommen neben Konstruktionsholz häufig Holzwerkstoffelemente (z.B. OSB-Platten) zum Einsatz, die auf Grund der enthaltenen Bindemittel schwer recycelt werden können. Daneben sind Dacheindeckung von Schrägdächern abzubilden, für die sich mineralische Materialien bspw. aus Tonziegeln etabliert haben. Auch Metaldächern sind zu erwähnen, die eine hohe Recyclingfähigkeit aufweisen.⁴⁹

ABDICHTUNGSSYSTEME

Abdichtungssysteme kommen vorwiegend im erdberührten Wand- und Deckenbereich, in Feucht- und Nassräumen, an Fenster- und Türelementen sowie beim Dach zum Schutz vor Feuchtigkeitseintritt zur Ausführung. Dabei bestehen sie je nach Anforderung zumeist aus verschiedenen mineralölbasierten bzw. synthetischen Materialien und werden i.d.R. in einem unlösbaren Verbund auf den zu schützenden Materialien aufgetragen, verklebt oder mechanisch daran befestigt. Die Abdichtungssysteme aus Bitumen oder Kunststoff werden häufig mehrlagig ausgeführt, durch Gewebeeinlagen aus Glasfaservlies oder Polyester verstärkt und können zusätzlich mit mineralischen oder synthetischen Granulaten abgestreut werden. Eine Rückgewinnung

⁴⁷ Vgl. Riegler-Floors und Hillebrandt 2021, S. 48

⁴⁸ Vgl. Deilmann et al. 2016, S. 22

⁴⁹ Vgl. Rosen 2021d, S. 111

des sortenreinen Konstruktionsmaterials oder des Abdichtungssystems in diesen Bereichen wird durch die Mehrstofflichkeit erschwert bis unmöglich.⁵⁰ Außerdem weisen ältere Abdichtungssysteme vermehrt gesundheitsgefährdende Schadstoffbelastungen auf, die bei Rückbau- und Abbruchmaßnahmen berücksichtigt werden müssen.

GEBÄUDEHÜLLE

Beginnend mit den Außenwänden wird auf das Prinzip einer einschaligen Fassade eingegangen, bei der das Konstruktionssystem mit einer außenliegenden Dämmebene versehen werden kann, auf der schlussendlich die Witterungsschicht (z.B. beschichteter Putz) ausgeführt wird. Ein so erzeugtes Wärmedämmverbundsystem (WDVS) zeichnet sich zumeist durch einen untrennbaren Verbund einer Vielzahl an Materialschichten aus, der eine sortenreine Rückgewinnung in Anbetracht wirtschaftlicher Prozesse unmöglich macht.⁵¹ Solch eine einschalige Fassade kann sich auch durch eine Dämmebene auf der Konstruktionsinnenseite abbilden, wobei andere Fügungstechniken ausführbar sind.

Ein weiteres etabliertes System, die Gebäudehülle in den Außenwandbereichen herzustellen, ist eine vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF), bei der ebenfalls die Dämmebene auf dem Konstruktionssystem zur Ausführung kommt. Mit Hilfe einer Unterkonstruktion wird dann die Witterungsschicht durch eine Luftschicht von der Dämmung getrennt. Als Witterungsschutz kann dabei eine Vielzahl an Materialien wie bspw. Metall, Faserzement, Holz usw. verwendet werden. Je nach Fügung der Materialien ist hier eine nahezu sortenreine Trennung bei einem Rückbau möglich.⁵²

Auch im Bereich der Dachkonstruktion ist eine Dämmebene erforderlich, die sich je nach Konstruktionsart z.B. durch eine Zwischensparrendämmung im Innenraum bei einem Schrägdach, oder durch eine außenliegende Dämmung bei Flachdächern abbildet. Letztere wird dabei durch eine bituminöse oder kunststoffbasierte Abdichtung geschützt. Mit dem wachsenden Interesse eines energieeffizienten Gebäudebetriebs ist die Bedeutsamkeit an Dämmmaterialien und einer hochleistungsfähigen Gebäudehülle gestiegen. Dabei sind sie mineralischen, synthetischen (erdölbasierten) oder natürlichen Ursprungs und bilden teilw. Verbundprodukte mit problematischen Materialzusammensetzungen ab oder können untrennbar mit anderen Materialien verklebt werden (z.B. bei WDVS).⁵³ Beispielhaft sind Dämmstoffe zu benennen, die Flammschutzmittel, also brandhemmende Inhaltsstoffe, enthalten und dadurch besondere Hürden für eine Verwertung und Entsorgung darstellen.

⁵⁰ Vgl. Hillebrandt und Seggewies 2021, S. 92

⁵¹ Vgl. Rosen 2021d, S. 109

⁵² Vgl. Riegler-Floors und Hillebrandt 2021, S. 49 f.

⁵³ Vgl. Deilmann et al. 2016, S. 25

Als Bestandteil der Gebäudehülle sind auch Fenster- und Türsysteme zu benennen, die durch Rahmen- und Konstruktionselemente aus Holz, Aluminium oder Kunststoff bestehen. Diese werden zum Witterungsschutz und teilw. aus ästhetischen Gründen mit Beschichtungen versehen. Die Kammern im Rahmensysteme aus Aluminium und Kunststoff sind ausgedämmt oder -geschäumt, was Schwierigkeiten für eine Trennbarkeit aufweist. Ebenso können Profil- und Glasdichtungen das Rückbaupotenzial beeinträchtigen, da diese teilw. problematische Inhaltsstoffe aufweisen, die beim Recycling zu berücksichtigen sind.⁵⁴

INNENAUSBAU

Auch im Bereich des Innenausbau gilt es etablierte Baumaterialien zu betrachten, um einen Überblick über die Vielzahl an gängigen Verbundwerkstoffen zu geben. So werden nichttragende Wandelemente i.d.R. als Trockenbauwände errichtet. Hierbei werden mehrere Schichten Gipsplatten beidseitig an einer Unterkonstruktion aus Stahl befestigt und der Hohlraum mit Dämmung ausgefüllt. Zusammen mit verputzten Innenwänden werden die Trockenbauwände häufig tapeziert und beschichtet. So entsteht eine mehrfache Schichtung von Baumaterialien, die mit der Nutzungszeit eines Gebäudes durch regelmäßige Erneuerungen weiter fortgeführt wird. In Feucht-, Nass- und Küchenbereichen werden die Wände mit Fliesen ausgestattet, wobei der verwendete Kleber sowie zementäre und dauerelastische Verfugungen jegliches Rückbaupotenzial i.d.R. verhindern. Abschließend gilt es den Bodenaufbau von Gebäuden zu betrachten, der sich durch eine Schichtung von Dämmung, Estrich und Bodenbelag abbildet. Hier ist zwischen schwimmend verlegtem und im Verbund hergestellten Estrich und Bodenbelag zu unterscheiden, was sich auf die Rückbaubarkeiten auswirkt.

2.2 KONSEQUENZEN EINES LINEAREN BAUWESENS

Nach der Betrachtung etablierter Bauprozesse gilt es anhand einhergehender ökologischer, ökonomischer und sozialer Auswirkungen abzubilden, inwieweit diese Chancen für menschliches Leben in der Zukunft gefährdet werden. Zu berücksichtigen gilt es, dass alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit im Einklang miteinander stehen und in ihrem ganzheitlichen Kontext betrachtet werden müssen. Dies wird durch die überschneidenden Bereiche, wie sie in Abb. 2 dargestellt sind, abgebildet.

Im Zusammenhang mit einem enormen Ressourcenverbrauch, gefördert durch das Bauwesen, wird häufig von einer anthropogenen Ausbeutung und Zerstörung der

⁵⁴ Vgl. Rosen 2021d, S. 110

Erde gesprochen,⁵⁵ bei der voraussichtlich für das Jahr 2022 global nachhaltig nutzbare Ressourcenvorkommen von 1,75 Erden verbraucht werden⁵⁶ – ein irreparables Schwinden der Bestände ist bei diesem Bedarf unabwendbar.

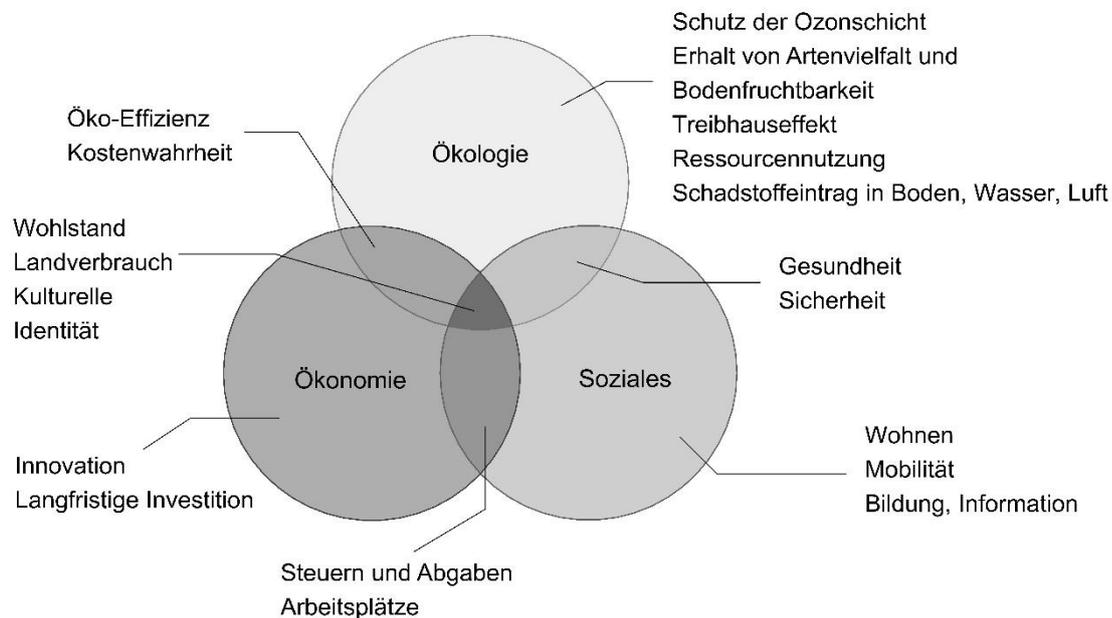


Abb. 2: Dimensionen der Nachhaltigkeit⁵⁷

2.2.1 ÖKOLOGIE

Die Abnahme gesellschaftlicher Anpassung und folgend wachsende anthropogene Eingriffe in die natürliche Umgebung unter Vernachlässigung erforderlicher Regenerationsprozesse, führt zu „irreparablen Folgen in der Ökosphäre“⁵⁸, die sich immer deutlicher abzeichnen. Dabei steigt das Ausmaß versiegelter Flächen auf Grund zunehmenden Flächenbedarfs und Bautätigkeit immer weiter an, was mit einem Verlust an Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt einhergeht. Gleichzeitig sorgt der enorme Verbrauch von Ressourcen und Energie im Bauwesen für erhebliche Emissionen. Seit der Industrialisierung ist eine ansteigende globale Durchschnittstemperatur von 1° C als Folge feststellbar und in Prognosen wird auf Grund der weiter fortlaufenden Erderwärmung ein Anstieg um deutlich mehr als 2° C mit verheerenden Szenarien vorausgesagt,⁵⁹ wobei in den Zielen des Pariser Klimaabkommens eine Begrenzung auf 1,5° C festgehalten wird. Dabei zeichnen sich die Auswirkungen der Erderwärmung durch dramatische Klimaveränderungen ab: Extremwetterereignisse wie z.B.

⁵⁵ Vgl. Heisel und Hebel 2021b, S. 11

⁵⁶ Vgl. Germanwatch e.V. 2021

⁵⁷ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Graubner und Hüske 2003, S. 4

⁵⁸ Graubner und Hüske 2003, S. 3

⁵⁹ Vgl. Umweltbundesamt 2014

Hitze- und Dürreperioden und andauernde enorme Niederschläge treten vermehrt auf. Neben der großen Bedeutung für die Ökologie, muss hierbei auch die Einflussnahme auf Ökonomie und Soziales berücksichtigt werden: Ein sich prägnant wandelndes Klima stellt neue Anforderungen an bewohnbare Lebensräume, Gesundheit, Bauobjekte, Ernten und Wohlstand.

In Zusammenhang mit dem dargelegten Ressourcenverbrauch, der besonders durch den Bausektor gefördert wird, zeichnet sich in aller Deutlichkeit deren Endlichkeit ab. Sich gegenwärtig hervorhebende Verknappungen von Rohstoffverfügbarkeiten lassen für zukünftige Generationen einen vollständigen Mangel prognostizieren und erfordern die Entwicklung alternativer Bauprozesse, -weisen und -stoffe. Natürlich vorkommender Sand sowie anorganische Metalle wie Zink und Kupfer, sind gute Beispiele.⁶⁰ Auch bei fossilen Roh- und Brennstoffen, die einst scheinbar unendlich galten, zeigen sich immer deutlicher Verknappungen – beispielhaft im Jahre 1973 im Zuge der Ölkrise. Neben globalen Auswirkungen auf die Ökologie, können lokale Einflüsse auf vorhandene Ökosysteme durch Grundwasserverschmutzungen und -absenkungen, Erschütterungen, Bodenverdichtungen sowie Lärm- und Staubbelastungen entstehen. Bau- und Abbruchabfälle, die durch Vermischungen häufig „Sondermüll“ sind und nicht abbaubare Schadstoffe enthalten können, nehmen ebenso maßgebenden Einfluss auf die Biosphäre und beschädigen Flora und Fauna.⁶¹

2.2.2 ÖKONOMIE

Die dargestellten anthropogenen Folgen auf die Ökosphäre gehen ebenso mit ökonomischen Auswirkungen für die Wirtschaftssektoren einher. Monetäre Aufwendungen werden einerseits für Umgang und Vorbeugung ökologischer Konsequenzen erforderlich, andererseits sind Anpassungskosten notwendig, um sich auf wandelnde Anforderungen einzurichten.

Die vermehrte Verknappung von Rohstoffen führt zwangsläufig zu Preissteigerungen im Erwerb. Bei globaler Betrachtung wird unter Berücksichtigung zunehmender Weltbevölkerung deshalb mehrfach „ein (Preis-) Kampf um Rohstoffe“⁶² prognostiziert. Besonders der Klimawandel als ökologische Konsequenz hat maßgebenden Einfluss auf die Ökonomie und bildet sich durch prägende monetäre Aufwendungen für den Bausektor ab. Ansteigende Außentemperaturen erfordern einen wachsenden Energiebedarf für die Kühlung von Bauobjekten. Daneben sind Investitionskosten für Bauprojekte zu beachten, die für den Umgang mit Extremwetterereignissen sowie indirekt

⁶⁰ Vgl. REMONDIS SE & Co. KG o.J.

⁶¹ Vgl. Graubner und Hüske 2003, S. 5

⁶² Anja Rosen 2021, S. 5

resultierenden Folgen wie bspw. Waldbränden einhergehen – die Widerstandsfähigkeit in Anbetracht wachsender Beanspruchung durch klimatische Bedingungen wird relevant.⁶³ Auch Deponiekosten sind unter Berücksichtigung erreichbarer Kapazitätsgrenzen bedeutend: mit zunehmender Knappheit von Abfalldeponieraum steigen Kosten für die Entsorgung.⁶⁴ Aufwendungen für Ausgleichsmaßnahmen, die durch die Eingriffe in die Ökosphäre erforderlich werden, sind vorzusehen. Es wird deutlich, dass ökonomische Auswirkungen für den Bausektor auf Grund seines Ressourcenverbrauchs, seiner energieintensiven und emissionsreichen Prozesse zukünftig ansteigen werden, was Adaptionstrategien für eine wandelnde Umgebung erfordert. Die Entwicklung und Förderung innovativer Verfahren, Technologien und Produkte, um die Adaption an eine sich klimatisch verändernde Umwelt zu ermöglichen, und den Verbrauch von Ressourcen und die Erzeugung von Emissionen zu reduzieren, nimmt einen wichtigen ökonomischen Stellenwert ein.

2.2.3 SOZIALES

Die ressourcen- und energieintensiven Verfahren des Bausektors, dessen Erzeugung von Abfall und Begünstigung des Klimawandels, sind auch gesellschaftlich bedeutsam. Dabei hat die Weiterentwicklung von Baumaterialien und -weisen dazu beigetragen, dass sich in Teilbereichen eine „Wegwerfgesellschaft“ ausbilden konnte, die eine lückenhafte Wertschöpfung akzeptiert, wenn eine Wiederverwendung von Materialien bspw. nicht ausreichend rentabel erscheint.⁶⁵ Entwicklungsländer sind von den sozialen Folgen stärker betroffen, da dort die mehrheitliche Rohstoffgewinnung stattfindet, während in Industriestaaten vermehrt die Wertschöpfung vollzogen wird. Das Resultat ist, dass sich in Entwicklungsländern stärker Konsequenzen wie Mangelversorgungen, Extremwetterereignisse, Verseuchung von Trinkwasser, Landvertreibungen und Menschenrechtsverletzungen sowie lokale Konflikte abzeichnen.

Toxische Belastungen und Emissionen aus den Verwertungsprozessen können gesundheitliche Beeinträchtigungen verursachen. Hervorzuheben ist das wandelnde Klima, welches maßgebenden Einfluss auf die Weltbevölkerung nimmt: zunehmende Treibhausgas- und Feinstaubbelastungen, die Zerstörung der schützenden Ozonschicht und Extremwetterereignisse beeinflussen das Leben der Menschen. Es wird deutlich, dass Adaptionen von Verhaltensweisen erforderlich werden, um die zunehmenden Auswirkungen von Klimawandel, Ressourcenknappheit und Abfallaufkommen bewältigen zu können.

⁶³ Vgl. klimafakten.de 2015

⁶⁴ Vgl. Hillebrandt 2021b, S. 49

⁶⁵ Vgl. van Assche 2021, S. 156

2.3 GESETZLICHE VORGABEN: UMWELTSCHUTZ, BAUPRODUKTE UND ABFALL

Um im Bauwesen eine Entwicklung der gegenwärtigen Linearwirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft umsetzen zu können, ist die Beleuchtung gesetzlicher Vorgaben bedeutend. Insgesamt ist feststellbar, dass diese oftmals durch einzuhaltende Grenzwerte mit Bezug auf die Ökologie definiert werden – die ganzheitliche Betrachtung von Nachhaltigkeit und die gegenseitige Einflussnahme der Komponenten ist dadurch jedoch schwer abbildbar.⁶⁶

VORGABEN ZU UMWELT- UND RESSOURCENSCHUTZ

Um den Auswirkungen entgegenzuwirken und dem Klimaabkommen von Paris (2015) gerecht zu werden, bestehen auf europäischer und nationaler Ebene Klimagesetze. Das Europäische Klimagesetz zeigt dabei das Erfordernis wirksamerer Ziele und Klimaschutzmaßnahmen auf, wodurch die EU sich zu einer „Gesellschaft [...] wandeln soll, in der im Jahr 2050 keine Netto-Treibhausgasemissionen mehr freigesetzt werden und das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung abgekoppelt ist.“⁶⁷ Im Bundesklimaschutzgesetz (KSG) werden nationale Klimaschutzziele mit vorgegebenen Jahresemissionen der Wirtschaftssektoren konkretisiert. Demnach soll bspw. im Bereich „Gebäude“ zwischen 2020 und 2030 eine CO₂-Minderung von fast 50 % umgesetzt werden.⁶⁸

Im Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess III) werden Maßnahmen für eine nachhaltigere Entnahme natürlicher Ressourcen angeführt, um diese zu reduzieren. Durch einen verantwortungsbewussten Umgang, die Entwicklung und Fortschreibung von Ressourceneffizienz und das Aufzeigen globaler Konsequenzen wird eine Sicherung natürlicher Lebensgrundlagen angestrebt. Zu den Zielen gehört es, Wirtschaft zukunftsorientiert zu stärken, sodass ihr Wachstum nicht von Ressourceneinsatz abhängig ist und Umweltbelastungen gesenkt werden.⁶⁹ Durch gesetzliche Vorgaben der Bundesregierung sollen gesteigerte Gesamtrohstoffproduktivitäten über ganze Lebenszyklen umgesetzt werden. Dazu gehört die Förderung von Kreislaufwirtschaft sowie einer Produktverantwortung zur Vermeidung von Abfall.⁷⁰

Die Energieeffizienz von Gebäuden wird ebenso als Teil des Ressourcenschutzes gesehen, weshalb Vorgaben durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) festgelegt sind. Dabei soll „im Interesse des Klimaschutzes, der Schonung fossiler Ressourcen

⁶⁶ Vgl. Graubner und Hüske 2003, S. 10

⁶⁷ Vgl. Abs. 2 S. 1 Europäisches Klimagesetz.

⁶⁸ Vgl. Anlage 2 (zu § 4) KSG.

⁶⁹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz o.D.

⁷⁰ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit 2020, S. 14–16

und der Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten [...] eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung⁷¹ ermöglicht werden. Zur Umsetzung werden Eigentümern gesetzliche Vorgaben gemacht, die sich z.B. auf Dichtheit, Wärmeschutz und -rückgewinnung sowie Effizienz technischer Anlagen eines Gebäudes und den Gesamtenergiebedarf beziehen.

VORGABEN ZU BAUPRODUKTEN

Bauprodukte, die sich auf Grundanforderungen von Gebäuden auswirken und zur Vermarktung in der Europäischen Union vorgesehen sind, unterliegen der Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO), sofern für sie entsprechende EU-Normen und eine Europäische Technische Bewertung vorliegen.⁷² Darin wird der Hersteller u.a. dazu verpflichtet, eine Leistungserklärung über die Erfüllung wesentlicher technischer Anforderungen zu erstellen sowie eine CE-Kennzeichnung auf dem Produkt anzubringen,⁷³ um Konformität für Gesundheit, Sicherheit und Umweltschutz zu bestätigen. Zu den Grundanforderungen von Gebäuden gehört es gem. der Verordnung, dass Gefahren aus der Errichtung, Nutzung und dem Abriss vermieden werden müssen und sich nur eingeschränkt auf die Umwelt auswirken dürfen. Für das Bauwerk sowie einzelne Baustoffe wird eine Wiederverwendung und Recyclingfähigkeit nach dem Abriss vorausgesetzt.⁷⁴

Weiterhin sind Normen und Richtlinien zu benennen, welche bedeutende Vorgaben für Bauprozesse abbilden, da sie zumeist als aaRdT gelten, deren Umsetzung jedoch grundsätzlich freiwillig ist, sofern nicht durch ein Gesetz oder eine EU-Richtlinie auf sie verwiesen wird.⁷⁵ Sie bieten Handlungsempfehlungen und können als Vertragsbestandteile aufgenommen werden. So werden in Verfahrens-, Produkt- und Prüfnormen Vorgaben dargelegt, die sich auf Materialspezifikationen, Eignung von Baustoffarten für gewisse Einsatzbereiche sowie Bauweisen und -prozesse beziehen. Weiterhin werden heranzuziehende Prüfverfahren abgebildet. Wird davon abgewichen, sind Konformitäten durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen oder Zustimmungen im Einzelfall nachzuweisen.⁷⁶

⁷¹ § 1 Abs. 2 S. 1 GEG.

⁷² Vgl. Art. 1-4 EU-BauPVO.

⁷³ Vgl. Art. 11 Nr. 1 EU-BauPVO.

⁷⁴ Vgl. Anhang I, Nr. 3, 6, 7a EU-BauPVO.

⁷⁵ Vgl. Deutsches Institut für Normung e. V. o.J.

⁷⁶ Vgl. Heisel et al. 2021, S. 98 f.

VORGABEN ZU ABFALL- UND KREISLAUFWIRTSCHAFT

Für die Betrachtung des Abfall- und Kreislaufwirtschaftsrechts sind in Abb. 4 die verschiedenen Ebenen mit ihren gültigen Gesetzen und Regelwerken dargestellt. Übergeordnet ist dabei die Abfallrahmenrichtlinie vorzufinden, die Vorgaben zum Umgang mit Abfällen in der Europäischen Union festlegt, um Umweltauswirkungen zu reduzieren und Ressourceneffizienz zu fördern. Darin werden bspw. grundlegende Begrifflichkeiten definiert und erläutert, z.B. dass die Abfalleigenschaft damit endet, dass diese Stoffe „Verwertungsverfahren [...] durchlaufen haben und spezifische Kriterien erfüllen,“⁷⁷ z.B. das Bestehen einer Nachfrage dafür. Für Bewirtschaftungs- und Vermeidungsmaßnahmen wird in der Richtlinie folgende Abfallhierarchie vorgegeben:

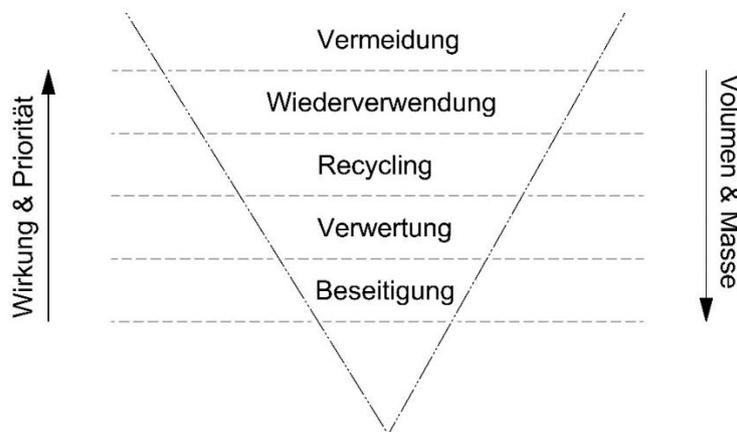


Abb. 3: Abfallhierarchie mit Prioritätenreihenfolge gem. AbfRRL⁷⁸

Wie in Abb. 3 sichtbar wird, nimmt die Vermeidung von Abfall die höchste Priorität in der Abfallhierarchie ein, da die Wirkung davon auf Umwelteinflüsse am größten ist. Möglich wird dies bspw. durch eine verlängerte Lebensdauer von Gebäuden oder Bauteilen. Ist eine Abfallvermeidung nicht möglich, werden absteufend eine Wiederverwendung (bei gleichbleibender Qualität), ein Recycling (ggf. unter Qualitätsverlust) oder eine sonstige Verwertung z.B. durch eine energetische Nutzung als Brennstoff angegeben. Mit absteigenden Hierarchiestufen nimmt das Abfallvolumen weiter zu. Auf Grund verheerender Umweltschäden ist deshalb eine Beseitigung nur akzeptabel, wenn keine vorangegangene Bewirtschaftungsmaßnahmen möglich ist.

⁷⁷ Art. 6 Abs. 1 AbfRRL.

⁷⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an Art. 4 Abs. 1 AbfRRL.

Außerdem ist die Herstellerverantwortung zu erwähnen, die in der AbfRRL beschrieben wird, um wachsendes Interesse an Recycling- und Wiederverwendungspotenzialen bei der Herstellung zu fördern.⁷⁹ Darin sind auch Zielvorgaben für 2020 dargestellt: 50 % der gesamten Abfallmasse sind durch Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling zu erhalten, während 70 % von nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen einer Vorbereitungen zur Wiederverwendung, Recycling oder sonstiger stofflicher Verwertung unterzogen werden sollen.⁸⁰

Das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, sog. Kreislaufwirtschaftsgesetz, setzt diese Themen auf nationaler Ebene um. Dabei soll die Kreislaufwirtschaft noch deutlicher auf Ressourcenschonung und Schutz von Umwelt und Mensch ausgerichtet werden.⁸¹ Außerdem wird der Abfallbegriff sowie Verwertungsmaßnahmen weitergehend ausgearbeitet: eine stoffliche Verwertung ist stets einer energetischen vorzuziehen.⁸²

Auf nationaler Ebene gibt es zudem die Abfallverzeichnisverordnung (AVV), die neben Abfallbezeichnungen auch die Gefährlichkeit unter Berücksichtigung des KrWG angibt – wobei Abfallschlüssel vergeben werden, die der Entscheidung über Verwertung oder Beseitigung dient.⁸³

Auch die „Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung“ (sog. Mantelverordnung) soll 2023 auf Bundesebene in Kraft treten. Dadurch wird ein Boden- und Grundwasserschutz sichergestellt, Herstellung und Einbau von Ersatzbaustoffen gefördert und somit die Ziele des KrWG verstärkt verfolgt.⁸⁴ Darin wird sich auf verschiedene Ersatzbaustoffe bezogen, wobei der Anteil mineralischer Bau- und Abbruchabfälle die als Rezyklate verwendet werden, großen Einfluss nimmt. Zum Schutz des Bodens werden „Anforderungen an die Herstellung und den Einbau mineralischer Ersatzbaustoffe sowie an die Verwertung von Materialien in Verfüllungen [...] erstmalig bundeseinheitlich und rechtsverbindlich“⁸⁵ aufgestellt. Die ebenfalls enthaltene Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) behandelt die Bewirtschaftung von Bau- und Abbruchabfällen,⁸⁶ wonach eine strikte Trennung verschiedener Abfallfraktionen stattfinden muss. Auf Landesebene gibt es neben dem Landes-Kreislaufwirtschaftsgesetz (angelehnt an KrWG), noch technische Regelwerke der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall

⁷⁹ Vgl. Art. 8 Abs. 1 AbfRRL.

⁸⁰ Vgl. Art. 11 Abs. 2a, 2b AbfRRL.

⁸¹ Vgl. § 1 Abs. 1 KrWG.

⁸² Vgl. § 8 Abs. 2 Nr. 2 S. 2 KrWG.

⁸³ Vgl. § 1 Nr. 1, 2 AVV.

⁸⁴ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz o.J.

⁸⁵ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz o.J.

⁸⁶ Vgl. § 1 Abs. 1 Nr. 2 GewAbfV.

(LAGA), die Bau- und Abbruchabfälle für Beseitigung und Verwertung einstufen. Da es sich nicht um gesetzliche Vorgaben handelt, sind diese für weitere Untersuchungen in diesem Kontext nicht relevant. Abschließend sind noch Abfallsatzungen zu erwähnen, die auf kommunaler Ebene ein Regelwerk für Abfall darstellen.

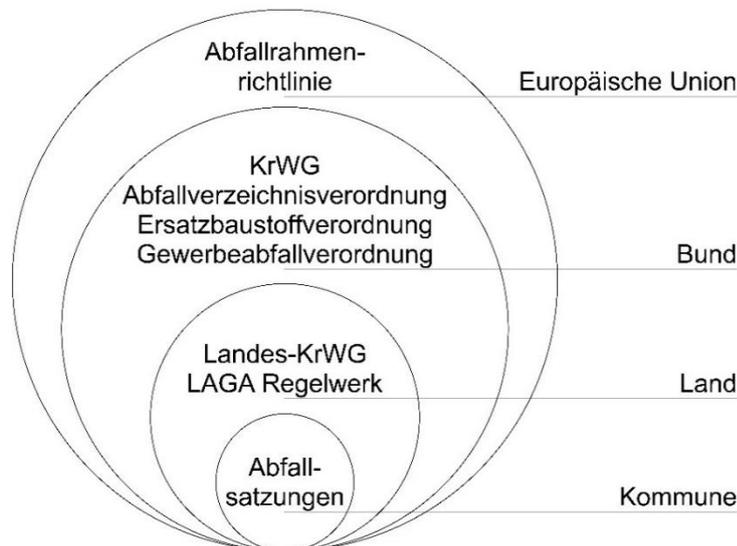


Abb. 4: Ebenen des Abfallrechts mit Relevanz für Rückbau u. Recycling⁸⁷

2.4 ZWISCHENFAZIT

Die betrachtete Ausgangssituation im Bauwesen unter Berücksichtigung etablierter Bauprozesse, -weisen und -stoffe, die von enormem Energie- und Ressourcenbedarf geprägt ist, trägt durch Treibhausgasemissionen unverkennbar zu dramatischen Umweltauswirkungen bei. Unterstützt wird dies durch die bedeutenden Abfallmengen, die jährlich durch den Bausektor produziert werden und zumeist einer Deponierung oder mindestens einem Qualitäts- und Wertverlust unterliegen. Neben klimatischen Auswirkungen mit dramatischen Zukunftsprognosen, zeichnen sich unverkennbare Verknappungen und Mangelerscheinungen von Ressourcen ab, die verdeutlichen: Handeln, Wirken und Verhalten wie bisher unter Bezugnahme von Ökologie, Wirtschaft und Gesellschaft sind nicht mehr vertretbar. Neben fehlenden Rohstoffen für gegenwärtig etablierte Bauweisen, die eine Adaption fordern, entsprechen die vorliegenden Gegebenheiten keineswegs einer angestrebten nachhaltigen Entwicklung für künftige Generationen. Dabei bildet die vorliegende Gesetzeslage konkrete Ansätze für eine Eindämmung der anthropogenen Auswirkungen vorgegeben. Ob und inwieweit diese gesetzlichen Vorgaben ausreichend und förderlich für ein Bauen der Zukunft sind, werden im Kapitel 3.3.4 näher untersucht.

⁸⁷ Eigene Darstellung in Anlehnung an Rosen 2021c, S. 17

3 KREISLAUFGERECHTES BAUEN – PARADIGMENWECHSEL FÜR DAS BAUEN DER ZUKUNFT

Bei dem Blick auf ein Bauwesen der Zukunft zeichnet sich auf Grund gegenwärtiger Umweltproblematiken mit schwindenden Ressourcen die Dringlichkeit einer deutlichen Wende mit weitreichender Veränderung ab. In dieser wissenschaftlichen Arbeit wird sich auf den zukunftsorientierten Ansatz eines kreislaufgerechten Bauens konzentriert, der von Fachleuten vielmals die Bezeichnung „Paradigmenwechsel in der Bauwirtschaft“⁸⁸ erhält. Dabei hat der Begriff der Kreislaufwirtschaft in Teilen auch schon gesetzliche Verankerung erfahren. Es handelt sich um eine Abkehr von vorliegenden linearen Wirtschaftsprozessen und einer Zuwendung eines Wirtschaftens in Kreisläufen. Durch die Berücksichtigung aller einflussnehmenden Teilprozesse, inkl. ihrer Materialströme und eine Reduzierung bzw. Vermeidung von Verlusten,⁸⁹ ist insgesamt eine unendliche Werterhaltung angestrebt. Zusätzlich wird bei einem kreislaufgerechten Bauwesen eine nutzbare Entwicklungsmöglichkeit in bereits eingebauten Ressourcen⁹⁰ und deren Wiederverwendung gesehen. Welche Kriterien es für die Umsetzung dieser zukunftsorientierten Bauprozesse zu berücksichtigen gilt und inwieweit Desiderate und Potenziale in derzeit gültigen gesetzlichen Vorgaben zu sehen sind, wird nachfolgend beleuchtet.

3.1 IN KREISLÄUFEN DENKEN

Ein Denken in Kreisläufen wird von den Grundprinzipien der Natur abgeleitet, bei denen sich natürliche Materialien nach ihrem Bestehen in ihre Grundstoffe zersetzen und erneut Bestandteil von Kreisläufen werden. Es liegt ein sich stetig wiederholender Ablauf vor, bei dem vorhandene Potenziale wiederholt aufgenommen, genutzt und weitergeführt werden, ohne Defizite oder negativen Einfluss auf die ökologische Umwelt zu nehmen.⁹¹ Es handelt sich um ineinandergreifende Prozesse mit gegenseitiger Beeinflussung, die zum Verständnis eine ganzheitliche Betrachtung erfordern. Der Ansatz des kreislaufgerechten Denkens setzt voraus, dass lineare Wirtschaftsprozesse adaptiert werden, um sich von einer gegenwärtigen bedenklichen Wegwerfgesellschaft, hin zu einer zukunftsorientierten Kreislaufwirtschaft entwickeln zu können. Dazu ist es erforderlich, dass gesellschaftliches Handeln nicht nur in wirtschaftlichen Abläufen durch einen bewussten Umgang mit der Umwelt geprägt wird, sondern sich ein systemisches, vorausschauendes Denken in Kreisläufen entwickelt.

⁸⁸ Heisel und Hebel 2021b, S. 13

⁸⁹ Vgl. Heisel und Hebel 2021b, S. 46

⁹⁰ Vgl. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. o.J.

⁹¹ Vgl. Stahel 2021, S. 33 ff.

3.2 GANZHEITLICHE LEBENSZYKLUSBETRACHTUNG VON GEBÄUDEN

Um den Ansatz des kreislaufgerechten Denkens im Bauwesen umzusetzen, ist es erforderlich, dass Bauobjekte mit ihrem vollständigen Lebenszyklus betrachtet werden. Wie in Abb. 5 gilt es dazu neben der Entwicklungs-, Planungs-, Realisierungs- und Betriebsphase, ebenso die Abbruch- und Rückbauphase dauerhaft einzubeziehen. Im Sinne einer kreislaufgerechten Abfolge sind nach der möglichst langen Nutzung, die in der Rückbau- und Abbruchphase freigegebenen Güter möglichst wieder als Ausgangsstoff neuer Zyklen von Gebäuden anzusehen (Urban Mining-Prinzip).

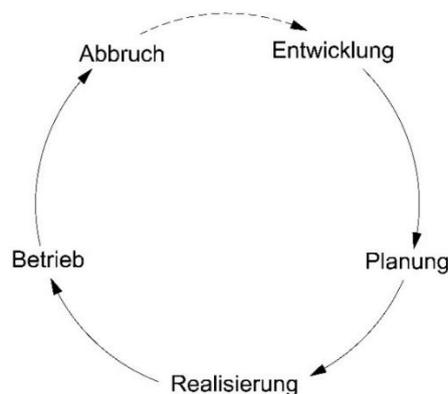


Abb. 5: Kreislaufgerechter Lebenszyklus von Gebäuden ⁹²

Eine eingeschränkte Objektbetrachtung mit Ausschluss von Teilprozessen, wie es für Gebäude bisher üblich ist, indem in der Planungsphase ein effizienter Betrieb, aber keine Rahmenbedingungen für Abbruch und Rückbau bedacht werden, führt dazu, dass Potenziale für Um-, Wieder- und Weiternutzungsmaßnahmen unberücksichtigt bleiben – ebenso wie der Umgang mit zwangsläufig entstehenden Abfallprodukten. Für die Umsetzung einer ganzheitlichen Lebenszyklusbetrachtung ist die Projektentwicklungs- und Planungsphase von Bedeutung, in der eine umfangreiche Analyse erforderlich wird, die das Gebäude für seine vollständige Lebensdauer mit allen essenziellen Bauprodukten sowie potenziellen Um- und Weiternutzungsmöglichkeiten abbildet. Dafür sind nach dem Ansatz einer kreislaufgerechten Betrachtung, selektive Rückbaumaßnahmen zu planen, durch die eine höchstmögliche Werterhaltung von Bauteilen und -produkten gewährleistet werden kann. Anzumerken ist, dass es derzeit bereits Lebenszyklusanalysen in Planungsprozessen gibt, in denen mit Ökobilanzierungen die Umweltauswirkungen abgebildet und teilw. auch die Kosten des gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden. Allerdings unter Einbeziehung linearer

⁹² Eigene Darstellung in Anlehnung an Helmus und Kesting 2021, S. 33

Prozesse bis zum Abbruch – Recyclingpotenziale und ggf. resultierende Gewinne, die bspw. durch Rückbau und Wiederverwendung von Bauprodukten generiert werden können, sind bisher kein Bestandteil davon.⁹³

Es wird deutlich, dass die vorausschauende Planung unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus die Basis für eine mögliche Kreislaufgerechtigkeit abbildet, was eine deutliche Erweiterung der bisherigen Planungsphase bedeutet. Kriterien für eine kreislaufgerechte Bauweise müssen schon zu diesem Zeitpunkt in ihren Grundzügen durchdacht werden und im Planungsprozess zur Anwendung kommen. Die Vorteile, die aus dieser ganzheitlichen Betrachtungsweise resultieren liegen darin, dass Stoffströme aller Teilprozesse und ihre gegenseitige Beeinflussung einbezogen werden. Dadurch ist ein möglichst langer Erhalt der Bausubstanzen und -produkte möglich, da angestrebte Um-, Wieder- und Weiternutzungs- und -verwertungspotenziale in Planungs- und Überwachungsprozesse einbezogen werden können.⁹⁴ Dafür ist es erforderlich, End-of-Life-Szenarien einzelner Bauteile sowie für das gesamte Gebäude regelmäßig zu analysieren und durch Instandhaltungsmaßnahmen möglichst zu verlängern.⁹⁵ Weiterhin führt die umfassende Lebenszyklusbetrachtung dazu, dass bei der Entwicklungs- und Planungsphase eines Bauobjektes nicht mehr nur reine Investitionskosten, sondern auch Umbau- und Rückbaupotenziale und eventuelle Gewinne daraus berücksichtigt werden, was neben ökologischen Vorteilen auch aus wirtschaftlichen Gründen einen Antrieb von kreislaufgerechtem Bauen bedeuten könnte.

3.3 GESCHLOSSENE KREISLÄUFE IM BAUWESEN

Um das Prinzip geschlossener Kreisläufe im Bauwesen betrachten zu können, gilt es vorab die gesetzlich verankerte (Abfall- und) Kreislaufwirtschaft abzubilden und zu prüfen, inwieweit diese dem Verständnis eines kreislaufgerechten Bauens entspricht. Es ist feststellbar, dass hier eine Perspektive „vom Abfall her“ eingenommen wird, wonach er priorisiert vermieden oder einer stofflichen Wieder- oder Weiterverwendung oder -verwertung unterzogen werden soll – u.a. aus wirtschaftlichen Gründen bleibt allerdings auch die energetische Verwertung möglich. Dabei ist in Abfallprodukten das Potenzial zu sehen, daraus Sekundärrohstoffe herzustellen, sie dadurch Stoffkreisläufen wieder zuzuführen und zu einer Schonung von Ressourcen beizutragen.⁹⁶ Allerdings kann bei energetischen Verwertungsprozessen oder Deponierungen bestenfalls Energie gewonnen werden. Insgesamt zeigt sich, dass hierbei lediglich eine Konzentration auf das Endprodukt und die dadurch beeinflussten Stoffkreisläufe

⁹³ Vgl. Schneider 2021, S. 130

⁹⁴ Vgl. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. o.J.

⁹⁵ Vgl. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. o.J.

⁹⁶ Vgl. Umweltbundesamt 2020, S. 16

stattfindet, wobei versucht wird „am Ende der Nutzungsphase den Kreislauf zu schließen und dadurch Abfall zu reduzieren, [anstatt ihn] durch Innovation und Gestaltung bereits am Anfang des Lebenszyklus [zu] verhindern.“⁹⁷ Ein umfassendes Verständnis einer Kreislaufwirtschaft, welches alle Materialströme als geschlossenes System abbildet, Verluste vermeidet und den gegenwärtigen Auswirkungen menschlichen Wirtschaftens vorbeugt, ist nicht darunter zu verstehen.

Im Folgenden wird deshalb das Prinzip der Circular Economy beleuchtet, welche auf den Grundlagen von Cradle to Cradle basiert. Sie bildet eine ganzheitlichere wirtschaftliche Betrachtungsweise ab, indem aus bisher linearen Prozessen geschlossene Kreisläufe entwickelt werden. Sie dient als Vorbild, weshalb der Begriff „Kreislaufwirtschaft“ synonym dazu verwendet wird. Das Prinzip geschlossener Kreisläufe wird im weiteren Verlauf auf das Bauwesen übertragen – kreislaufgerechtes Bauen wird betrachtet. Mit seinem Grundprinzip, dass Gebäude, ihre Bauteile und -materialien so geplant werden, dass sie höchstmögliche Wieder- und Weiterverwendungs- bzw. Verwertungsprozesse durchlaufen, sollen demnach Verluste in Bauprozessen maximal reduziert werden. Dabei werden auch Bestandsbauten mit ihren enthaltenen Bauteilen und -materialien einbezogen.

3.3.1 CRADLE TO CRADLE – IDEALE KREISLÄUFE ALS BASIS DES KREISLAUFGERECHTEN BAUENS

Mit der Betrachtung kreislaufgerechter Prozesse wurde aus dem vorangegangenen linearen Prinzip „Cradle to Grave – von der Wiege zur Bahre“, welches auf eine Ressourcengewinnung und -nutzung zumeist die Entsorgung (das Grab) folgen lässt, das Cradle to Cradle-Prinzip (C2C) entwickelt. „Von der Wiege zur Wiege“⁹⁸ bildet mit der Betrachtung zweier getrennt voneinander ablaufender Kreisläufe, die sich auf Molekularebene auf die Nährstoffe von Materialien konzentrieren, die Grundlagen des Konzeptes der Circular Economy ab.

PRINZIP DER ZWEI KREISLÄUFE

Nach dem C2C-Prinzip werden zwei geschlossene Kreisläufe unterschieden, wie in Abb. 6 dargestellt: den biologischen und den technischen Kreislauf. Biologische Nährstoffe entstammen der Biosphäre und können in reiner Form dorthin zurückgeführt werden – durch die vollständige Abbaubarkeit von Materialien und Produkten zu Ma-

⁹⁷ Heisel und Hebel 2021b, S. 13

⁹⁸ Braungart und McDonough 2014, S. 134

terialfraktionen. Technische Nährstoffe entstammen der menschengemachten Technosphäre, die durch industrielle Prozesse entstanden ist. Sie werden im technischen Kreislauf geführt und sind so konzipiert, dass sie stets dorthin zurückgeführt werden können, wobei ein dauerhafter Werterhalt bzw. teilw. eine Wertsteigerung durch eine Aufbereitung umgesetzt werden.⁹⁹ Um die Funktionalität und Produktivität der beiden Kreisläufe sicherzustellen, ist ihre Reinheit bedeutend, weshalb es eine Vermischung von biologischen und technischen Nährstoffen zu vermeiden gilt.¹⁰⁰

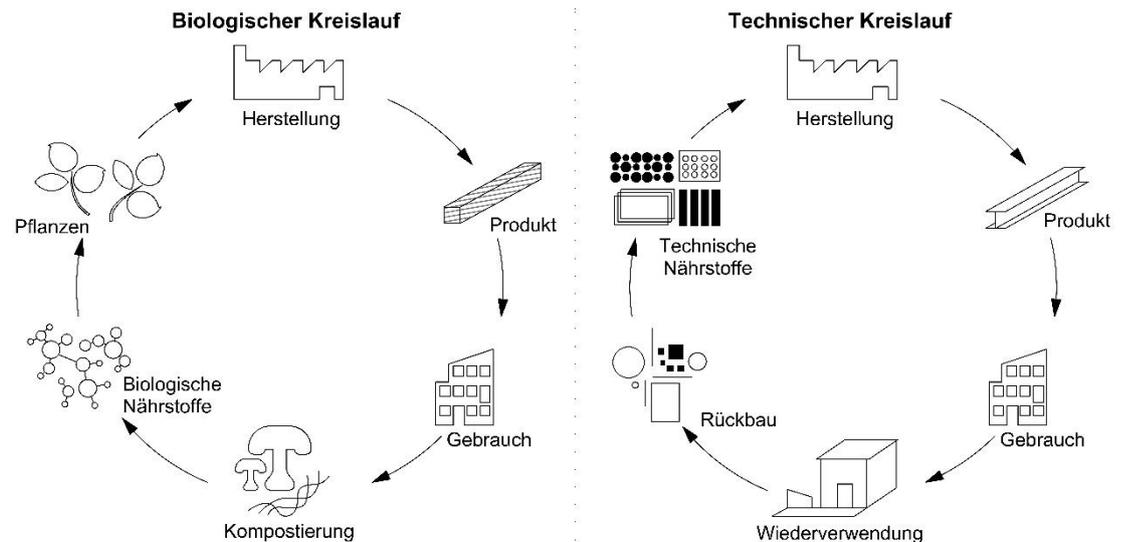


Abb. 6 Prinzip des biologischen und technischen Kreislaufs¹⁰¹

NEUES VERSTÄNDNIS VON KREISLÄUFEN, ABFALL UND EIGENTUM

Nach den Ansätzen von C2C wird eine ganzheitliche Kreislaufwirtschaft durch die „potenziell unendliche Zirkulation von Materialien und Nährstoffen in Kreisläufen“¹⁰² angestrebt, die keinerlei Nährstoffverluste abbildet. Jegliche Herstellung von nicht weiterverwertbarem Abfall soll vermieden werden. Dies bedarf einer umfassenden Betrachtungsweise der Produktlebenszyklen und dem Verständnis dafür, dass die Grundlagen der Abfallvermeidung in der Entwicklungs- und Planungsphase entstehen: durch den Einsatz kreislauffähiger, umweltfreundlicher und werterhaltender Materialkomponenten, die sich so zurückgewinnen lassen, dass sie den Kreisläufen wieder zugeführt werden können - entsprechend dem Grundsatz „Abfall ist Nahrung“¹⁰³. Um dies umzusetzen, wurde das Verständnis der gegenwärtig verfolgten Öko-Effizienz, die sich durch Verminderung und Recycling abbildet und somit zur Reduzierung

⁹⁹ Vgl. Braungart und McDonough 2014, S. 134 ff.

¹⁰⁰ Vgl. Braungart und McDonough 2014, S. 136 f.

¹⁰¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Hebel et al. 2022, S. 18

¹⁰² Münger 2021, S. 24

¹⁰³ Braungart und McDonough 2014, S. 121

des ökologischen Fußabdrucks (bedingt durch anthropogene Umweltbelastungen) beiträgt, weitergedacht. Nach dem Ansatz „>Weniger schlecht<< ist nicht gut“¹⁰⁴ reicht es für die Bewältigung vorliegender Umweltprobleme nicht aus, bspw. den Schadstoffausstoß und die Ressourcenentnahme zur Herstellung von Produkten zu reduzieren. Durch wirtschaftliches Handeln nach dem C2C-Prinzip soll der Mensch mit seinem ökologischen Fußabdruck seine Umgebung unterstützen und positiv beeinflussen. Durch eine Öko-Effektivität soll dies ermöglicht werden, indem Wieder- und Weiterverwendungs- und Verwertungsmaßnahmen konsequent umgesetzt werden. Gleichzeitig sollen innovative Recyclingpotenziale entwickelt werden, um nicht verwertbare Endprodukte zu vermeiden.¹⁰⁵ Insgesamt sollen eingebrachte Nährstoffe also möglichst langlebig genutzt, aber nicht verbraucht werden. Außerdem sollen sich Gebäude nach dem C2C-Prinzip durch Energiepositivität und gesunde Baumaterialien vorteilhaft auf Mensch und Umwelt auswirken.¹⁰⁶

Anders als der biologische Kreislauf, der durch natürliche Zersetzungs- und Abbauprozesse zur Selbstregulation fähig ist, bedarf die Fortführung des technischen Kreislaufs u.a. für Reparatur- und Wiederaufbereitungsmaßnahmen menschlichen Einfluss, wobei ein Erwerb von Gütern ein Problem darstellt. Denn überträgt ein Produkthersteller das Eigentum an den enthaltenen Rohstoffen, ist eine Rückgewinnung dieser nach der Nutzungsphase durch den Kunden i.d.R. nicht möglich – und in der derzeitigen Wirtschaftsweise auch nicht vorgesehen. Neue Denk- und Verhaltensweisen mit dem Ansatz, dass vor allem sehr werthaltige Güter als Dienstleistungsprodukte angesehen werden sollten, sorgen dafür, dass Hersteller technischer Produkte nicht das Eigentum an aufgebrauchten werthaltigen „Nährstoffen“ abtreten würden. Und damit auch (wie gegenwärtig) die Verantwortung für ein Recycling oder anfallende Entsorgungsmaßnahmen. Stattdessen würde der Besitzer lediglich Nutzungsrechte für einen gewissen zeitlichen Rahmen erwerben, schlussendlich ist eine Rückführung des Produktes an den Hersteller vorgesehen und die enthaltenen Nährstoffe könnten erneut in den technischen Kreislauf aufgenommen werden. Ein anderer Ansatz dafür stellen Pfandsysteme dar.¹⁰⁷ Neben der Rückgewinnung aufgebrauchter Rohstoffe intendiert dieser Ansatz, dass es für Hersteller interessant wird, möglichst langlebige Produkte zu entwickeln, mit dem größtmöglichen Bestreben eine Entstehung von Abfall am Ende des Lebenszyklus zu vermeiden.

¹⁰⁴ Braungart und McDonough 2014, S. 67

¹⁰⁵ Vgl. Braungart und McDonough 2014, S. 67 ff.

¹⁰⁶ Vgl. EPEA – Part of Drees & Sommer 2021, S. 4

¹⁰⁷ Vgl. Braungart und McDonough 2014, S. 142 ff.

KREISLAUFWIRTSCHAFT IM KONTEXT VON CRADLE TO CRADLE

„Eine Kreislaufwirtschaft ist ein systemischer Ansatz einer wirtschaftlichen Entwicklung, der zum Nutzen von Unternehmen, Gesellschaft und Umwelt entwickelt wurde. Im Gegensatz zum linearen „Take-Make-Waste-Modell“ ist eine Kreislaufwirtschaft von Natur aus regenerativ und zielt darauf ab, das Wachstum schrittweise vom Verbrauch endlicher Ressourcen zu entkoppeln.“¹⁰⁸

Dabei werden als Grundprinzipien der Circular Economy folgend benannt:

- „Beseitigung von Abfall und Umweltverschmutzung
- Zirkulieren von Produkten und Materialien (auf ihrem höchsten Wert)
- Regenerieren der Natur“¹⁰⁹

Die Kreislaufwirtschaft (gem. der Circular Economy) bildet sich also als ein umweltfreundliches Wirtschaftssystem ab, welches sich vollständig von fossilen Energieträgern abwendet und auf regenerative Energie konzentriert, wobei dies für alle Teilprozesse der Kreislaufwirtschaft, von der Materialherstellung bis zur Aufbereitung nach dem Ende der Nutzung gilt. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise aller vorhandenen Stoffströme zur Vermeidung von Abfallprodukten bildet sich ab. Dabei wird angestrebt, eine andauernde Werterhaltung der aufgewendeten Rohstoffe sowie der daraus hergestellten Materialien durch verlangsamte Materialkreisläufe möglichst ohne Verluste sicherzustellen,¹¹⁰ um ihre Gesamtlebensdauer auf ein Maximum zu erhöhen und so insgesamt den Bedarf einer neuen Ressourcengewinnung zu reduzieren. Zu einer größtmöglichen Wertschöpfung trägt das zuvor erläuterte C2C-Konzept von Nutzung statt Erwerb bei, wobei durch eine geteilte Nutzung nach dem Sharing-Prinzip eine maximale Auslastung der Nutzungszeit erreicht werden kann.

KREISLAUFWIRTSCHAFT IM BAUWESEN – KREISLAUFGERECHTES BAUEN

Mit der Intention, eine ganzheitliche Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zu etablieren, hat sich Begriff des „kreislaufgerechten Bauens“ entwickelt. Durch den zukunftsorientierten Ansatz soll es ermöglicht werden, dass zukünftige Neubau- und Sanierungsmaßnahmen durch ihre Kreislaufgerechtigkeit als ein Bauteil- und Materiallager angesehen werden können, die der Planung und Errichtung von Bauvorhaben dienen.¹¹¹

¹⁰⁸ Ellen MacArthur Foundation o.J.a, Übersetzung der Autorin

¹⁰⁹ Ellen MacArthur Foundation o.J.b, Übersetzung der Autorin

¹¹⁰ Vgl. Stahel 2021, S. 33

¹¹¹ Vgl. Hebel et al. 2022, S. 23

Das Rückbaupotenzial von Immobilien und ihrer Bestandteile soll als gewinnbringender Prozess angesehen werden, den es bei der Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauens auch in der Kostenkalkulation zu berücksichtigen gilt.¹¹²

Für die Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauens ist es wie in Abb. 7 dargestellt erforderlich, dass als Komponenten von Bauprozessen, angefangen bei der Beschaffenheit einzelner Grundstoffe in der Produktherstellung, bis zur bestmöglichen Flexibilität errichteter Gebäude und deren optimaler Rückbaubarkeit und Wiederverwendung sortenreiner Materialien, als Bestandteil dieses Kreislaufs anzusehen sind. Es dürfen hierin keine solitär agierenden Teilprozesse gesehen werden, sondern ein vernetztes Gesamtgefüge mit gegenseitiger Beeinflussung. Nachdem das Baumaterial mit seiner Zusammensetzung, Herkunft und Beschaffenheit inspiziert wurde, wird ebenso das daraus hergestellte Bauteil, sowie das gesamte Gebäude einbezogen.

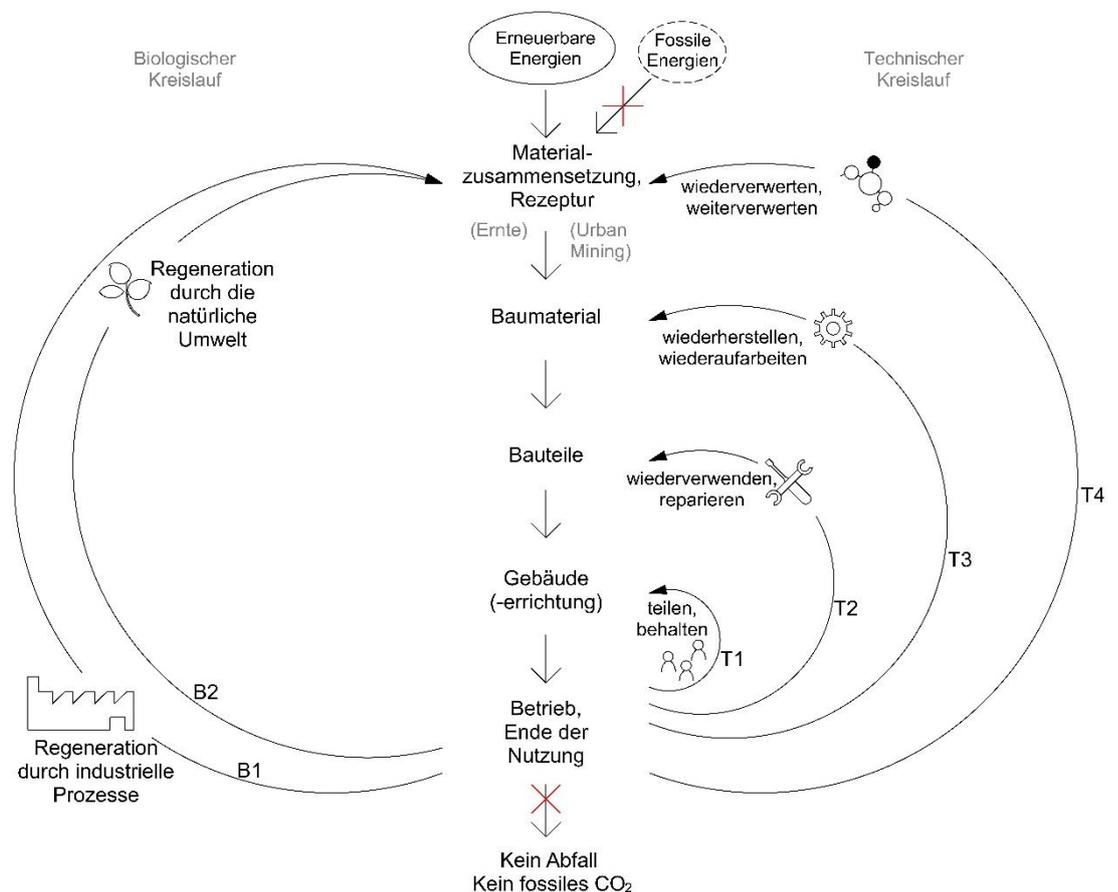


Abb. 7: Kreislaufwirtschaft auf der Grundlage von Cradle to Cradle¹¹³

Die ideale Kreislaufwirtschaft nach dem C2C-Prinzip zeichnet sich im Bauwesen dadurch ab, dass bei der vollumfänglichen Umsetzung keinerlei Abfallprodukte am

¹¹² Vgl. Schneider 2021, S. 130

¹¹³ Eigene Darstellung in Anlehnung an EPEA – Part of Drees & Sommer 2021, S. 2

Ende der Nutzungsphase entstehen und somit ebenso kein fossiles CO₂ freigegeben wird. Das Ziel des Werterhalts in den verschiedenen „Ebenen“ ist mit Hilfe diverser Maßnahmen umsetzbar. Enthaltene biologische Rohstoffe können je nach Beschaffenheit durch die Umwelt oder durch industrielle (physikalische oder chemische) Prozesse regeneriert werden, um sie anschließend wieder als Ausgangsstoff in den Kreislauf einspeisen zu können. Im technischen Kreislauf wird mit höchster Priorität die auf ein Maximum auszudehnende Lebensdauer des Gebäudes angestrebt, wozu Nutzungsänderungen und Bestandsanierungen herangezogen werden. Wurde das Ende der rentablen Gebäudenutzung erreicht, so sind Bauteile daraus zu gewinnen und für andere Bauvorhaben wiederzuverwenden – sofern der Bedarf nach Aufbereitungsmaßnahmen besteht. Wenn dies nicht möglich ist, da bspw. vorhandene Fügungen zu Beschädigung von Bauteilen führen, so können ihre Materialien möglichst sortenrein gewonnen werden und durch Wiederherstellungs- und -aufbereitungsmaßnahmen erneut zu Baumaterialien verarbeitet werden. Ein Beispiel hierfür wäre Recyclingbeton, der gegenwärtig aus mineralischen Bauabfällen hergestellt werden kann. Sofern dies bspw. durch zu starke Verunreinigungen nicht möglich ist, können die gewonnen Rohstoffe durch Verwertungsmaßnahmen wieder als Ausgangsstoff neuer Materialzusammensetzungen dienen – nach dem Prinzip des Urban Mining. Es wird deutlich, dass bei einem kreislaufgerechten Bauen angestrebt wird, Rohstoffe so oft wie möglich aufzuwerten, ohne dabei einen Verlust verzeichnen zu müssen. Dabei gilt es anzumerken, dass das C2C-Prinzip für schadstoffbelastete Produkte und jene, die in keinen der beiden Kreisläufe zurückgeführt werden können, bisher eine Zwischenlagerung vorzieht.¹¹⁴ Aus den vergangenen Jahrzehnten vorliegende Schadstoffbelastungen von Baumaterialien stellen also noch eine Hürde für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft dar, für die innovative Ideen für eine Rückführbarkeit in den Kreislauf erforderlich sind.

CRADLE TO CRADLE®-DESIGNPRINZIP FÜR DIE PLANUNG

Für die Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauens kommt der Entwicklungs- und Planungsphase eine grundlegende Bedeutung zu, da hier die Kreislauffähigkeit von dem Gebäude, seinen Bauteilen und -materialien berücksichtigt werden muss. Dafür können die Vorgaben des Cradle to Cradle®-Designprinzips als unterstützendes Planungsinstrument herangezogen werden. Demnach sind maximal ausgedehnte und gleichzeitig noch wirtschaftliche Lebensdauern von Gebäuden anzustreben und soll auch ihren Bauteilen und -materialien durch möglichst verlangsamte Stoffkreisläufe ermöglicht werden. In Kapitel 3.3.3 werden konkrete Kriterien dargelegt, die es bei

¹¹⁴ Vgl. Braungart und McDonough 2014, S. 148 f.

der Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauens zu beachten gilt. Weiterhin fordert das Designprinzip, dass neben der Energiepositivität des Gebäudes, auch die Beschaffenheiten der einzusetzenden Baumaterialien mit ihren Vorprodukten und deren Grundstoffen betrachtet wird. Dazu gehört die Berücksichtigung der CO₂-Emissionen, die während der Gewinnungs-, Herstellungs- und Transportprozesse anfallen. Ebenso ist die Materialherkunft bedeutend, wobei eine Konzentration auf recycelte Rohstoffe sowie auf jene, die biologisch, nachwachsend sind, stattfinden soll. Um das Bestreben positiver Einwirkungen auf Mensch und Umwelt umsetzen zu können, ist auch die Materialzusammensetzung (entspricht der Materialgesundheit) entscheidend.¹¹⁵ Daneben wird ein verantwortungsbewusster Umgang mit Wasser, sowohl bei der Materialgewinnung, als auch bei der Nutzungsphase des Gebäudes betrachtet sowie eine Förderung von Biodiversität und Artenvielfalt. Des Weiteren sind auch soziale Bedingungen, unter denen Bauprodukte hergestellt wurden, entlang ihrer vollständigen Lieferkette für die Umsetzung des Prinzips zu berücksichtigen.¹¹⁶ Dabei ist anzumerken, dass eine Einzelprüfung der Grundstoffe nicht als Bestandteil des Planungsprozesses anzusehen ist, sondern z.B. durch Materialzertifizierungen nachgewiesen und folgend berücksichtigt werden kann. Eine Bestätigung, dass Empfehlungen des Cradle to Cradle®-Designprinzips bei der Entwicklung, Herstellung und Rückführung von Gebäuden und Baumaterialien berücksichtigt sind, kann gegenwärtig durch eine gleichnamige Zertifizierung dargelegt werden.

3.3.2 URBAN MINING – GEBÄUDEBESTAND ALS ROHSTOFFLAGER

Als Teilprozess eines ganzheitlichen, kreislaufgerechten Bauens, ist das Prinzip von Urban Mining zu betrachten, welches sich auf Bestandsgebäude – also die gebaute Umwelt – konzentriert. Übersetzt wird von einem „städtischen Bergbau“ gesprochen, der die Gewinnung wertvoller Rohstoffe suggeriert, wozu es einer Veränderung bisheriger Denk- und Verhaltensmuster im Umgang mit Bauobjekten nach ihrem Lebenszyklusende bedarf.

NEUES VERSTÄNDNIS DER GEBAUTEN UMWELT

Die vorliegenden geringen Wiederverwendungsquoten von recycelten Bauteilen und -materialien stellen eine große Herausforderung für die Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauens dar. Urban Mining basiert deshalb auf einem neuen Verständnis

¹¹⁵ Vgl. EPEA – Part of Drees & Sommer 2021, S. 4 ff.

¹¹⁶ Vgl. EPEA – Part of Drees & Sommer 2021, S. 4 ff.

der gebauten Umwelt, wonach es die aufgewandten Primärrohstoffe mit ihrem Wert zu beleuchten gilt, die in Gebäuden vorzufinden sind. Eine Sichtweise, die nicht mehr nur Bauobjekte am Ende ihres Lebenszyklus betrachtet, sondern die es anstrebt, Potenziale der vorhandenen Bausubstanz, die sich in den „anthropogenen Lagerstätten“¹¹⁷ befinden, rückzugewinnen und entnehmen zu können. Dies gelingt durch eine neue Interpretation natürlicher Minen: Wertvolle Rohstoffe sind hier nicht in tiefen Erdschichten vorzufinden, sondern sie sind in Bestandsgebäuden eingebunden. Dabei liegen sie nicht in ihren ursprünglichen Materialfraktionen vor, sondern sind i.d.R. bearbeitet und in einem komplexen Stoffschluss mit anderen Fragmenten.¹¹⁸ Nach dem Verständnis des kreislaufgerechten Bauens sollen sie als Ausgangsstoff neuer Bauprozesse dienen, um den Einsatz von Primärrohstoffen zu reduzieren. Dabei beträgt das gegenwärtige anthropogene Rohstofflager in Deutschland ein Volumen von ca. 51,7 Mrd. Tonnen, wobei auch hier die Bedeutung des Bausektors deutlich wird: ein Anteil von ca. 55 % dieses Lagers ist auf Wohn- und Nichtwohngebäude rückführbar,¹¹⁹ was das Potenzial zur Nutzung dieser menschengemachten Mine und den darin enthaltenen Rohstoffen, besonders im dicht bebauten urbanen Raum, verdeutlicht.

URBAN MINING IM KONTEXT DES KREISLAUFGERECHTEN BAUENS

Die gebaute Umwelt ist also nach dem Prinzip von Urban Mining als Quelle für Sekundärrohstoffe anzusehen, die es für zukünftige Bauprozesse durch eine strategische Bewirtschaftung maximal auszuschöpfen gilt, um den Abbau natürlicher Ressourcen zu reduzieren. Dies ist durch eine Erfassung von Beständen möglich, indem Mengen, Beschaffenheiten und Zeitpunkte einer potenziellen Rückgewinnung aufgenommen und dokumentiert werden. Auch in der Planung kreislaufgerechter Gebäude ist diese Dokumentation sicherzustellen.¹²⁰ Es wird deutlich, dass durch die Rückgewinnung und Wiederverwendung von Sekundärrohstoffen gewinnbringende Prozesse angestrebt werden. Dabei sind die tatsächlich vorhandenen Recyclingpotenziale davon abhängig, ob Gebäude vorwiegend durch konventionelle Bauweisen und -materialien geprägt sind oder ob sie nach Kriterien für kreislaufgerechtes Bauen errichtet wurden. Konventionelle Bestandsbauten weisen auf Grund mangelnder sortenreiner Rückgewinnung von Baumaterialien, die z.B. auf nicht beschädigungsfreien Fügungen und Materialzusammensetzungen beruhen, nur eingeschränkte Recyclingmöglichkeiten einzelner Material- und Bauteilfragmente auf – weshalb sie nach dem

¹¹⁷ Umweltbundesamt 2022b

¹¹⁸ Vgl. Bachmann 2021, S. 7

¹¹⁹ Vgl. Umweltbundesamt 2022b

¹²⁰ Vgl. Umweltbundesamt 2022b

Urban Mining-Prinzip als Rohstofflager angesehen werden.¹²¹ Wie in Abb. 8 dargestellt, können ihre Sekundärrohstoffe durch Aufbereitungsmaßnahmen zur Herstellung neuer, bestmöglich kreislaufgerechter Baumaterialien herangezogen werden. Kreislaufgerechte Gebäude sind hingegen schon dafür konzipiert, nach ihrem Lebenszyklusende als vollständige Materiallager zu fungieren. Im Kontext eines zukunftsorientierten kreislaufgerechten Bauens ist das Urban Mining somit als Teilprozess anzusehen, in welchem die vorübergehende Zwischenlagerung von wertvollen Rohstoffen stattfindet, die nach ihrer Nutzungszeit innerhalb eines Gebäudes wieder Teil eines immer fortlaufenden Kreislaufes von Bauprozessen werden.¹²²

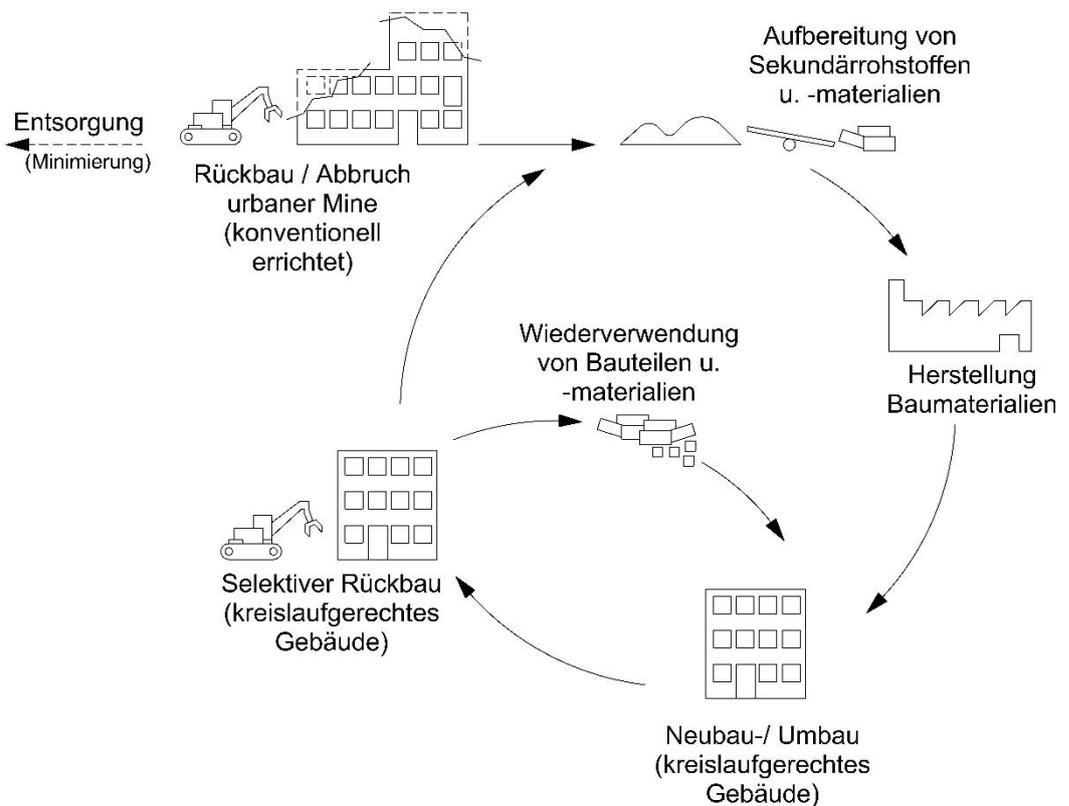


Abb. 8: Urban Mining als Teilprozess des kreislaufgerechten Bauens¹²³

URBAN MINING DESIGN FÜR DIE PLANUNG

Das Prinzip des Urban Mining Design ist als Bestandteil eines kreislaufgerechten Planungsprozesses anzusehen, wobei es das Ziel ist, die optimale Rückführbarkeit aller im anthropogenen Lager enthaltenen Bauteile und -materialien in das Kreislaufsystem sicherzustellen. Dafür erfordert es die Kreislaufgerechtigkeit von Gebäude, Bau-

¹²¹ Hebel et al. 2022, S. 23

¹²² Vgl. Hebel et al. 2022, S. 22

¹²³ Eigene Darstellung in Anlehnung an Rosen 2022, S. 82

teilen und -materialien sowie deren beschädigungsfreie und auch wirtschaftliche Demontier- und Trennbarkeit.¹²⁴ Das Design-Prinzip richtet die menschengemachte Lagerstätte optimal darauf aus, dass ihre Sekundärrohstoffe rückgewonnen und wieder-, weiterverwendet oder -verwertet werden können, ohne dass Abfallprodukte entstehen. Bei einer konsequenten Umsetzung wird Abfall als „ein Designfehler“¹²⁵ verstanden. Neben der Einsparung von Primärrohstoffen wird sich im Urban Mining Design darauf konzentriert, dass mit der Rückgewinnung von Bauteilen und -materialien Gewinne erzielt werden können, die bei den Lebenszykluskosten berücksichtigt werden und somit eine Anregung für die Umsetzung kreislaufgerechten Bauens darstellen.

3.3.3 KRITERIEN FÜR KREISLAUFGERECHTES BAUEN

Um die Voraussetzungen kreislaufgerechten Bauens zu erfüllen, können während der verschiedenen Lebenszyklusphasen von Gebäuden und Bauprodukten eine Vielzahl an Kriterien berücksichtigt werden, um Materialkreisläufe auf ein Maximum zu verlangsamen (verlängerte Nutzungsdauer), Regenerations- und Rückgewinnungspotenziale von Materialien konsequent einzubeziehen sowie eine regenerative Energieversorgung aller Teilprozesse umzusetzen. Somit wird die Grundlage hergestellt, dass rückgewonnene Produkte wieder als Ausgangsstoff biologischer oder technischer Kreisläufe dienen können.

GEBÄUDE

Für die Verfolgung des Ansatzes maximal ausgedehnter Kreisläufe von Materialien ist die größtmögliche Nutzungsdauer der einzelnen Komponenten eines Bauwerks und somit der aufgewandten Rohstoffe anzustreben – unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit. Höchste Priorität hat dabei, das Gebäude möglichst lange zu erhalten, wozu Um- und Weiternutzungsmaßnahmen umzusetzen sind, um einen Abriss zu vermeiden. In Anbetracht dessen, dass in der Tragkonstruktion der maßgebende Anteil aufgebrauchter Ressourcen enthalten ist, können diese durch eine Sanierung länger genutzt werden – ein Ersatzneubau ist bei wirtschaftlichen Sanierungsmöglichkeiten unbedingt zu vermeiden.¹²⁶ Potenziale einer möglichst ausgedehnten Nutzung sind in der Planungsphase durch flexible Grundriss-, Tragwerks- und Fassadengestaltungen, mit einer Adaptierbarkeit für diverse Nutzungen und sich wandelnde

¹²⁴ Vgl. Hillebrandt 2021b, S. 52

¹²⁵ Hillebrandt et al. 2021, S. 4

¹²⁶ Vgl. Hillebrandt 2021b, S. 52

klimatische Bedingungen darzulegen. Sie sind konzeptionell nachzuweisen und stellen die Umnutzungsfähigkeit des Gebäudes sicher, ebenso wie Instandsetzungspotenziale der TGA.¹²⁷

BAUTEILE UND -ELEMENTE

Ist der Rückbau eines Gebäudes unvermeidbar, so ist die Rückgewinnung und Wieder-/ Weiterverwendung einzelner Bauteile und -elemente, ggf. nach Aufbereitungsmaßnahmen, unbedingt anzustreben. Dazu wird vorausgesetzt, dass vorhandene Bauelemente einfache und zerstörungsfreie Rückbau- und Demontierbarkeiten aufweisen, die durch Berücksichtigung von Elementeigenschaften und Fügetechniken sichergestellt werden können. Absehbare Beschädigungen bei der Demontage sind in ihrem Kreislaufpotenzial zu bedenken – und durch jene, die geeigneter für einen verlustfreien Rückbau sind, zu ersetzen. Dabei gilt es, Fügungen und Elementeigenschaften bei der Eignungsprüfung zu berücksichtigen. Wiedergewinnungs- und Recyclingkonzepte sind zu erstellen und werden Teil einer ganzheitlichen Rückbauplanung für das Gebäude.¹²⁸ Darin sind allerdings ebenso Elemente aufzuzeigen, für die bisher keine wirtschaftlichen Wiedergewinnungs- und Recyclingpotenziale entwickelt werden konnten.

BAUMATERIALIEN /-STOFFE

Sofern ein Rückbau von Bauelementen unvermeidbar wird, ist es bedeutend, dass sie in ihre einzelnen Materialbestandteile, -schichten und Recycling-Einheiten zerlegt und gewonnen werden können, um sie wieder- und weiterverwenden zu können¹²⁹ – Ziel ist dabei eine sortenreine Trennung. Als sortenrein werden Baumaterialien bezeichnet, „die gleiche Werkstoffeigenschaften aufweisen (auch wenn sie in sich eine Mischform darstellen mögen), im Gegensatz zu Verbundwerkstoffen [...] die aus zwei oder mehreren Materialien bestehen, welche unterschiedliche Werkstoffeigenschaften besitzen und miteinander durch Stoffschluss verbunden sind.“¹³⁰ Es gilt zu berücksichtigen, dass ursprünglich sortenreine Materialien durch eine nicht kreislaufgerechte Fügung oder Verunreinigung zu einem Verbundwerkstoff werden können, was die o.g. Trennung und damit einhergehende Werterhaltung verhindert. Beispiele dafür sind eine Vielzahl der gegenwärtig etablierten Fügungsmethoden wie bspw. Verkle-

¹²⁷ Vgl. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. o.J.

¹²⁸ Vgl. Heisel und Hebel 2021b, S. 13

¹²⁹ Vgl. EPEA – Part of Drees & Sommer 2021, S. 8

¹³⁰ Hebel et al. 2022, S. 22 f.

bungen und Fugenvermörtelungen, aber auch Oberflächenbehandlungen mittels Elo-xal oder Lack.¹³¹ Bei der Auswahl geeigneter Baumaterialien kommt dem Planungsprozess große Bedeutsamkeit zu: Die Grundlagen rückbaufreundlicher Fügungstechniken und ihre wirtschaftliche Demontageverfahren, die eine sortenreine Trennung und Rückgewinnung ermöglichen, sind zusammen mit der Recycling- und Kreislauf-fähigkeit der Materialien zu analysieren, einzubeziehen und anhand von Rückbauan-leitungen darzulegen.¹³²

3.3.4 BEWERTUNG VON KREISLAUFGERECHTIGKEIT IM BAUWESEN

Um Kreislaufgerechtigkeit von Gebäuden und ihren Baumaterialien bemessen zu können, eine transparente Gegenüberstellung zu ermöglichen und so die Umsetzung zu fördern, gibt es derzeit verschiedene Bewertungsansätze. Diese konzentrieren sich auf unterschiedliche Kernthemen und verfolgen verschiedene Ziele. Dabei haben die Kriterien für ein kreislaufgerechtes Bauen einen Überblick geboten, wie vielfältig die Herangehensweisen für die Umsetzung eines zukunftsorientierten Bauwesens sein können. Die Bewertungssysteme dienen neben einer Messung von Kreislaufpo-tenzialen i.d.R. auch als Planungs- und Dokumentationsinstrument. Es ist wichtig, dass die in der Planung ermittelte Kreislauffähigkeit von Gebäuden, mit ihren Bauele-menten und -materialien, ihre Wieder- und Weiterverwendbarkeit sowie stofflichen Verwertungspotenziale und, falls unumgänglich, geplante Deponierungsverfahren¹³³ analysiert, bewertet, dokumentiert und archiviert werden. Dabei gilt es ebenso Rückbau- und Regenerationsverfahren sowie Zeitpunkt, wann diese angestrebt sind, fest-zuhalten. So kann insgesamt eine kreislaufgerechte Errichtung und Nutzung von Ge-bäuden gefördert und gleichzeitig die maximale Rückgewinnung von Bauteilen und -materialien nach dem Rückbau sichergestellt werden.

CRADLE TO CRADLE-ZERTIFIZIERUNG | BUILDING CIRCULARITY PASSPORT®

Nach dem C2C-Prinzip kann sowohl eine Bewertung der Kreislaufgerechtigkeit für einzelne Bauprodukte, als auch hinsichtlich des vollständigen Gebäudes stattfinden. So wird mit der Cradle to Cradle Certified™-Zertifizierung eine Rückführbarkeit von Bauprodukten in das Kreislaufsystem abbildbar, indem eine Bewertung der Produkt-materialien sowie aller notwendigen Verarbeitungsprozesse durchgeführt wird, um potenzielle Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu berücksichtigen. Dazu gehört

¹³¹ Vgl. Hebel et al. 2022, S. 22 f.

¹³² Vgl. Heisel und Hebel 2021b, S. 13

¹³³ Vgl. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. o.J.

neben der Zusammensetzung und der Kreislauffähigkeit des Materials, auch die Berücksichtigung von Wassermanagement, erneuerbaren Energien sowie soziale Standards im Herstellungsprozess.¹³⁴ Dabei wird auch der Recyclingprozess und der Anteil an Rezyklaten in der Produktherstellung beachtet.¹³⁵

Die Ergebnisse der Material- und Produktbewertungen können folgend im Building Circularity Passport® zusammengetragen werden. Alle Baumaterialien eines Gebäudes werden hier unter Berücksichtigung ihrer Fügungen und daraus entstehenden Recyclingpotenzialen abgebildet und lassen eine Aussage über die Kreislauffähigkeit des Gebäudes zu. Dafür werden die folgenden Kriterien bezogen auf die einzelnen Baumaterialien analysiert und bewertet:

- Materialgesundheit
- Demontagefähigkeit
- Materialverwertung
- Materialherkunft
- CO₂-Fußabdruck
- Trennbarkeit¹³⁶

Wie in Abb. 9 sichtbar, werden die Kategorien Materialgesundheit, Demontagefähigkeit und Trennbarkeit hinsichtlich ihres Optimierungspotenzials gegenüber konventionellen Baumaterialien untersucht. Einbezogen werden auch unbekannte Bestandteile und Fügungen von Baumaterialien. Bei der Materialherkunft und -verwertung werden verwendete Sekundärmaterialien und folgend potenziell erreichbare Recyclingpotenziale beleuchtet. Abschließend stellt der CO₂-Fußabdruck das Verbesserungspotenzial gegenüber einem konventionell errichteten Gebäude dar.

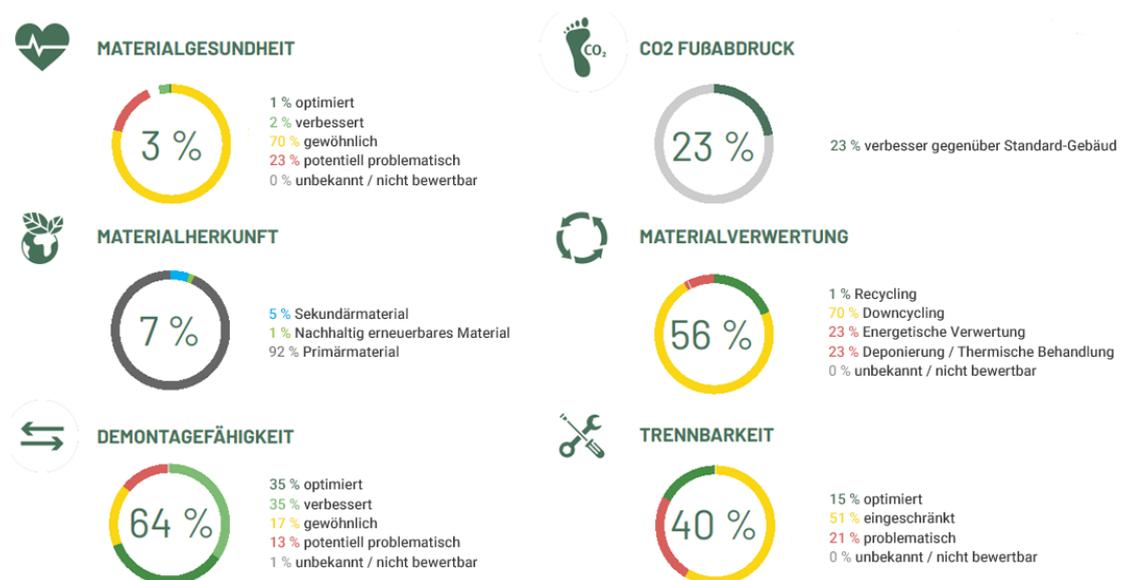


Abb. 9: Ausschnitt aus einem Building Circularity Passport® mit Darstellung der Gebäudeperformance¹³⁷

¹³⁴ Vgl. EPEA – Part of Drees & Sommer o.J.

¹³⁵ Vgl. Rosen 2021b, S. 29

¹³⁶ Vgl. EPEA – Part of Drees & Sommer 2021, S. 5

¹³⁷ EPEA – Part of Drees & Sommer 2021, S. 5

LOOP-POTENZIALE UND URBAN MINING INDEX

Für die Messbarkeit und Bewertung von Kreislaufgerechtigkeit vorhandener Gebäude und deren Baukonstruktionen und -produkte, was für die Umsetzung des Urban Mining erforderlich ist, kann der Urban Mining Index herangezogen werden. Dieser gründet auf der Bewertung von sog. Loop- und Closed-Loop-Potenzialen und betrachtet Gebäude, Bauteile und -materialien sowie deren Zusammensetzung.

Verbaute Baumaterialien mit einem Closed-Loop-Potenzial zeichnen sich dadurch aus, dass sie nach ihrer Nutzung auf Grund schadenfrei lösbarer Fügungen wieder in einen nahezu geschlossenen Kreislauf rückgeführt werden können und dabei Wert und Qualität weitestgehend behalten. Loop-Potenziale von Baumaterialien zeigen hingegen entsprechende Verluste bei ihrem Rückbau, weshalb es sich hierbei um offene Kreisläufe handelt, deren Materialien zukünftig stoffliche oder energetische Verwertungsverfahren durchlaufen werden.¹³⁸ Zur Verdeutlichung wird dafür eine Betrachtung zu einem Zeitpunkt vor der Nutzung (Pre-Use) und nach der Nutzung (Post-Use) herangezogen. Vor der Nutzung werden recycelte Materialien und jene aus nachwachsenden Rohstoffen beleuchtet, wobei nach der Nutzung ein besonderes Augenmerk auf verschiedene Recyclingpotenziale der freigegebenen Materialien gelegt wird. Außerdem wird in den „Loops“ der Materialwert, Nutzungsdauer, Demontageaufwand sowie Rückbau- und Entsorgungsaufwendungen monetär einbezogen – und ebenso Gewinne daraus.¹³⁹

Durch die Gegenüberstellung der Loops wird eine Bewertung enthaltener Baukonstruktionen möglich. Dabei wird der Wert von den enthaltenen Baumaterialien mit dem Demontageaufwand und den zugehörigen Kosten verglichen¹⁴⁰ und unter Berücksichtigung von bestimmten Gewichtungsfaktoren, wie in Abb. 10 dargestellt, beleuchtet. Somit kann eine Aussage darüber getroffen werden, wie wirtschaftlich der Rückbau von Konstruktionselementen in einem Gebäude ist. Schlussendlich können mit Hilfe des Urban Mining Indicators „Zirkularitätsraten für Gebäude [dargestellt werden,] die die Qualität der Nachnutzung und den Aufwand für den Rückbau und die sortenreine Trennung der Wertstoffe am Ende der Nutzungsdauer“¹⁴¹ berücksichtigen. Umso höher die Zirkularitätsrate (also das Verhältnis von kreislaufgerechtem Material zu nicht kreislaufgerechtem Material) ist, umso größer ist der Einsatz von Sekundärmaterialien verglichen mit Primärmaterialien.

¹³⁸ Vgl. Rosen 2021a, S. 115 ff.

¹³⁹ Vgl. Hillebrandt 2021b, S. 55 ff.

¹⁴⁰ Vgl. Rosen 2021d, S. 111 ff.

¹⁴¹ Anja Rosen 2021, S. 300

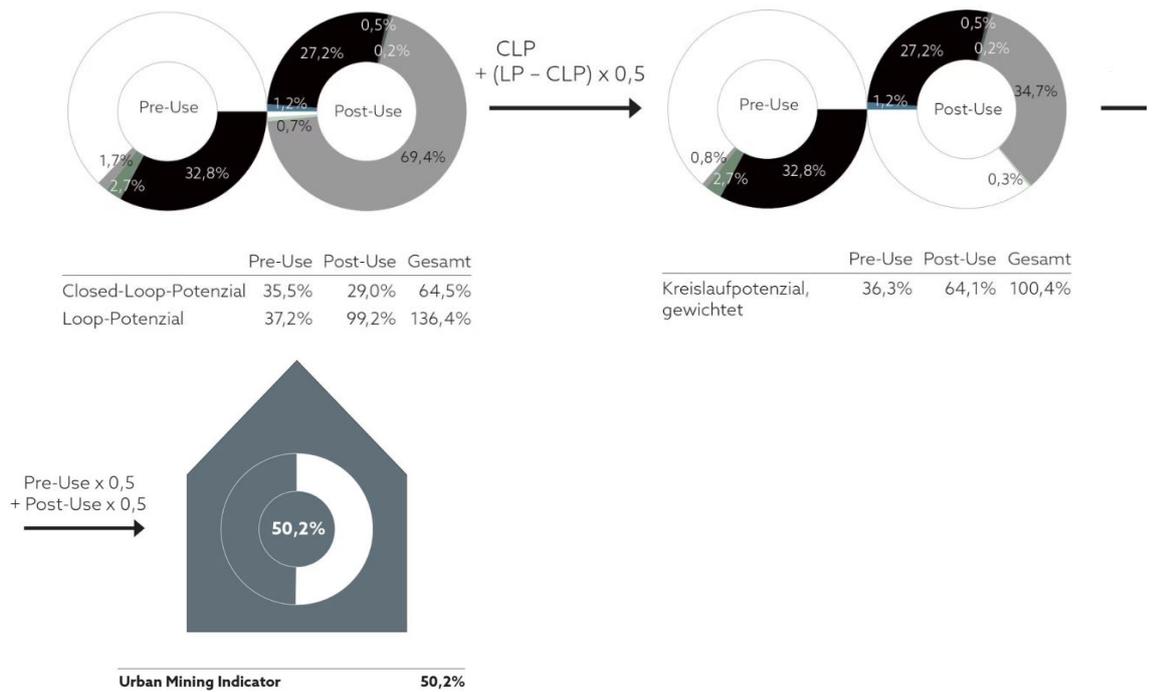


Abb. 10: Beispielhafte Berechnung des Urban Mining Indicator mit Hilfe von Loop- u. Closed-Loop-Potenzialen¹⁴²

CIRCULARITY INDICATOR – MADASTER

Abgeleitet von Materialströmen, die sich nach dem Verständnis einer Circular Economy abbilden, wurde eine Bewertungsgrundlage entwickelt, mit der eine Reduzierung linearer und die Maximierung kreislaufgerechter Materialströme messbar wird. Danach ist die Masse des Primärrohstoffs für die Produktherstellung mit jener von resultierendem Abfall gegenüberzustellen, unter Berücksichtigung der tatsächlich vorliegenden Nutzungszeit.¹⁴³

Auf dieser Grundlage basiert der Circularity Indicator, mit dem die Kreislauffähigkeit von Gebäuden bewertet werden kann. Für ihn werden drei Teilindikatoren herangezogen, die sich auf die Bau-, Nutzungs-, Abriss- und Rückbauphase beziehen und addiert eine Gesamtbewertung des Gebäudes abbilden, wie in Abb. 11 deutlich wird, wobei zusätzliche Sicherheiten für unbekannte Materialien berücksichtigt werden.

Bauphase: Das Verhältnis von Primär- zu Sekundärmaterialien während der Errichtung wird betrachtet sowie hier entstehender Abfall.

¹⁴² Rubel 2021

¹⁴³ Vgl. Heisel und Rau-Oberhuber 2021, S. 158

Nutzungsphase: Die erwartete (max.) Lebensdauer von Bauprodukten wird mit jener von vergleichbaren Produkten und deren durchschnittlicher Lebensdauer gegenübergestellt und bewertet. Es resultiert die Gesamtnutzungsdauer.

Abriss-/ Rückbauphase: Hier gilt es das Verhältnis von entstehenden Abfallmaterialien mit den anfallenden wiederzuverwendenden/ -wertenden zu vergleichen, wobei u.a. eine sortenreine Rückgewinnung und schadenfreie Demontierbarkeit berücksichtigt wird.¹⁴⁴

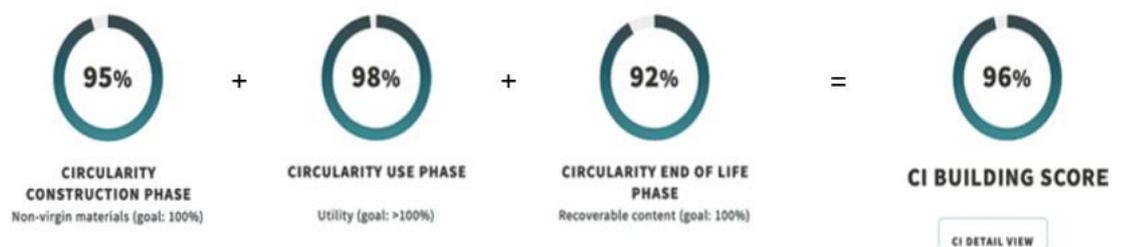


Abb. 11: Beispielhafte Berechnung des Building Score mit Hilfe des Circularity Indicator¹⁴⁵

Die bewerteten Produktdaten inkl. Gebäudeverknüpfung zum Circular Indicator Building Score werden in der Madaster-Datenbank hinterlegt und verwaltet und können als Planungs- und Dokumentationsinstrument genutzt werden, u.a. um Auskunft darüber geben zu können, wann Baumaterialien mit welchem monetären Wert wieder aus einem Gebäude rückgewinnbar sind.¹⁴⁶

NACHHALTIGKEITZERTIFIZIERUNGEN FÜR GEBÄUDE

Wie aus der Gegenüberstellung in Anhang 1 deutlich wird, wird sich teilw. auch in Zertifizierungssystemen für Nachhaltigkeit auf Kriterien für ein kreislaufgerechtes Bauen konzentriert. Folgend wird sich auf das Bewertungssystem der DGNB konzentriert, da dieses einige Kriterien berücksichtigt. Dabei zeichnet sich die DGNB-Zertifizierung von Gebäuden durch eine konsequente Lebenszyklusbetrachtung aus, die in der Planungsphase beginnt und durch regelmäßige Ökobilanzierungen hinsichtlich Umweltauswirkungen unterstützt wird. In der Zertifizierung werden bspw. Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit, die im Planungsprozess und am End-of-Life beachtet wird sowie eine Vermeidung von Bau- und Abbruchabfällen während des

¹⁴⁴ Vgl. Heisel und Rau-Oberhuber 2021, S. 158 ff.

¹⁴⁵ Heisel und Rau-Oberhuber 2021, S. 163

¹⁴⁶ Vgl. Heisel und Rau-Oberhuber 2021, S. 165

Bauprozesses berücksichtigt. Außerdem ist ein Bonussystem integriert, indem sich auf Kriterien einer Circular Economy konzentriert wird. Eine Übersicht von relevanten Zertifizierungskriterien ist in Anhang 2 vorzufinden. Abschließend ist der Entwurf eines Gebäuderessourcenpasses der DGNB zu benennen (siehe Anhang 3), der den „Ressourcenverbrauch, die Klimawirkung und der Kreislauffähigkeit transparent“¹⁴⁷ angeben soll.

3.4 DESIDERATE UND POTENZIALE GESETZLICHER VORGABEN

Nachdem ein Überblick über die Ansätze eines zukunftsorientierten, kreislaufgerechten Bauens gegeben wurde, gilt es im Folgenden zu untersuchen, inwieweit die gegenwärtigen gesetzlichen Vorgaben Desiderate und Potenziale für eine konkrete Umsetzung darstellen.

VORGABEN ZU UMWELT- UND RESSOURCENSCHUTZ

Durch derzeit gültige Klimaschutzgesetze sollen anthropogene Auswirkungen auf die Umwelt und den Bestand vorhandener Ressourcen verringert bzw. vermieden werden. Dazu wird u.a. das konkrete Ziel verfolgt, bis 2050 durch eine sukzessive Reduzierung von Treibhausgasemissionen eine Klimaneutralität zu erreichen.¹⁴⁸ Für eine Kreislaufwirtschaft nach dem Verständnis des C2C-Prinzips reichen diese Zielsetzungen jedoch nicht aus und bilden bedeutende Desiderate ab. Für die Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauens bedarf es demnach eine positive Einflussnahme und Unterstützung der Umwelt durch menschliches Handeln und Wirtschaften. Ansätze von Öko-Effizienz müssen zu Öko-Effektivität weitergedacht werden.¹⁴⁹ Gleiches gilt bei der Betrachtung des GEG, durch das Energie eingespart werden soll. Energiepositivität nach C2C wird hier jedoch nicht abgebildet.

Hinsichtlich des Umwelt- und Ressourcenschutzes ist die Entkopplung des Wirtschaftswachstums von der Ressourcenentnahmen zu benennen, die sowohl im EU-Klimagesetz, als auch im ProgRess III enthalten ist. Diese stellt nach dem Verständnis der Kreislaufwirtschaft Potenzial für eine Umsetzung dar. Ebenso die effiziente Ressourcennutzung, wenn eine maximale Ausnutzung bereits gewonnener Ressourcen von höchstem Wert- und Qualitätserhalt angestrebt wird.¹⁵⁰ Demnach ist die max. Reduzierung einer Ressourcenentnahme anzuvisieren. Für das ProgRess III ist au-

¹⁴⁷ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. o.J.

¹⁴⁸ Vgl. Abs. 2 S. 1 Europäisches Klimagesetz.

¹⁴⁹ Vgl. Braungart und McDonough 2014, S. 67 ff.

¹⁵⁰ Vgl. Ellen MacArthur Foundation o.J.b

ßerdem die Rohstoffproduktivität relevant, die über den Lebenszyklus gesteigert werden soll und somit ebenfalls den Ansätzen der Kreislaufwirtschaft entspricht. Die hier dargelegte Produktverantwortung ist für die Umsetzung einer ganzheitlichen Kreislaufwirtschaft erforderlich, um eine Vermeidung von Abfall nach C2C zu bewirken.¹⁵¹

VORGABEN ZU BAUPRODUKTEN

In den Vorgaben, die an Bauprodukte gestellt werden, können sowohl Potenziale als auch Desiderate für die Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauwesens gesehen werden. In der Bauproduktenverordnung wird bspw. zu Wiederverwendung und Recycling von Bauwerken, seinen -teilen und -stoffen aufgerufen und eine Dauerhaftigkeit gefordert. Außerdem wird der Einsatz von ökologisch unbedenklichen Rohstoffen und Sekundärrohstoffen angeführt,¹⁵² was hinsichtlich der potenziellen Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft positiv zu bewerten ist. Allerdings fehlt es hierbei an konkreten Vorgaben, bspw. was für ein prozentualer Anteil an Sekundärrohstoffen umzusetzen ist. Die Gleichstellung von Wiederverwendung und Recycling, was einen unterschiedlichen Qualitäts- und Werterhalt abbildet, stellt dabei deutliche Desiderate dar, ebenso wie die fehlende Begriffsauslegung von „Dauerhaftigkeit“. Daneben dürfen gem. dieser Verordnung während des Lebenszyklus von Bauwerken keine „übermäßig starken“¹⁵³ Einflüsse auf Klima und Umwelt herbeigeführt werden, bspw. durch freigesetzte giftige Gase oder Emissionen.¹⁵⁴ Für die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen sind solche unkonkreten Formulierungen, die diese Einflüsse nicht konsequent ausschließen, nicht zielführend.

Außerdem gilt es hinsichtlich zu erfüllender technischer Eigenschaften von Bauprodukten auch Normen und Richtlinien zu betrachten, die als aaRdT gelten und teilw. auch gesetzliche Wirksamkeit haben. Ihre technischen Anforderungen beruhen meistens auf den in der gegenwärtigen Linearwirtschaft etablierten und bewährten Bauprozessen, -weisen und -stoffen. Für die Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauens bilden sie deshalb einige Desiderate bezügl. Wieder- und Weiterverwendungs- und -verwertungspotenzialen ab. Insgesamt stellt eine Erfüllung hier vorgegebener Anforderungen für die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen deutliche Hürden dar. Ein Beispiel dafür sind wiederverwendete Bauteile, deren Beschaffenheiten und Eigenschaften mit Hilfe aufwändiger Untersuchungsmethoden nachzuweisen sind, sofern es Abweichungen von gültigen Normen gibt.¹⁵⁵

¹⁵¹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit 2020, S. 14–16

¹⁵² Vgl. Anhang I, Nr. 7 a, b, c EU-BauPVO.

¹⁵³ Anhang I, Nr. 3, S. 1 EU-BauPVO.

¹⁵⁴ Vgl. Anhang I, Nr. 3 a, b EU-BauPVO.

¹⁵⁵ Vgl. Heisel et al. 2021, S. 97 ff.

VORGABEN ZU ABFALL- UND KREISLAUFWIRTSCHAFT

Besonders das Abfall- und Kreislaufwirtschaftsgesetz sind hinsichtlich vorliegender Potenziale und Desiderate für die zukunftsorientierte Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zu beurteilen. In der AbfRRL wird auf EU-Ebene ein Umgang mit entstandenen Abfallprodukten vorgegeben, wobei Umweltbelastungen durch die Reduzierung der Bruttoabfallmenge gesenkt werden sollen. Dazu werden Zielvorgaben angegeben inkl. Maßnahmen zur Umsetzung, um einen Zielwert zu erreichen. Da die verschiedenen Verfahren jedoch einen unterschiedlichen Qualitäts- und Werterhalt abbilden, wären bspw. konkrete prozentuale Vorgaben von Bedeutung, da innerhalb einer Kreislaufwirtschaft stets der höchstmögliche Erhalt angestrebt wird. Die in der AbfRRL erläuterte Abfallhierarchie und die Priorisierung einer Vermeidung sind positiv zu bewerten, jedoch bleibt auch eine Beseitigung unter wirtschaftlichen Aspekten noch möglich, was im Sinne einer Kreislaufwirtschaft als Desiderat zu bezeichnen ist. Dem wirkt das Kreislaufwirtschaftsgesetz etwas entgegen, in dem vorgegeben wird, dass eine stoffliche Verwertung einer energetischen vorzuziehen ist. Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Senkung der Abfallmenge, die hier angestrebt ist, nicht den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft entspricht, da diese eine generelle „Beseitigung von Abfall und Umweltverschmutzung“¹⁵⁶ fordert. Diesbezüglich kann aber das Ende einer Abfalleigenschaft, wie sie in der AbfRRL erläutert wird, wiederum als Potenzial in Richtung einer Beseitigung von Abfallprodukten gesehen werden.

Abschließend ist die (erweiterte) Herstellerverantwortung zu erwähnen, die in der AbfRRL und dem KrWG vorgegeben wird. Auf EU-Ebene können demnach „Mitgliedsstaaten Maßnahmen mit und ohne Gesetzescharakter erlassen“,¹⁵⁷ um eine bestmögliche Verwertung von Abfall zu erreichen. Dies wird auf nationaler Ebene mit dem KrWG umgesetzt. Das Potenzial, damit bestmöglich eine Vermeidung von Abfall erreichen zu können, ist also gegeben, jedoch stellt die fehlende Umsetzung gegenwärtig noch ein Desiderat dar, dem es entgegenzuwirken gilt.¹⁵⁸

¹⁵⁶ Ellen MacArthur Foundation o.J.b Übersetzung der Autorin

¹⁵⁷ Art. 8 Abs, 1 S. 1 AbfRRL.

¹⁵⁸ Vgl. Hillebrandt 2021b, S. 53

3.5 AUSBLICK

In dem 2021 erstellten Koalitionsvertrag wurde sich die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft zum Ziel gesetzt, die sich ebenso durch ein kreislaufgerechtes Bauen abbilden würde. Darin ist Folgendes festgehalten:

„Wir haben das Ziel der Senkung des primären Rohstoffverbrauchs und geschlossener Stoffkreisläufe. [...] Hierzu passen wir den bestehenden rechtlichen Rahmen an, definieren klare Ziele und überprüfen abfallrechtliche Vorgaben. [...] Produkte müssen langlebig, wiederverwendbar, recycelbar und möglichst reparierbar sein. [...] Mit einer Beschleunigung der Entwicklung von Qualitätsstandards für Rezyklate werden neue hochwertige Stoffkreisläufe geschaffen. Qualitätsgesicherte Abfallprodukte sollen aus dem Abfallrecht entlassen werden und einen Produktstatus erlangen. Wir schreiben höhere Recyclingquoten und eine produktspezifische Mindestquote für den Einsatz von Rezyklaten und Sekundärrohstoffen auf europäischer Ebene fest.“¹⁵⁹

Die Grundprinzipien einer Circular Economy mit geschlossenen Kreisläufen sind darin enthalten, wonach Produkte schon in ihrer Entwicklungsphase nach kreislaufgerechten Kriterien gestaltet werden müssten. Daneben soll eine etablierte Nutzung von Sekundärrohstoffen vorangetrieben werden, indem bisher fehlende Zielwerte vorgegeben werden. Abschließend ist die Förderung von Rezyklaten unter Berücksichtigung ihrer Qualitäten zu benennen, die ebenso in der 2023 in Kraft tretenden Ersatzbaustoffverordnung verankert wird. Eine differenzierte Beurteilung von bisherigen „Abfallprodukten“ wird vorgegeben. Die hier dargelegten Ziele können Potenziale für eine langsame Entwicklung in die Richtung einer ganzheitlicheren Kreislaufwirtschaft darstellen. Eine überraschende Abwendung von einer Linearwirtschaft wird damit jedoch nicht abgebildet, da entscheidende Kriterien, wie ein vollständiges Vermeiden von Abfall, nicht angestrebt werden.

¹⁵⁹ SPD und Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021, S. 33 f.

4 FAZIT

Ein Klimawandel, der sich durch Extremwetterereignisse abzeichnet, Verlust von Biodiversität, Rohstoffknappheiten, die Materialmangel und Baupreissteigerungen prognostizieren lassen und wachsende Abfallmengen bei schwindenden Deponiekapazitäten begründen die Fragestellung, wie ein Bauwesen der Zukunft gestaltet sein kann. Dazu wurde der zukunftsorientierte Ansatz des kreislaufgerechten Bauens der gegenwärtigen linearwirtschaftlichen Ausgangssituation gegenübergestellt.

Das derzeitige Bauwesen ist davon geprägt, Teilprozesse separat voneinander zu betrachten, als darin ganzheitliche Systeme mit Wechselwirkungen zu erkennen. Dies bildet sich sowohl durch eine eingeschränkte Lebenszyklusbetrachtung, als auch durch einen separierten Blick auf ein Gebäude, seine Bauteile und -materialien ab, für die nach ihrer Nutzungszeit oftmals keine weitere Verwertung umgesetzt wird. Ein kreislaufgerechtes Bauen hingegen versteht die Gesamtheit an Bauwerken als Kreislaufsystem, die Rohstoffe und Materialien nicht verbraucht, sondern nach ihrer Nutzung wieder-, weiterverwendet oder -verwertet. Aufwendungen, die am Ende eines Lebenszyklus von Gebäuden erforderlich werden, sind schon zu Beginn einzuplanen. Die Unterschiede der beiden Wirtschaftsformen zeichnen sich auch bei der Gestaltung von Bauprodukten und Bauweisen ab: Aktuelle Baumaterialien bilden häufig mehrstoffliche Zusammensetzungen auf und / oder werden zu Verbundsystemen mit anderen Materialien zusammengefügt, wobei auf Grund fehlender Trennbarkeiten Abfall entsteht. Wiederverwendungspotenziale bei einem gleichbleibendem Qualitäts- und Wertniveau sind deshalb weniger vorzufinden, wohingegen sich Recyclingprozesse mit teilw. Qualitätsverlusten für einige Baustoffe etablieren konnten. Bei einer kreislaufgerechten Bauweise werden die Trennbarkeiten vorausgesetzt, um einen Werterhalt auf höchstem Niveau sicherzustellen – nachdem keinerlei rentable Wieder- und Weiterverwendungspotenziale vorhanden sind, wird mit Verwertungsmaßnahmen die Nutzungszeit von Rohstoffen verlängert, mit dem Ziel, jeglichen Abfall zu vermeiden. Dauerhafte, werterhaltende Produkte und möglichst umweltfreundliche Verarbeitungsprozesse werden dafür umgesetzt, um eine Regeneration der Natur zu ermöglichen. Zum Schutz von Ressourcenvorkommen wird außerdem das Potenzial zur Rohstoffgewinnung in der bereits gebauten Umwelt gesehen. Auch im Verständnis von Abfall unterscheiden sich ein linearwirtschaftliches Bauwesen und eine Kreislaufwirtschaft deutlich: Während gegenwärtig Abfallprodukte etablierter Bestandteil unserer „Wegwerfgesellschaft“ sind, wendet sich ein kreislaufgerechtes Bauen vollständig davon ab, nicht verwertbare Endprodukte herzustellen, was durch eine Herstellerverantwortung und Produkte als Dienstleistungsgüter umgesetzt werden soll.

Es wird ersichtlich, in welcher Deutlichkeit sich eine Linearwirtschaft und eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen unterscheiden und welche weitreichenden Veränderungen für eine Entwicklung hin zu einem kreislaufgerechten Bauen erforderlich wären. Dies wurde zum Anlass genommen, die derzeitigen gesetzlichen Vorgaben hinsichtlich ihrer Potenziale und Desiderate für eine konkrete Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauwesens zu untersuchen.

Potenziale zeichnen sich hinsichtlich der angestrebten Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenentnahme sowie die Stärkung von Rohstoffproduktivitäten und effizienter Ressourcennutzung ab. Daneben ist der geförderte Einsatz von Sekundärrohstoffen sowie die Bestrebung von Wiederverwendungs- und Recyclingmaßnahmen als Potenzial anzusehen. Jedoch mangelt es hierbei an einer differenzierten Unterscheidung der Begrifflichkeiten „Wiederverwendung“ und „Recycling“, was vermeidbare Qualitätsverluste ermöglicht. Außerdem werden für den Einsatz von Sekundärrohstoffen keinerlei Zielvorgaben gemacht, wie hoch deren Anteil sein muss. Ein Ausblick auf die Ersatzbaustoffverordnung lässt hingegen deutliche Potenziale für eine Entwicklung hin zu einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen erkennen. Durch sie wird angestrebt, dass Rezyklate bei entsprechenden Eigenschaften eine Gleichstellung mit Primärrohstoffen erreichen können und sie ihren Abfallstatus verlieren. Gesetzliche Desiderate für eine Kreislaufwirtschaft zeichnen sich wiederum besonders bei den Klimaschutzgesetzen ab: Anstatt eine Regeneration der Natur durch positiven Einfluss zu bewirken, sind sie lediglich darauf ausgerichtet, schädliche anthropogene Auswirkungen zu reduzieren. Ebenso wird ein reduzierter Energieverbrauch umgesetzt, anstatt energiepositiv zu sein.

Das schwerwiegendste gesetzliche Desiderat für eine tatsächliche Umsetzung eines kreislaufgerechten Bauwesens ist in dem grundsätzlichen Verständnis der „Kreislaufwirtschaft“ zu erkennen. Nationale Abfall- und Kreislaufwirtschaftsgesetze geben neben einer effizienten Ressourcennutzung nur einen Umgang mit entstehendem Abfall vor. Dabei findet zwar eine Differenzierung zwischen den Verwendungs- und Verwertungsverfahren und ihrem möglichen Qualitäts- und Wertverlust statt und wird auch entsprechend priorisiert. Der Grundgedanke einer Kreislaufwirtschaft, nämlich die Vermeidung von Abfall schon zu Beginn von Prozessen, indem Bauprodukte, -teile und Gebäude unter Beachtung von kreislaufgerechten Kriterien entwickelt und geplant werden, findet hier keinerlei Berücksichtigung. Ein maximaler Qualitätserhalt wird nicht verpflichtend vorgegeben. Dies zeigt deutlich, dass die vorliegenden gesetzlichen Rahmenbedingungen derzeit keineswegs auf eine Entwicklung von einer Linearwirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft ausgerichtet sind, was sich gleichermaßen für ein kreislaufgerechtes Bauwesen abbildet.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit verdeutlichen, dass die tatsächliche Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen deutliches Entwicklungspotenzial erfordert, das sich neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen ebenso auf eine Vielzahl weiterer etablierter Prozesse ausweitet. Dabei konnte sich in dieser Arbeit auf Grund des Umfangs der Thematik lediglich auf eine theoretische Betrachtung des linearwirtschaftlichen und kreislaufwirtschaftlichen Gefüges im Bauwesen konzentriert werden. Aus diesem Grund lohnt sich die Untersuchung der Baupraxis in einer zukünftigen wissenschaftlichen Arbeit mit folgenden Fragestellungen:

Wie bewerten Fachleute aus der Baupraxis die Potenziale für eine konkrete Etablierung eines kreislaufgerechten Bauens?

Welche Baumaterialien und Bauteilfügungen zeigen eine besondere Eignung für ein kreislaufgerechtes Bauen auf?

Welche Kostenentwicklungen sind bei einem Übergang von einem konventionellen zu einem kreislaufgerechten Bauen zu erwarten?

ANHANG

A 1 GEGENÜBERSTELLUNG VON ZERTIFIZIERUNGSSYSTEMEN HINSICHTLICH ÖKOLOGISCHER, ÖKONOMISCHER, SOZIAL-FUNKTIONALER UND TECHNISCHER QUALITÄTEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER RELEVANZ FÜR KREISLAUFGERECHTIGKEIT IM BAUWESEN¹⁶⁰

	Besonders relevant	DGNB	LEED	BREEAM
Ökologische Qualitäten				
Emissionsbedingte Umweltwirkungen	x	■	■	■
Risiken für lokale Umwelt	x	■	■	■
Umweltverträgliche Materialgewinnung	x	■	■	■
Primärenergie	x	■	■	■
Frischwasserverbrauch	x	■	■	■
Flächeninanspruchnahme	x	■	■	■
Ökonomische Qualitäten				
Gebäudebezogene Lebenszykluskosten	x	■	■	■
Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit	x	■	■	■
Marktfähigkeit		■	■	■
Soziale / Funktionale Qualitäten				
Thermischer Komfort	x	■	■	■
Innenraumlufqualität	x	■	■	■
Akustischer Komfort	x	■	■	■
Visueller Komfort	x	■	■	■
Einflussnahme des Nutzers	x	■	■	■
Außenraumqualität		■	■	■
Barrierefreiheit und Sicherheit	x	■	■	■
Öffentliche Zugänglichkeit		■	■	■
Fahrradkomfort		■	■	■
Verfahren städtebaul./gestalt. Konzeption		■	■	■
Gestaltung (und Kunst)		■	■	■
Grundrissqualitäten	x	■	■	■
Technische Qualitäten				
Brandschutz, Schallschutz	x	■	■	■
Gebäudehülle	x	■	■	■
Dauerhaftigkeit der Bauprodukte	x	■	■	■
Widerstandsfähigkeit gegen Unwetter	x	■	■	■
Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit	x	■	■	■
Ausstattungsfreundlichkeit TGA		■	■	■

Legende: Hohe Anforderung ■ Mittlere Anforderung ■ keine Anforderung □

¹⁶⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an Wolf-Zdekauer 2020, S. 82 ff.

A 2 ZERTIFIZIERUNGSKRITERIEN FÜR DGNB MIT RELEVANZ FÜR EINE CIRCULAR ECONOMY¹⁶¹

Planungs- und Herstellung	Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit in Planung berücksichtigt
	Ökobilanzierung des Gebäudes
	Verantwortungsbewusste Ressourcenverwendung bezügl. Wieder-/ Weiterverwendung der Altsubstanz
	Lebenszykluskostenbetrachtung inkl. Circular Economy-Bonus bei Wiederverwendung von Altsubstanz
	Vermeidung und Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen auf der Baustelle
	Verantwortungsbewusste Ressourcenverwendung bezügl. Verwendung von Sekundärrohstoffen
Nutzung	Berücksichtigung von Schadstofffreiheit wg. Risiken für die Umwelt
	Lebenszyklusbetrachtung inkl. Circular Economy-Bonus für Leasing-Modelle von Bauteilen
	Wasserkreislauf wird hinsichtlich Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen bewertet
	Ökobilanzierung des Gebäudes inkl. Anteil erneuerbarer Primärenergie
	Einsatz und Integration von Gebäudetechnik
	Betrachtung der Lebenszykluskosten
End of Life	Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit
	Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit hinsichtlich sortenreiner Trennung und Demontage
	Ökobilanzierung des Gebäudes inkl. Berücksichtigung von Recyclingpotenzial

¹⁶¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Rosen 2021b, S. 25

A 3 BEISPIELENTWURF DES GEBÄUDERESSOURCENPASS DER DGNB¹⁶²



Beispielentwurf des Gebäuderessourcenpasses in aggregierter Form

Allgemeine Informationen und Massen:

1 Standort & Baujahr*	Adresse Baujahr 2022	
2 Art der Bauweise*	Holz-Hybridbauweise	
3 Bestandserhalt (durch Sanierung / Umbau) oder Neubau	Neubau	
4 Gesamtmasse des Gebäudes*	250.000	[kg]
5 Flächengewichtete Gesamtmasse des Gebäudes *	192	[kg/m ² NF]
6 Umfang der im Pass dokumentierten Massen*	ca. 95 % (geschätzt)	[Massen-% Bauwerk]
7 Grundlage der Daten / Nutzung von Materialpässen*	Daten auf Bauteilebene basierend auf detaillierten Materialpässe verfügbar	
8 ID Gebäuderessourcenpass*	Nummer	

Inhaltsstoffe / Verwendung zirkulärer Wertstoffe:

9 Vorhandene Materialarten im Gebäude*	<ul style="list-style-type: none"> Mineralische Baustoffe Holz und Holzwerkstoffe Glas Kunststoff Bituminöse Mischungen Metalle Gips Materialmix Elektrik und Elektronik
10 Vorhandensein „kritischer“ Inhaltsstoffe im Gebäude*	Ohne (verifiziert nach DGNB)
11 Qualitätseinstufung bezüglich „kritischer“ Inhaltsstoffe gemäß definiertem Verfahren	Qualitätsstufe 5 gemäß BNB (K1 6) und Qualitätsstufe 4 gemäß DGNB (ENV1.2)
12 Umgesetzte Kreislaufführung: Anteil der Wiederverwendung, Recyclingmaterialien, Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen und nicht erneuerbaren Primärmaterialien im Gebäude*	<ul style="list-style-type: none"> Wiederverwendet Rezykliert Nicht erneuerbare Primärmaterialien Nachwachsende Rohstoffe
13 Bau- und Abbruchabfälle: Massen und Verwertungswege*	x i Gesamt, davon x % zur Verwertung und y % zur Wiederverwendung

Umweltwirkungen / Bauwerks- / Materialgebundene THG-Emissionen und Energieeinsatz:

14 Treibhausgas-Emissionen des Bauwerks*	kg CO ₂ e/m ² NF*a	kg CO ₂ e/Person*a	über 50 Jahre Referenznutzungsdauer, Zusatzangabe alternative Bezugseinheit z.B. Person
Produktion (A1-3):	6,5	n.v.	
Transport und Errichtung (A4-5):	1,1	n.v.	
Szenario: Bauwerksbezogene Nutzungsphase (B1-5):	2,3	n.v.	
Szenario: Nutzungsende (C1-4):	1,2	n.v.	
Szenario: Gutschriften und Lasten (D):	0,5	n.v.	
15 Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) des Bauwerks	kWh nicht erneuerbar/m ² NF*a		über 50 Jahre Referenznutzungsdauer
Produktion (A1-3):	65		
Transport und Errichtung (A4-5):	11		
Szenario: Bauwerksbezogene Nutzungsphase (B1-5):	23		
Szenario: Nutzungsende (C1-4):	12		
Szenario: Gutschriften und Lasten (D):	05		
16 Angabe angewandtes Ökobilanz-Verfahren*	gemäß DGNB, vollständiges Verfahren		

Zirkuläre Nutzung:

17 Mehrfachnutzung von Flächen im Gebäude	15%	[%-Anteil der NF]
18 Flächenteilung im Gebäude einfach umsetzbar	ja, größtenteils	ja / nein
19 Flächennutzungsgrad	45%	[%]
20 Flächenbedarf je Bezugseinheit	40 m ² / Person	[m ² /BE]

Umbau- / Rückbaufreundlichkeit und Nachnutzung:

21 Konzept zur Anpassung des Gebäudes, zur zerstörungsfreien Demontage und sortenreinen Trennung bei Umbau oder Rückbau vorhanden*	Verifiziertes Konzept liegt vor	Konzept liegt vor / liegt nicht vor / ggfs. Quelle
22 Potenzielle Kreislauffähigkeit: Nachnutzungswege (aus heutiger Perspektive) für Gebäude (massenbezogene Quoten je Weg)*	<ul style="list-style-type: none"> Wiederverwendbar Verwertbar Deponie Verbrennung 	

Dokumentation und aggregierte Zirkularitätsbewertung:

23 Aggregierte quantitative Zirkularitätsbewertung Vor- und Nachnutzungsphase (gemäß anerkannter Methode)	z.B. UMI = 56, MCI = 56%
24 Digitale Dokumentation & Schnittstellen vorhanden*	vollständig verfügbar
25 Regelm. Aktualisierung der Doku. nach Austausch*	jährliche Aktualisierung geplant

¹⁶² Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. o.J.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle 2018 (in Mio. t).....	7
Abb. 2: Dimensionen der Nachhaltigkeit	15
Abb. 3: Abfallhierarchie mit Prioritätenreihenfolge gem. AbfRRL	20
Abb. 4: Ebenen des Abfallrechts mit Relevanz für Rückbau u. Recycling	22
Abb. 5: Kreislaufgerechter Lebenszyklus von Gebäuden	24
Abb. 6 Prinzip des biologischen und technischen Kreislaufs.....	27
Abb. 7: Kreislaufwirtschaft auf der Grundlage von Cradle to Cradle.....	30
Abb. 8: Urban Mining als Teilprozess des kreislaufgerechten Bauens	34
Abb. 9: Ausschnitt aus einem Building Circularity Passport® mit Darstellung der Gebäudeperformance	38
Abb. 10: Beispielhafte Berechnung des Urban Mining Indicator mit Hilfe von Loop- u. Closed-Loop-Potenzialen.....	40
Abb. 11: Beispielhafte Berechnung des Building Score mit Hilfe des Circularity Indicator	41

LITERATURVERZEICHNIS

Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union (2019): Level(s): Taking action on the TOTAL impact of the construction sector. Hg. v. Europäische Kommission. Luxemburg.

Bachmann, Günther (2021): Urban Resource Exploration – Produzieren in geschlossenen Stoffkreisläufen. In: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen und Johanna-Katharina Seggewies (Hg.): Atlas Recycling. Gebäude als Materialresource. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail), S. 6–7.

Baunetz (2010): Baunetzwoche #198. Luigi Snozzi, Professeur. In: *Baunetzwoche* (198). Online verfügbar unter https://www.baunetz.de/baunetzwoche/baunetzwoche_ausgabe_1406883.html, zuletzt geprüft am 12.11.2022.

Braungart, Michael; McDonough, William (2014): Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 7. Auflage, ungekürzte Taschenbuchausgabe. München: Piper (Piper, 30467).

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hg.) (2020): Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt. Bonn (17/2020). Online verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf?__blob=publication-File&v=3, zuletzt geprüft am 12.11.2022.

Cortés, Emmanuel; Vande Capelle, Arne (2021): Urban Mine Incorporation. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 79–89.

Deilmann, Clemens; Reichenbach, Jan; Krauß, Norbert; Gruhler, Karin (2016): Materialströme im Hochbau. Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis, 06). Online verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/zukunft-bauen-fp/2017/band-06-dl.pdf;jsessionid=A3991042CF49A0180F6D32AFF1397002.live11312?__blob=publication-File&v=1, zuletzt geprüft am 12.12.2022.

EPEA – Part of Drees & Sommer (Hg.) (2021): Das Cradle to Cradle®- Designprinzip _ für Gebäude. Online verfügbar unter https://epea.com/fileadmin/user_upload/5.0_News/C2C_Booklet_EPEA_PART_II_Gebaeude.pdf, zuletzt geprüft am 14.10.2022.

Graubner, Carl-Alexander; Hüske, Katja (2003): Nachhaltigkeit im Bauwesen. Grundlagen - Instrumente - Beispiele. Berlin: Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=Hsm1-qdg4a4C&oi=fnd&pg=PA1&dq=bauwesen+auswirkungen&ots=vfuG-zTVGXz&sig=ncqVZyqAuOGDk_aSz-BvsqVluME#v=onepage&q=bauwesen%20auswirkungen&f=false, zuletzt geprüft am 24.11.2022.

- Hebel, Dirk; Heisel, Felix; Webster, Ken (Hg.) (2022): *Besser - Weniger - Anders Bauen: Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft*. Birkhäuser. 1. Auflage. Basel: Birkhäuser.
- Heisel, Felix; Hebel, Dirk E. (2021a): Die Urban Mining and Recycling (UMAR) Unit. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 108–123.
- Heisel, Felix; Hebel, Dirk E. (Hg.) (2021b): *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Heisel, Felix; Rau-Oberhuber, Sabine (2021): Materialpässe und Materialkataster für die Dokumentation und Planung. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 157–167.
- Heisel, Felix; Schlesiger, Karsten; E. Hebel, Dirk (2021): Der Mehr.WERT.Pavillon auf der Bundesgartenschau Heilbronn. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 90–104.
- Helmus, Manfred; Kesting, Holger (2021): BIM zur Optimierung von Stoffkreisläufen im Bauwesen. In: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen und Johanna-Katharina Seggewies (Hg.): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail), S. 32–33.
- Hillebrandt, Annette (2021a): Architekturkreisläufe - Urban-Mining-Design. In: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen und Johanna-Katharina Seggewies (Hg.): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail), S. 10–15.
- Hillebrandt, Annette (2021b): Kreisläufe schließen. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 49–64.
- Hillebrandt, Annette; Riegler-Floors, Petra; Rosen, Anja; Seggewies, Johanna-Katharina (Hg.) (2021): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail).
- Hillebrandt, Annette; Seggewies, Johanna-Katharina (2021): Recyclingpotenziale von Baustoffen. In: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen und Johanna-Katharina Seggewies (Hg.): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail), S. 58–101.
- Müller, Kerstin (2021): Das Lesen und Weiterschreiben der gebauten Umwelt. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 65–78.
- Münger, Alfred (2021): *Kreislaufwirtschaft als Strategie der Zukunft. Nachhaltige Geschäftsmodelle entwickeln und umsetzen*. 1. Auflage. Freiburg, München, Stuttgart: Haufe Group. Online verfügbar unter https://www.wiso-net.de/document/HAUF,AHAU,VHAU__9783648156230235, zuletzt geprüft am 08.11.2022.

Riegler-Floors, Petra; Hillebrandt, Annette (2021): Lösbare Verbindungen und Konstruktionen. In: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen und Johanna-Katharina Seggewies (Hg.): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail), S. 42–101.

Rosen, Anja (2021): Urban Mining Index. Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. Online verfügbar unter <https://www.irb-net.de/daten/rswb/21049001601.pdf>, zuletzt geprüft am 06.11.2022.

Rosen, Anja (2021a): Bewertung der Kreislaufpotenziale. In: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen und Johanna-Katharina Seggewies (Hg.): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail), S. 114–117.

Rosen, Anja (2021b): Bewertungssysteme im Überblick. In: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen und Johanna-Katharina Seggewies (Hg.): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail), S. 24–31.

Rosen, Anja (2021c): Rückbau, Verwertung und Entsorgung im Bauwesen. In: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen und Johanna-Katharina Seggewies (Hg.): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail).

Rosen, Anja (2021d): Sind Kreislaufpotenziale messbar? Eine Analyse am Beispiel von Fassaden- und Dachbekleidungen. In: Annette Hillebrandt, Petra Riegler-Floors, Anja Rosen und Johanna-Katharina Seggewies (Hg.): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail), S. 108–113.

Rosen, Anja (2022): Die ökonomie des Urban Mining Das Modellprojekt Rathaus Korbach. In: Dirk Hebel, Felix Heisel und Ken Webster (Hg.): Besser - Weniger - Anders Bauen: Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft. 1. Auflage. Basel: Birkhäuser, S. 80–91.

Schneider, Daniela (2021): Einfach intelligent konstruieren. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 124–132.

Sobek, Werner (2021): Für mehr Menschen mit weniger Material bauen. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 23–32.

SPD; Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021— 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP). Hg. v. Sozialdemokratische Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und Freie Demokratische Partei (FDP). Berlin. Online verfügbar unter https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf, zuletzt geprüft am 16.12.2022.

Stahel, Walter R. (2021): Wirtschaften in Kreisläufen. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 33–44.

Umweltbundesamt (Hg.) (2020): Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_04_27_leitlinie_kreislaufwirtschaft_bf.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2022.

van Assche, Peter (2021): Kreislaufdenken als neue Systemlogik. In: Felix Heisel und Dirk E. Hebel (Hg.): Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 144–156.

Wolf-Zdekauer, Benjamin (2020): Bewertungsverfahren von Immobilien. Hochschule Mainz, 09.05.2020.

INTERNET-QUELLEN

Aachener Stiftung Kathy Beys (Hg.) (o.D.): Brundtland Bericht, 1987. Online verfügbar unter https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_563.htm, zuletzt aktualisiert am 13.11.2015, zuletzt geprüft am 10.11.2022.

Baunetz Wissen (o.J.a): Cradle-to-Cradle-Prinzip. Hg. v. Heinze GmbH | NL Berlin | BauNetz. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/baustoffe--teile/cradle-to-cradle-prinzip-748225>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 10.11.2022.

Baunetz Wissen (o.J.b): Graue Energie. Hg. v. Heinze GmbH | NL Berlin | BauNetz. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glossar/g/graue-energie-664290>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 14.12.2022.

Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hg.) (o.J.): Biosphäre, die. Online verfügbar unter <https://www.dwds.de/wb/Biosph%C3%A4re>, zuletzt aktualisiert am 11.05.2020, zuletzt geprüft am 14.12.2022.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit (Hg.) (2020): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III – 2020 bis 2023. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Online verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/ressourceneffizienz_programm_2020_2023.pdf, zuletzt aktualisiert am 06.2020, zuletzt geprüft am 27.11.2022.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hg.) (o.J.): Mantelverordnung. Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/faqs/mantelverordnung>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 28.11.2022.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hg.) (o.D.): Überblick zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess). Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/ressourceneffizienz/deutsches-ressourceneffizienzprogramm#c14753>, zuletzt aktualisiert am 2020, zuletzt geprüft am 27.11.2022.

Deutsche BauZeitschrift (2019): Ökobilanzierung von Gebäuden. Hg. v. Bauverlag BV GmbH. DBZ 12/2019. Online verfügbar unter https://www.dbz.de/artikel/dbz_oe-kobilanzierung_von_Gebaeuden_3467321.html, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 14.12.2022.

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. (Hg.) (o.J.): Gebäuderessourcenpass - Entwurf der DGNB. Online verfügbar unter <https://www.dgnb.de/de/themen/gebaeuderessourcenpass/index.php>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 19.10.2022.

Deutsches Institut für Normung e. V. (Hg.) (o.J.): Rechtsverbindlichkeit von Normen. Online verfügbar unter <https://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/normen-und-recht/rechtsverbindlichkeit-durch-normen>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 27.11.2022.

Ellen MacArthur Foundation (Hg.) (o.J.a): The Circular Economy in Detail. Online verfügbar unter <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 07.12.2022.

Ellen MacArthur Foundation (Hg.) (o.J.b): What is a circular economy? Online verfügbar unter <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 07.12.2022.

EPEA – Part of Drees & Sommer (Hg.) (o.J.): Cradle to Cradle. Online verfügbar unter <https://epea.com/ueber-uns/cradle-to-cradle>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 03.12.2022.

Germanwatch e.V. (Hg.) (2021): Erdüberlastungstag. Online verfügbar unter <https://www.germanwatch.org/de/overshoot>, zuletzt aktualisiert am 21.07.2021, zuletzt geprüft am 24.11.2022.

klimafakten.de (2015): Was er für den Bausektor bedeutet. Online verfügbar unter <https://www.klimafakten.de/branchenbericht/was-der-klimawandel-fuer-den-bausektor-bedeutet>, zuletzt aktualisiert am 21.09.2020, zuletzt geprüft am 08.11.2022.

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hg.) (o.J.): Bauen und Wohnen. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimafreundlich-wohnen-1672900>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 10.11.2022.

REMONDIS SE & Co. KG (Hg.) (o.J.): Immer das Neuste vom Neuen haben zu wollen, kostet. Vor allem Rohstoffe. Online verfügbar unter <https://www.remondis-nachhaltigkeit.de/vermitteln/rohstoffknappheit/?skip=1&rC=1>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 26.11.2022.

Rubel, Maike (2021): Ein Planungstool für zirkuläres Bauen. Ein Interview mit Anja Rosen. Online verfügbar unter <https://www.competitionline.com/de/news/schwerpunkt/ein-planungstool-fuer-zirkulaeres-bauen-3401.html>, zuletzt aktualisiert am 2021, zuletzt geprüft am 11.12.2022.

Umweltbundesamt (2014): Zu erwartende Klimaänderungen bis 2100. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/zu-erwartende-klimaaenderungen-bis-2100>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 24.11.2022.

Umweltbundesamt (2021): Bauabfälle. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#verwertung-von-bau-und-abbruchabfallen>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 12.11.2022.

Umweltbundesamt (2022a): Abfallaufkommen. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#deutschlands-abfall>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 12.11.2022.

Umweltbundesamt (2022b): Das anthropogene Lager. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/das-anthropogene-lager#das-anthropogene-lager-als-sekundaerohstoffquelle>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 08.12.2022.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (Hg.) (o.J.): Ressourcenverbrauch im Bauwesen. Online verfügbar unter <https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/ressourcenverbrauch-im-bauwesen/>, zuletzt aktualisiert am o.D., zuletzt geprüft am 15.10.2022.

GESETZE

AbfRRL	RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. Juni 2020 (BGBl. I S. 1533) geändert worden ist
EU-Bau-PVO	Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates(Text von Bedeutung für den EWR)
Europäisches Klimagesetz	VERORDNUNG (EU) 2021/1119 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 401/2009 und (EU) 2018/1999 („Europäisches Klimagesetz“)
GEG	Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), das durch Artikel 18a des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1237) geändert worden ist
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 896), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 28. April 2022 (BGBl. I S. 700) geändert worden ist

KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 20 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) Anlage 2 (zu § 4) Zulässige Jahresemissionsmengen für die Jahre 2020 bis 2030