

Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich

Modul 1: Einführung in die Kreislaufwirtschaft

Modul 2: Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

Modul 3: Tool zur Bewertung der Kreislauffähigkeit
von Gebäuden

Modul 4: Betrachtung der Umweltauswirkungen
entlang des Lebenszyklus

Modul 5: Abbildung der Kreislauffähigkeit auf
Produkt- und Gebäudeebene

Einleitung

Der Baubereich ist für zwei Drittel des Abfallaufkommens und die Hälfte des Ressourcenverbrauches in Österreich verantwortlich. Um in Zukunft mit den begrenzten, zur Verfügung stehenden Ressourcen in wirtschaftlicher und umweltverträglicher Weise umgehen und Potentiale in hohem Maße nutzen zu können, ist ein Umdenken in Richtung Kreislaufwirtschaft und nachhaltiger Gebäudegestaltung unabdingbar.

Vorliegendes Modul ist Teil der im Projekt AbBau - Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich ausgearbeiteten Materialien. Die Unterlagen bestehen aus vier theoretischen Modulen und einem praktischen Modul (Tool zur kreislauffähigen Gestaltung von Gebäuden), die zur freien und flexiblen Verwendung für HTLs im Bereich Bau und Produktdesign vorliegen. Die Anwendung ist fächerübergreifend und für kooperative Lernformen möglich, es können individuelle Schwerpunkte gesetzt werden. Möglich ist die Integration der Lehrmaterialien beispielsweise in Fächern wie Baukonstruktionstechnik, Hochbautechnologie oder die Anwendung im Bau- oder Designlabor.

Die Lehrmodule leisten einen Beitrag zur Integration vielschichtiger Aspekte rund um Kreislaufwirtschaft in die berufliche Aus- und Weiterbildung und können auch von Unternehmen genutzt werden.

*Projektleitung: TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign
Kooperation: Österreichisches Ökologie-Institut
Wien, März 2020*

Die Ausarbeitung wurde durch die Abfallvermeidungsförderung der Sammel- und Verwertungssysteme für Verpackungen finanziert.

Modul 1: Einführung in die Kreislaufwirtschaft

Zusammenfassung Modul 1

Die Baubranche zählt Input- wie Output seitig zu den Ressourcen intensivsten Wirtschaftsbereichen. Im einführenden Modul wird der Ressourcenverbrauch und das Abfallaufkommen im Baubereich skizziert und wie unser vorherrschendes Wirtschaftssystem kurze Lebensdauern und hohe Ressourcenverbräuche begünstigt. Der Weg hin zu einer „echten“ Kreislaufwirtschaft ist Kernthema und Strategien zur Umsetzung auf Produkt- und Gebäudeebene werden vorgestellt. Kreislaufwirtschaft geht dabei weit über Recycling hinaus und bietet neue Lösungsansätze und Potentiale wie Wertschöpfung und Nutzen generiert werden können bei gleichzeitiger Reduktion des Ressourcenverbrauches. Aktuelle Entwicklungen im Baubereich, Studien und nationale wie internationale Pionierprojekte weisen den Weg in Richtung kreislauffähigen Gestaltens und Bauens, die EU fungiert hier mit ambitionierten Aktionsplänen und Projekten als Motor.

Lernziele

- Zusammenhang Ressourcenverbrauch und Abfallaufkommen verstehen
- Entwicklungen im Baubereich beschreiben können
- Definition und Strategien zur Umsetzung von Kreislaufwirtschaft kennen
- Anwendung auf eigene Beispiele

Inhalt

1. Warum wir einen neuen Zugang zu Produktion und Konsum brauchen.....	4
2. Vom linearen Wirtschaftssystem zu einer Kreislaufwirtschaft	7
3. Strategien der Kreislaufwirtschaft und Gestaltungsmöglichkeiten	11
4. Bauen und Kreislaufwirtschaft	14
5. Projekte und Beispiele.....	17
Literatur	18
Anhang mit Abbildungen.....	18

1. Warum wir einen neuen Zugang zu Produktion und Konsum brauchen

Auswirkungen von Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum

In den letzten Jahrzehnten hat die industrielle und wirtschaftliche Entwicklung in vielen Ländern, vor allem in Europa und Nordamerika, einen deutlichen Schub erlebt. Dies kann man zum Beispiel an der Entwicklung des globalen Bruttoinlandsproduktes (BIP) sehen, das seit 1900 um den Faktor 25 gewachsen ist. Hinzu kommt ein erwarteter Anstieg der Weltbevölkerung von sieben auf etwa zehn Milliarden Menschen in den nächsten 40 Jahren.

In Österreich steigt der Flächenverbrauch für Siedlungen nach wie vor wesentlich stärker als die Bevölkerungsentwicklung. Der individuelle Bedarf an Wohnraum nimmt zu. 1971 kamen in Österreich auf jede Person knapp mehr als 20 m² Wohnfläche. 2011 waren es mehr als 40 m². In 40 Jahren hat sich die Wohnfläche pro Person verdoppelt.¹ Zudem sind drei Viertel aller Gebäude Österreichs Ein- und Zweifamilienhäuser, in denen derzeit 58% aller Menschen leben. Der Flächenverbrauch ist enorm, der Sanierungs- und Revitalisierungsbedarf des Bestandes an Einfamilienhäusern hoch. Tatsächlich werden nur 0,4 % der Bauvorhaben durch Sanierung realisiert, der Rest wird neu gebaut.

Diese beiden Entwicklungen gehen mit einem steigenden Ressourcenbedarf einher – in den letzten 30 Jahren hat sich der weltweite Materialabbau mehr als verdoppelt. Besonders betroffen sind mineralische Rohstoffe für die Industrie und Baubranche, in denen ein Zuwachs von 240% aufgrund des steigenden Bedarfs v.a. in Entwicklungsländern zu beobachten ist. Der **Bedarf an Baurohstoffen** wie Sand, Kies, Ton und Natursteinen liegt in Österreich in den letzten Jahren zw. **100 - 105 Mio. Tonnen pro**

Jahr. Der Pro-Kopf-Verbrauch an Baurohstoffen liegt derzeit in Österreich bei rund 12-15 Tonnen pro Jahr.

Ressourcenbedarf und Abfallaufkommen in der Baubranche

Die Baubranche ist ein großer Wirtschaftszweig für Österreich, schafft Arbeitsplätze und lokale Wertschöpfung. Sie generiert etwa 9% des BIPs der EU und 18 Millionen Jobs direkt in der Branche, weswegen sie ein wichtiger Faktor unseres Wohlstandes ist. Nachteilig zu sehen ist der enorme Ressourcenverbrauch, der damit einhergeht: Die Bauwirtschaft verursacht rund 40-50 % des gesamten österreichischen Energie- und Ressourcenverbrauchs und rund 72 % des gesamten Abfallaufkommens (inklusive Aushubmaterialien, siehe Abb. 1). Anmerkung: Eine größere Version der Grafiken befindet sich jeweils im Anhang. Im Jahr 2015 fielen in Österreich rd. 10 Millionen Tonnen Bau- und Abbruchabfälle an.

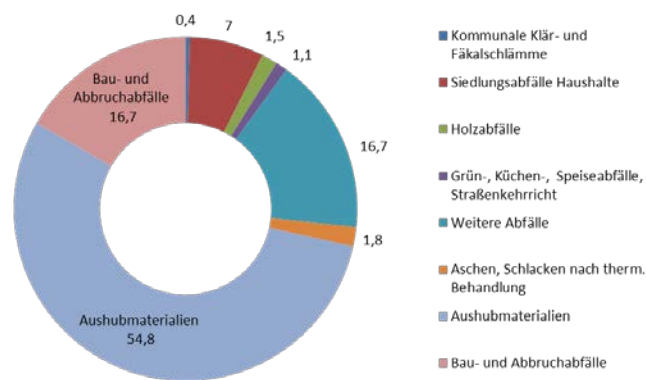


Abbildung 1: Abfallaufkommen in Österreich in %²

90 % der Bau- und Abbruchabfälle entstehen bei Abbruch, Umbau und Sanierung, nur 10 % bei der Errichtung³. Das **Abfallaufkommen und die Zusammensetzung der Abfälle und damit einhergehende Maßnahmen zur Verwertung und Entsorgung werden durch Entscheidungen in der Planung, Errichtung und Ausführung von Gebäuden maßgeblich**

¹ <https://www.wienerzeitung.at/themen/stadt-und-land/854969-Wie-gross-wollen-wir-wohnen.html>

² BAWPL 2017, Bundesabfallwirtschaftsplan 2017

³ BAWPL 2017, Bundesabfallwirtschaftsplan 2017

beeinflusst. Die einzelnen Komponenten tragen durch deren **Materialwahl, Verbindungstechnik und Lebensdauer wesentlich** dazu bei. Mehr dazu in → *Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens.*

In Österreich dominiert die Massivbauweise, daher bestehen **70-90 % der Bau- und Abbruchabfälle aus Beton, Ziegel- und sonstigen Mauerwerksabbrüchen.**

Massenmäßig weniger relevant, doch aufgrund ihrer Gefährlichkeit für Mensch, Tier und Umwelt besonders zu handhaben sind z. B. Dämmmaterialien aus lungengängigen Mineralfasern oder mit FCKW geschäumte Platten. Gefährliche Abfälle sind nach Möglichkeit zu vermeiden, auf ein absolutes Minimum zu beschränken und erfordern beim Abbruch der Materialien wie auch bei der Entsorgung gesonderte Sicherungsvorkehrungen.

Qualitative Abfallvermeidung

= Reduzierung der Menge

Quantitative Abfallvermeidung

= Reduzierung der Gefährlichkeit

Steigende Bautätigkeit

Wirtschaftswachstum und Wohlstand fördern eine vermehrte Bautätigkeit, geprägt durch:
→ erhöhten Flächenverbrauch
→ hohen Ressourcenbedarf
→ hohes Abfallaufkommen
→ Komfortbedürfnis und Steigerung der Komplexität von Produkten
→ Kunststoffe und Materialverbunde

Wusstest du, dass

- für den Bau eines Einfamilienhauses ca. 10 Tonnen Eisen erforderlich sind?
- ein Einfamilienhaus mit Keller aus rd. 440 Tonnen mineralischen Rohstoffen besteht?
- auch du – statistisch gesehen – pro Jahr 12-15 Tonnen Baurohstoffe verbrauchst? ⁴

Aufgrund des Komfortbedürfnisses und der stetigen Weiterentwicklung hinsichtlich der

Energieeffizienz steigt die Komplexität und Zusammensetzung von Gebäuden, was den Rohstoffbedarf weiter erhöht.

Baustoffe sind auf Gewährungszeiträume optimiert und möglichst günstige Ausgangsmaterialien werden bevorzugt. Die Entsorgungskosten liegen bei den Verbrauchern und Verbraucherinnen bzw. werden von der Gesellschaft getragen. In Ballungsräumen sinkt die Lebensdauer von Gebäuden u.a. aufgrund des Bodenpreises, welcher eine bessere Ausnutzung fordert und Erneuerungszyklen von Gebäuden verkürzen sich aufgrund steigender Anforderungen an die Performance.

Allerdings gibt es eine natürliche Beschränkung der uns Menschen zur Verfügung stehenden Ressourcen. Nicht nur erdölbasierte Rohstoffe sind begrenzt verfügbar. Im Bereich der mineralischen Rohstoffe stoßen wir ebenfalls an unsere Grenzen, wie die abnehmende Verfügbarkeit z. B. von Sand als Bauzuschlagsstoff belegt. Wüstensand ist nicht zur Betonherstellung geeignet. Deshalb haben Baukonzerne bislang Sand aus Flussbetten oder Kiesgruben abgebaut. Doch dieser Vorrat geht langsam zur Neige und Sand vom Meeresboden wird verstärkt gewonnen. Der weltweite Bauboom gefährdet mitunter ganze Ökosysteme.⁵⁶

Man spricht in diesem Zusammenhang von der **natürlichen Tragfähigkeit** der Erde. Ökosysteme wie Luft, Wasser, Boden haben eine bestimmte Aufnahmekapazität von Schadstoffen wie etwa CO₂ und die Fähigkeit zur Regenerierung nach Schadstoffeinträgen. Die Nachbildung von natürlichen Ressourcen, wie Holz oder Rohstoffen auf pflanzlicher Basis wie Öle oder Fasern ist zeitlich und flächenmäßig limitiert.

Dass die Menschheit die Tragfähigkeit der Erde bereits überschritten hat, illustrieren Indikatoren, wie z. B. der **ökologische**

⁴ BMNT, Energie und Bergbau (Sektion VI)

⁵ <https://netzfrauen.org/2018/04/22/sand/>

6

https://na.unep.net/geas/archive/pdfs/GEAS_Mar2014_Sand_Mining.pdf

Fußabdruck. Gemessen wird der ökologische Fußabdruck in global hectar (gha). Wenn die gesamte nutzbare Erdoberfläche auf alle Menschen gleich aufgeteilt wird, stehen jedem Menschen rein rechnerisch 1,8 Hektar zur Verfügung - das entspricht etwa drei Fußballfeldern. Im Jahr 2019 hätten wir etwa 1,7 Erden gebraucht, um unseren Ressourcenbedarf nachhaltig zu decken und unseren Abfall aufnehmen zu können.

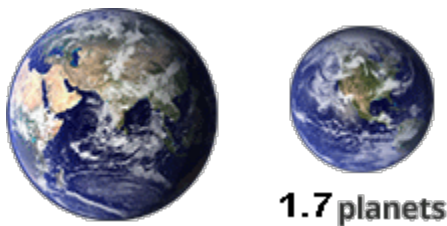


Abbildung 2: 1,7 Erden wären global nötig

Jede Österreicherin und jeder Österreicher braucht im Durchschnitt 5,31 gha auf der Erde, um ihre/seine persönlichen Ansprüche zu erfüllen. Zur Verfügung stehen uns jedoch nur 1,8 gha.^{7, 8}. D.h. wenn alle so leben würden wie wir, bräuchten wir drei Erden!

Wie hoch ist dein Fußabdruck?

Unter <https://www.mein-fussabdruck.at/> kannst du deinen persönlichen ökologischen Fußabdruck berechnen.

Am 1. August 2018 haben wir weltweit gesehen mehr natürliche Ressourcen verbraucht, als die Natur im ganzen Jahr regenerieren konnte und mehr CO₂ ausgestoßen, als die Atmosphäre aufnehmen konnte. Fachleute haben dieses Datum für den Welterschöpfungstag „Earth Overshoot Day“ 2018 berechnet. Im Jahr 2019 war dieser Tag am 29. Juli, also noch früher.

Freitag der 13. April 2018 war Overshoot Day für Österreich. An diesem Tag haben wir in Österreich alle Naturressourcen aufgebraucht, die uns - weltweit betrachtet - fairer Weise zustehen würden. Wir leben für den Rest des Jahres im ökologischen Defizit. 2019 hielten wir zwei Tage länger durch: 15.4.2019⁹

Wann werden wir heuer alle Naturreserven aufgebraucht haben?

Unter <https://www.overshootday.org/> kannst du Berechnungen für das laufende Jahr zum Erreichen des Welterschöpfungstages verfolgen.

Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen

83 % der Bau- und Abbruchabfälle werden bereits verwertet.¹⁰ Derzeit wird aber der Großteil im Straßenbau und zur Verschüttung, d.h. wertmindernd eingesetzt. Ganze Bauteile wie Fenster, Türen, Parkettböden oder Stiegen werden nur selten wiederverwendet. Bei **Holz- und Kunststoffabfällen** überwiegt die thermische Verwertung (Verbrennung unter Energiegewinnung), weil die Inhaltsstoffe (Holzschutz, flammhemmende Additive u.a.) eine stoffliche Verwertung (= Recycling) verhindern. Bei **Verbundstoffen** (= mehrere Materialien sind nicht trennbar miteinander verbunden, bei z. B.

Wärmedämmverbundsysteme) hindert die Nichttrennbarkeit eine stoffliche Verwertung. **Metalle können gut recycelt werden** und es hat sich ein Markt dafür etabliert. Nicht trennbare Verbundstoffe werden verbrannt und die Reststoffe werden deponiert.

⁷https://www.bmnt.gv.at/umwelt/nachhaltigkeit/bildung_nachhaltige_entwicklung/fussabdruck_rechner.html

⁸<http://www.footprint.at/index.php?id=8116>

⁹<https://www.umweltbildung.enu.at/der-oekologische-fussabdruck>

¹⁰ BAWPL 2017, Bundesabfallwirtschaftsplan 2017

2. Vom linearen Wirtschaftssystem zu einer Kreislaufwirtschaft

Das derzeitige lineare Wirtschaftssystem mit steigendem Ressourcenbedarf und Abfallaufkommen kann drastische Konsequenzen für unsere Lebens- und Arbeitsbedingungen haben. Ein Wandel ist notwendig, um die Klimakrise meistern zu können. Die Produktion von Gütern, die Errichtung, Nutzung und der Abbruch von Gebäuden sind vom Wandel betroffen.

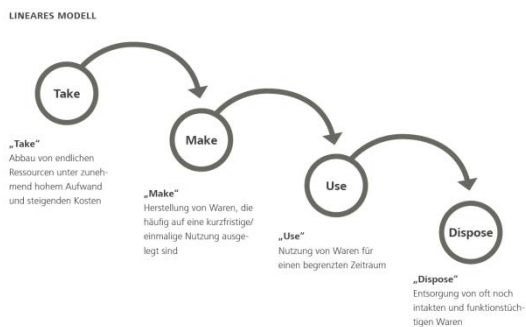


Abbildung 3: Lineares Modell des Wirtschaftens¹¹

- ➔ Was heißt das für die Baubranche? Dürfen wir jetzt nichts mehr bauen? Wie können wir anders bauen? Wie können wir den Rohstoffverbrauch reduzieren?
- ➔ In einer Kreislaufwirtschaft werden Rohstoffe auf möglichst hohem Niveau werterhaltend eingesetzt.
- ➔ Recycling ist ein wesentlicher Aspekt, aber es gibt zahlreiche Strategien und Maßnahmen, die Rohstoffe auf viel höherem Niveau nutzen können.

Ein Denken in Kreisläufen kann helfen, viele der genannten Probleme hinsichtlich Rohstoffabbau, Abfallaufkommen und Schadstoffproduktion anzugehen. Lineare Wirtschaftssysteme gehen von der Prämisse aus, dass Ressourcen reichlich vorhanden, einfach abzubauen und billig zu entsorgen sind. Dies stimmt jedoch nicht. Wir brauchen daher eine grundlegende Umstellung auf ein nachhaltigeres Modell:

In einer Kreislaufwirtschaft werden durch vorausschauende Planung und intelligente Gestaltung Abfall und Emissionen vermieden. Produkte und Materialien werden so lange wie möglich genutzt, um ihren Produktionswert auf hohem Niveau zu halten.

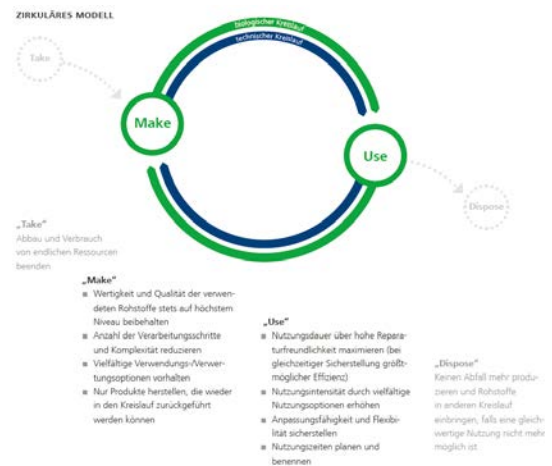


Abbildung 4: Auf Kreisläufe ausgerichtetes Modell des Wirtschaftens¹²

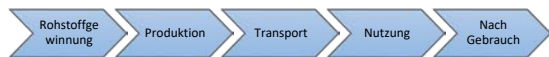
Nachdem in Österreich hohe Umweltauflagen vorherrschen, ist es gängige Praxis, dass Unternehmen durch verschiedene Maßnahmen - wie z. B. den Einbau von Filtern und eine saubere Produktionsweise - den Ausstoß von Emissionen und negative ökologischen Auswirkungen geringhalten. Steigende Produktions- und Verkaufszahlen machen die Einsparungen jedoch wieder wett. Eine zunehmend globale und komplexe Produktion erfordert daher eine andere Perspektive. Diese bezieht die ganze Wertschöpfungskette - vom Rohstofflieferanten bis zum Abbruchunternehmen - mit ein und setzt auf Langfristigkeit und Nachhaltigkeit statt auf schnelle Gewinne.

Das Denken in Kreisläufen erlaubt es, die Auswirkungen eines Produkts oder einer Dienstleistung entlang seines ganzen Lebenszyklus von der Wiege bis zur Bahre zu verstehen und zu optimieren.

¹¹ DGNB 2019, Circular Economy Report 2019

¹² DGNB 2019, Circular Economy Report 2019

Lebenszyklus von Produkten



Entlang des Lebenszyklus sind verschiedene Akteure involviert und agieren in der so genannten Wertschöpfungskette miteinander.

Lebenszyklus von Gebäuden

- Rohstoffgewinnung
- Produktion Komponenten
- Entwurf/Gestaltung/Design
- Errichtung
- Nutzung/Betrieb
- Renovierung
- Abbruch

In einer Kreislaufwirtschaft werden Stoff- und Materialströme in allen Lebenszyklusphasen geschlossen und nicht erst am Ende, wie z. B. beim Recyceln. Kreislaufwirtschaft reicht also weit über „erweitertes Recycling“ hinaus.

Unser lineares Wirtschaftsmodell ...

- begünstigt kürzere Nutzungsdauern von Gebäuden und Nutzungsgegenständen.
- erzeugt Wohlstand für wenige und Armut für viele.
- verursacht schädliche Emissionen für Mensch, Tier und Umwelt.

Was wäre, wenn?

- Wie können wir Wohlstand erzielen, ohne unseren Planeten auszubeuten?
- Wie können wir Arbeitsplätze schaffen ohne Produktionszahlen zu steigern und damit Ressourcen zu verbrauchen?
- Wie können wir Produkte gestalten, die schön, funktionell und langlebig sind?
- Wie können wir Häuser bauen, ohne die nächsten Generation damit zu belasten?

Bautätigkeit trägt zur Versiegelung von Flächen bei. Sie verursacht Druck auf Ökosysteme und die Abnahme der Biodiversität. Alle Akteure in der

Wertschöpfungskette tragen zum Rohstoffverbrauch und Abfallaufkommen bei. Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von Produkten bzw. Gebäuden ist erforderlich, um die negativen Auswirkungen beurteilen und vergleichen zu können, sowie Verbesserungspotentiale auszuloten. → *Siehe auch Modul 4: Betrachtung der Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus*

Die EU als Motor der Kreislaufwirtschaft

In den letzten Jahrzehnten hat die Europäische Kommission einige Initiativen ins Leben gerufen, um Ressourceneffizienz und – seit kurzem – den Übergang in eine Kreislaufwirtschaft zu fördern (siehe auch Literaturverzeichnis).

Umweltschutz, erhöhte Versorgungssicherheit für Rohstoffe, Förderung von Wettbewerb und Innovation, Wachstum und Arbeitsplätze sind nach Meinung des Europäischen Parlaments die **Chancen der Kreislaufwirtschaft**. Auf EU-Ebene werden aber auch einige damit einhergehende Herausforderungen gesehen, zum Beispiel die Finanzierung und wirtschaftliche Anreize, passende Geschäftsmodelle, nötige Fertigkeiten und Ausbildungsmöglichkeiten, Konsummuster und die Notwendigkeit einer politischen Steuerung auf mehreren Ebenen (z. B. lokal, regional, national und international)¹³.

Seit dem Beschluss des Kreislaufwirtschaftspaketes der EU ist der Begriff in aller Munde. Das Konzept ist nicht neu, es stammt aus den 1960er- und 1970er-Jahren, der Begriff „Kreislaufwirtschaft“ bzw. „Circular Economy“ wurde aber erst 1990 eingeführt. Mit der Gründung und Tätigkeit der Ellen MacArthur Foundation¹⁴ und der Annahme des Aktionsplans für Kreislaufwirtschaft¹⁵ durch die EU hat das Konzept eine breite Öffentlichkeit und

¹³ Europäisches Parlament, 2018.

¹⁴ Ellen MacArthur Foundation, 2012.

¹⁵ COM (2015) 614: Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft

Akzeptanz erreicht. Mit der Verabschiedung des Kreislaufwirtschaftspaketes im Jahr 2018 gibt die Europäische Kommission verbindliche Ziele zur Wiederverwertung von Abfällen für die Mitgliedstaaten vor. **Ab dem Jahr 2025 müssen 55 % der Siedlungsabfälle zur Wiederverwendung vorbereitet oder recycelt werden, ab 2030 gilt das für 60 % und ab 2035 für 65 % der Abfälle.** In Österreich beträgt die Recyclingquote für Siedlungsabfälle 52 %.

Ellen McArthur Foundation

Die britische Ellen MacArthur Foundation (EMF) ist aktuell ein großer Treiber für die Transformation von einem linearen Durchflussmodell hin zu einer Kreislaufwirtschaft und bündelt hochkarätige Kompetenzen aus Wirtschaft und Wissenschaft.



Abbildung 5: Ellen MacArthur, Gründerin EMF

Was man lernt, wenn man alleine um die Welt segelt¹⁶

Ellen MacArthur, [Weltrekordhalterin im Einhandsegeln](#), hat auf ihren Segelturns gelernt, was es heißt vorausschauend zu planen, zielgerichtet zu handeln, und sich die begrenzten Ressourcen an Board gut einzuteilen. Die notwendige „gute Haushaltsführung“ mit endlichen Ressourcen und diverse globale Umweltprobleme haben sie zur Gründung der Ellen MacArthur Foundation bewegt.

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>

¹⁶

https://www.ted.com/talks/dame_ellen_macarthur_the_surprising_thing_i_learned_sailing_solo_around_the_world/discussion?language=de

Wie Kreisläufe entlang des Produktlebens geschaffen und damit Werterhalt auf hohem Niveau erreicht werden kann, verdeutlicht das sogenannte **Butterfly Diagramm** der Ellen McArthur Foundation:

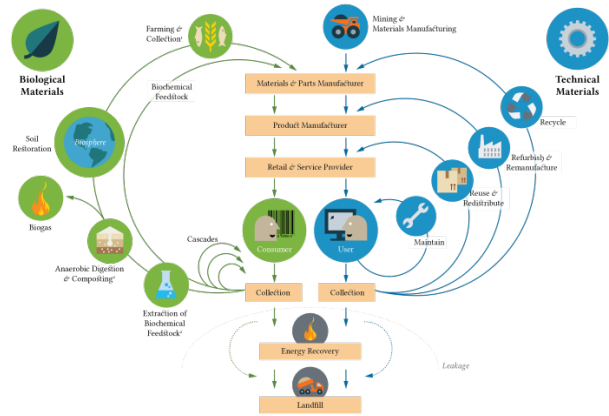


Abbildung 6: Butterfly Diagramm¹⁷

Das Diagramm zeigt zwei Kreisläufe, die ein wenig an Schmetterlingsflügel erinnern. Links ist der Kreislauf biologischer Nährstoffe zu sehen, die als **Verbrauchsgüter** während der Nutzung aufgebraucht werden, z. B. Reinigungs- oder Schmiermittel. Haben sie ihren Zweck erfüllt, gelangen sie über Boden, Wasser oder Luft zurück in die Biosphäre und sollten dort im Idealfall als gesunde Nährstoffe bzw. Ressourcen dienen. Die Unbedenklichkeit für Natur und Menschen ist dafür zentral.

Rechts abgebildet ist der Metabolismus technischer Nährstoffe bzw. **Servicegüter**. Das sind die Güter, die wir uns genauer ansehen möchten - sie werden bei ihrem Einsatz nicht aufgebraucht, z. B. Autos, Textilien, Möbel oder Gebäude. Diese Güter sollten so gestaltet sein, dass Ressourcen möglichst sparsam eingesetzt, lange genutzt und am Lebensende wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden. Die Nutzungsdauer kann durch eine flexible Gestaltung, Services für Wartung oder Reparatur verlängert werden. Durch gemeinschaftliche Nutzung, direkte

¹⁷ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic>

Wiederverwendung und Aufbereitung gebrauchter Güter können Rohstoffe gespart werden. Die Sanierung bestehender Gebäude trägt wesentlich zur Abfallvermeidung und Ressourcenschonung bei.

Je kleiner der Kreis/die Schleife (=loop), desto kleiner der benötigte Ressourcen- und Energieaufwand für die erneute Nutzung, und desto höher der bewahrte Wert eines Produkts.

Nun könnte man denken, dass ein unbehandeltes Holzmöbelstück auch in den biologischen Kreislauf passt. Das stimmt zwar, aber der Fokus sollte nicht nur auf Recycling oder gar Downcycling (Qualität des Materials nimmt ab) liegen, sondern auf dem Nutzen, den ein Rohstoff bzw. ein Produkt entlang der Wertschöpfungskette erhalten hat. Dieser sollte so lange wie möglich bewahrt werden. Dies kann mithilfe von geschlossenen Kreisläufen geschehen. Der Nutzwert eines Holzmöbelstücks zu Wohnzwecken liegt viel höher als der Materialwert des Holzes z. B. für Heizzwecke oder als Inputmaterial für Spanplatten. Ziel einer „echten“ Kreislaufwirtschaft ist es, Produkte auf möglichst hohem Niveau möglichst lange zu nutzen. Für das Möbelstück stellt z. B. Wiederverwendung (Re-use) für denselben Zweck (als Möbelstück) oder Weiterverwendung für einen anderen Zweck (als Gestaltungselement, Behälter für Pflanzen dgl.) eine werterhaltende Option dar.



Abbildung 7: Fenster vor und nach Abbruch eines Gebäudes¹⁸

Kreislaufwirtschaft ist mehr als Recycling

Kreislaufwirtschaft wird häufig mit Recycling oder im deutschsprachigen Raum auch mit Abfallwirtschaft gleichgesetzt. Beides greift zu kurz. Kreislaufwirtschaft geht viel weiter.

Kreislaufwirtschaft ist ein auf Regeneration ausgelegtes Wirtschaftssystem, das mit dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen erhält, sowie Nutzen und Wohlbefinden für Menschen schafft.

Kreislaufwirtschaft ermöglicht die verstärkte Nutzung von lokal verfügbaren und bereits vorhandenen Rohstoffen, schafft Arbeitsplätze und Wertschöpfung vor Ort und damit auch Unabhängigkeit!

So kann Kreislaufwirtschaft gelingen

Abbruch, Wiederaufbau oder zukünftige Anpassungen von Gebäuden sollten bereits in der Planung berücksichtigt werden. Die **kreislauffähige Gestaltung** muss dazu bereits in den ersten Phasen der Projektplanung und -entwicklung berücksichtigt werden. Planende und ArchitektInnen sollten lokale Behörden und die zukünftigen Eigentümer der Anlagen in die Planung der Strategie für den Lebenszyklus des Gebäudes miteinbeziehen, damit Kreisläufe tatsächlich möglich werden.

Informationsmanagement hilft zu verstehen, wann und wo Kosten entstehen, wie Ressourcen möglichst sinnvoll eingesetzt werden können, welchen Lebenszyklus die Komponenten durchlaufen bzw. was mit ihnen am Lebensende passiert und wer im Zweifelsfall haftet z. B. bei wieder verwendeten Produkten.

Kooperationen zwischen Akteuren können für mehr Transparenz und Innovation sorgen. Neue Produkte und Geschäftsmodelle z. B. Mieten statt Kaufen oder Rücknahmesysteme können sich etablieren.

¹⁸ Fotos: Baukarussell

3. Strategien der Kreislaufwirtschaft und Gestaltungsmöglichkeiten

Die Ellen MacArthur Foundation hat mit ReSOLVE einen strategischen Rahmen entwickelt, der spezifische Methoden für ein Wirtschaften in Kreisläufen aufzeigt:

- **Regenerate (Regenerieren):** Einsatz erneuerbarer Energien und Materialien.
- **Share (Teilen):** Verlangsamung der Geschwindigkeit innerhalb von Produktkreisläufen und Nutzenmaximierung durch Teilen.
- **Optimize (Optimieren):** Die Leistung und Effektivität von Produkten entlang des ganzen Lebenszyklus erhöhen.
- **Loop (Schleifen bilden):** Materialien und Bestandteile in geschlossenen Kreisläufen führen und die inneren (kleineren) Schleifen bevorzugen.
- **Virtualize (Virtualisieren):** Nutzen und Information nach Möglichkeit digital bereitstellen.
- **Exchange (Austauschen):** Alte Materialien durch Verbesserte ersetzen, neue Technologien, Produkte und Dienstleistungen nutzen.

Arbeitsaufgabe 1: ReSOLVE



Welche Beispiele fallen euch für Produkte oder ganze Gebäude ein?

Gestaltung und Innovation für die Kreislaufwirtschaft

Die meisten Produkte, die heutzutage erzeugt werden, sind so konzipiert, dass man sie regelmäßig austauschen muss. Das erfordert Ressourceninput auf der einen und Abfallentsorgung auf der anderen Seite. Materialien und Produkte, die in einer

Kreislaufwirtschaft zum Einsatz kommen, sollten hingegen für geschlossene Lebenszyklen entwickelt werden. Es handelt sich dabei um einen Zugang zu Produktdesign und Gestaltung, der seine Wurzeln im **Ökodesign** hat. Ziel von Ökodesign ist die Reduktion **der negativen Umweltauswirkungen durch Produktgestaltung bei gleichbleibendem oder höherem Nutzen.**

Was kann die Produktgestaltung zu einer kreislauffähigeren Bauwirtschaft beitragen?

Wie müssen Komponenten für Gebäude gestaltet sein?

In der Planungsphase ist der Hebel am Größten!

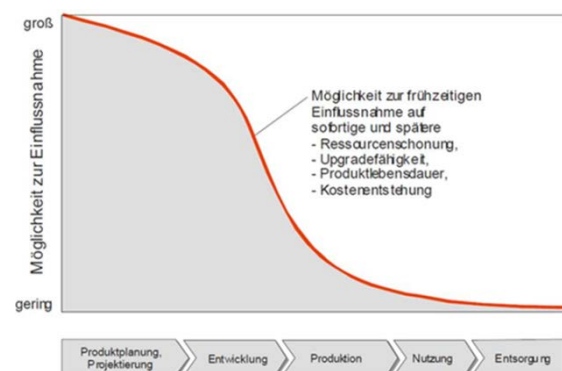


Abbildung 8: Einfluss Produktplanung auf nachfolgende Lebensphasen¹⁹

Beitrag der Produktgestaltung zur Ressourcenschonung und Abfallvermeidung

Design für Kreislaufwirtschaft (design for circularity) umfasst die Gestaltung von Produkten und die Entwicklung von Dienstleistungen, die das herkömmliche Konzept vom „Lebensende“ eines Produkts ersetzen. Das Schließen von Ressourcenströmen passiert dabei in verschiedenen Lebenszyklusphasen. Das wird durch **Innovation und neue Unternehmens- und Organisationsmodelle** ermöglicht und zielt auf **nachhaltige Entwicklung durch den Erhalt der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen und des menschlichen**

¹⁹ Heßling, T. 2006

Wohlbefindens ab. Innovationen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft sollen Nutzen stiften, Werte erhalten und nachhaltig sein. In diesem Zusammenhang bedeutet Design Produktgestaltung, die Form, Funktionalität und Nutzen miteinschließt und weit über die äußere Form hinausgeht. → *Siehe Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens*

Design for Circularity - Prinzipien

- weniger Rohstoffe einsetzen - narrow resource flows
- Ressourcen lange nutzen - slow resource flows:
- Kreisläufe schließen - close loops

In der praktischen Umsetzung wird häufig Bezug zu den sogenannten **3Rs – Reduce, Reuse, Recycle** – genommen. Das Konzept wurde zu den **9Rs** weiterentwickelt und die „klassischen Drei“ um folgende Strategien ergänzt: **Refuse, Rethink, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose und Recover Energy** (siehe Grafik Seite 23 im Anhang für weitere Informationen).

Arbeitsaufgabe 2: 9Rs



Findet Beispiele für die einzelnen Strategien.

In diesem Zusammenhang steht die Änderung in der EU-Abfallgesetzgebung durch die **Abfallrahmenrichtlinie**.²⁰ Die vormals dreistufige Abfallhierarchie wurde auf fünf Stufen (siehe Abbildung 9) erweitert: Neu sind die **Vorbereitung zur Wiederverwendung** und die Auftrennung von **Recycling** (gleiche Materialeigenschaften) und sonstigen Verwertungsmöglichkeiten (Verbrennung unter Energiegewinnung, Verfüllung, chemische Verwertung). Beseitigung beinhaltet Deponierung und Verbrennung ohne energetische Nutzung.

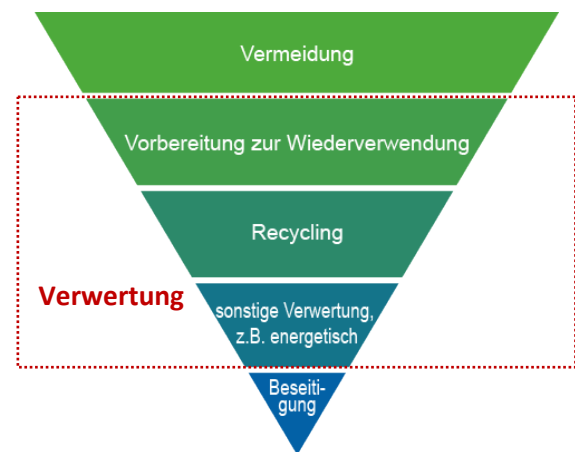


Abbildung 9: Ressourcenhierarchie

Um den Stellenwert der Ressourcenschonung und Abfallvermeidung zu bekräftigen, wird hier die Abfallhierarchie auf den Kopf gestellt und **Ressourcenhierarchie** genannt. Auf **Vermeidung sollte das größte Augenmerk gelegt** werden, da hier der Hebel hinsichtlich der Einsparung an Ressourcen und Emissionen am größten ist. Dieser nimmt von oben nach unten hin ab (siehe Grafik Seite 24 im Anhang für weitere Informationen).

Arbeitsaufgabe 3: Ressourcenhierarchie



Ordnet Beispiele den fünf Stufen zu. Versucht, allgemeine und bauspezifische zu finden.

Aus den 9 Rs wird ersichtlich, dass die prinzipielle Frage gestellt werden sollte, ob ein **physisches Produkt grundsätzlich nötig** ist oder ob man ein Bedürfnis z. B. nach sauberer Wäsche auch mit einer Produktdienstleistung (Teilen von Waschmaschinen) decken kann. Das heißt nicht das Besitzen des Produktes, sondern der Nutzen steht im Vordergrund.

Welches Bedürfnis hast du?

Brauchst du eine Waschmaschine oder brauchst du saubere Wäsche?“

-> Das Bedürfnis nach sauberer Wäsche kann auch durch ein Angebot von Waschküchen in

²⁰ Richtlinie 2008/98/EG, nationale Umsetzung durch AWG Novelle 2010, BGBl I Nr. 9/2011, in Kraft seit 16.02.2011

Mehrparteienhäusern oder durch Nutzen von Waschservices gedeckt werden.

Nutzen statt Besitzen

Wie oft verwendest du eine Bohrmaschine? Musst du selbst eine besitzen oder kannst du sie dir auch ausleihen?

Im Baubereich sollten Entwicklerinnen und Entwickler die Frage stellen, ob ein Abriss oder Neubau sinnvoll und notwendig ist, und ob der notwendige Bedarf für Wohn- oder Arbeitszwecke auch anders gedeckt werden kann, z. B. durch Sanierung, Nutzung von Leerständen, Nachverdichtung oder Teilen von wenig ausgelasteten Räumlichkeiten („Refuse“). → *Siehe auch Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens*

Als Nächstes sollte man darüber nachdenken, ob man das System, in dem sich ein **Produkt** befindet, so ändern kann, dass es **intensiver genutzt** wird, z. B. durch Teilen (Sharing → „Reduce“). Ein Produkt sollte derart konzipiert sein, dass es durch **Energie- und Ressourceneinsparungen im ganzen Lebenszyklus so effizient wie möglich** ist und als Gesamtes wiederverwendet („Reuse“), repariert („Repair“), saniert („Refurbish“), wiederaufbereitet („Remanufacture“), umgenutzt („Repurpose“) und recycelt („Recycle“) werden kann.

Im Zuge der Produktentwicklung ist es auch wichtig darüber nachzudenken, **ab wann** oder **wieso ein Produkt bzw. eine alternative Lösung kreislauffähig(er) ist**. Die Antwort auf diese Frage ist nicht immer einfach. Zum Beispiel kann ein Produkt kreislauffähiger sein, wenn durch eine längere Lebensdauer große Mengen an Ressourcen eingespart werden können, es am Ende aber entsorgt werden muss - jedenfalls ist eine **vergleichende Umweltbewertung** nötig. → *Siehe Modul 4 Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus, Modul 5 Abbildung der Kreislauffähigkeit auf Produkt- und Gebäudeebene*

Ein zu hundertprozentig kreislauffähiges bzw. abfallfreies Produkt, das aus Sekundärrohstoffen besteht und am Nutzungsende vollständig in den Kreislauf zurückgeführt wird, ist ein eher theoretisches Konstrukt. Am ehesten wäre das im biologischen Kreislauf realisierbar. In der Realität lassen sich Verluste nicht vermeiden, weswegen der **Fokus** auf dem oben beschriebenen **Schließen von Kreisläufen und der Verringerung und Verlangsamung des Ressourcenverbrauchs** liegt.

Nicht nur die Menge des Verbrauchs bzw. des anfallenden Abfalls, sondern auch die Art bzw. die Gefährlichkeit gilt es zu reduzieren. Dies kann durch eine geeignete Materialwahl und Funktionsweise gelingen. → *Siehe auch Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens*

Kreislaufwirtschaft braucht neue Geschäftsmodelle

Das Denken in Kreisläufen geht mit einem neuen Verständnis von „Wert“ in einem wirtschaftlichen System einher. In einem linearen Modell wird Erfolg am Durchsatz gemessen, z. B. als BIP. Wohingegen das Hauptaugenmerk im Kreislaufmodell auf dem Erhalt des Bestandes und des Wertes von Ressourcen liegt. Dadurch entstehen neue Wege für Hersteller und Produzenten, Wert(schöpfung) zu erzeugen: Im Gegensatz zum Generieren von Profit durch den Verkauf von Produkten erwirtschaften die Unternehmen ihren Profit nun durch Material- und Produktströme im Verlauf. Dies bedeutet eine Abkehr vom Prinzip, Produkte für eine kurze Lebensdauer zu produzieren, wozu ein lineares Modell einen inhärenten Anreiz bietet. Dazu ist es für ein Unternehmen wichtig zu **verstehen, wie der Wert eines Produktes oder einer Dienstleistung zustande kommt** bzw. erzeugt werden kann. Kreislaufwirtschaft verändert die Wertschöpfungskette **und deren Akteure werden neu bzw. anders kooperieren. Gegebenenfalls bilden sich komplett neue Unternehmensnetzwerke.**

Neue Ideen und Kooperationen sind gefragt

Die Ausrichtung von Produktion und Bautätigkeit in Richtung Kreislaufwirtschaft ist komplex, aber möglich. Wir haben uns an das etablierte lineare System gewöhnt, genauso wie Zulieferer, Hersteller, Abnehmer, Kundinnen und Kunden, Entsorger etc. Hier sind neue Wege und Lösungen gefragt, um mit weniger gleich viel bzw. mehr Nutzen zu erreichen!

Um ein kreislauffähigeres System erst möglich zu machen, müssen neue Modelle entwickelt werden, zum Beispiel Produkt-Service-Systeme, Leasing, gemeinschaftliche Nutzung und Sharing-Plattformen, und solche, die sich auf Reparatur und Wartung konzentrieren, um die Lebensdauer zu verlängern. → *Nähere Erläuterungen und Beispiele dazu im Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens*

Kreislaufwirtschaft wird auch durch Geschäftsmodelle unterstützt, in denen die Funktion des Produkts am Markt angeboten wird und nicht das Produkt selbst, z. B. Streaming-Dienste statt DVD-Verkauf. Oft wird dabei auch uns KonsumentInnen eine neue Rolle zugeschrieben. So entsteht ein Wandel vom traditionellen Konzept der Zuliefererkette hin zu einer Wertschöpfungskette, die Teil anderer Netzwerke ist, die verschiedene Flüsse von Ressourcen, Wissen und Fähigkeiten ermöglichen.

OpenDesk²¹, eine Online-Plattform aus London, vernetzt Designschaffende, Kundschaft und Herstellende und fördert damit lokale Kooperationen mit Handwerksbetrieben vor Ort. Über die Online-Plattform können Konstruktionsentwürfe von Designerinnen und Designer gekauft werden, die von Handwerksbetrieben in der Nähe der Kundschaft ausgeführt werden. Durch die Nähe zur Kundschaft fallen geringere Transportkosten und -emission an und es ist weniger Verpackungsaufwand nötig.



Abbildung 10: Beispiel OpenDesk-Plattform, Bauteil

4. Bauen und Kreislaufwirtschaft

Gebaute Umgebung beinhaltet Gebäude und Infrastruktur inklusive Transport-, Telekommunikations-, Energie-, (Ab)Wasser- und Abfallsysteme. Ihre Gestaltung, Planung und Errichtung tragen maßgeblich zu Gesundheit, Wohlbefinden und Produktivität der Menschen bei. Wenngleich die Erzeugnisse der Baubranche stabil und langlebig sind, wird diese ständig von sozialen Veränderungen beeinflusst, wie in untenstehender Tabelle ersichtlich ist.

TRENDS IN DER BAUBRANCHE

1	Mangel an ausgebildeten Fachkräften, sehr konjunkturabhängig
2	Vorfertigungsgrad steigt, Bauzeit sinkt
3	kleinere, smartere Eigenheime
4	Offene Grundrisse
5	Nachhaltiges Bauen
6	Building Information Modelling - BIM
7	Sicherheit von Gebäuden
8	Einfamilienhaushalte nehmen zu, Mehrgenerationenhäuser ab
9	Neue Technologien in der Planungsphase
10	Umbauten und Sanierungen, vor allem im Luxussegment
11	Erwerber von Eigentum suchen kurze Wege in fußläufiger Distanz, Quartiere
12	Renovierung und Anpassung Gebäuden im Bestand

²¹ <https://www.opendesk.cc/>

Entwicklungen in Österreich

Etablierte und neue Bauweisen:

- Vorherrschende Massivbauweise: mineralische Baustoffe wie Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton etc.
- Schlüsselfertige Häuser mit flexibler und möglichst offener Raumaufteilung
- „Fertighaus“ – Fertigbauweise mit hohem Vorfertigungsgrad der Bauteile
- Kurze Errichtungszeiten mit vorgefertigten Bauteilen zw. vier und sechs Monaten
- Leichtbau: Außenwände mit tragender Holzkonstruktion
- Holzriegelbau mit Dämmstoffen gefüllt und Innenseite mit Holz- oder Gipskartonplatten auf Baustelle beplankt
- Holztafelbau: Wandkonstruktion aus Holz/Dämmstoff/Holz

Veränderte Nutzungsgewohnheiten:

- Weniger Mehrgenerationenhäuser
- Steigender Flächenbedarf pro Person
- Familiengrößen nehmen ab
- Zunehmende Leerstände
- Steigende Immobilienpreise
- Sinkende Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer von Gebäuden, vor allem in den Ballungsräumen aufgrund des Preisdruckes

Umweltauswirkungen entstehen in allen Phasen des Gebäudelebenszyklus: angefangen von der Rohstoffgewinnung und Herstellung der Bauprodukte über die Gebäudekonstruktion und Nutzungsphase, bis hin zu Sanierung und Umgestaltung und schlussendlich dem Abfallmanagement. In der Planungsphase besteht der größte Hebel zur Beeinflussung des späteren Material- und Energieverbrauches. Alle Lebensphasen müssen diesbezüglich in der Planung mit bedacht werden. → *Siehe auch Modul 4 Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus*

Abfall zu reduzieren bedeutet nicht nur, die richtigen Materialmengen zu bestellen. Bei

den derzeitigen Methoden der Bauwirtschaft ist **Abfall durch die Ausgestaltung vorprogrammiert**, besonders dort, wo Standardgrößen verwendet werden, z. B. bei klassischem Mauerwerk oder Bogenware.

Gebäudeschichten und Lebenszyklen

Ein Gebäude ist eine komplexe Einheit mit zahlreichen Komponenten, die wiederum verschiedene Ressourcen beanspruchen und eine unterschiedliche Lebensdauer haben. Deshalb gibt es in der Branche auch verschiedenste Herausforderungen und Möglichkeiten bei der Entwicklung und Nutzung nachhaltiger und kreislauffähiger Gebäude. Der **britische Architekt Frank Duffy** hat **Gebäude als Schichtmodell** betrachtet. Er verdeutlichte damit den Umstand, dass einzelne Bestandteile (Schichten) unterschiedlich lange halten und unterschiedlich oft ausgetauscht werden. Um dies möglichst effizient und ressourcenschonend zu gestalten, müssen die Schichten voneinander lösbar sein, ansonsten kommt es zum gesamten Abriss oder unnötigen Austausch von Gebäudeteilen und damit vermeidbaren Ressourcenverbräuchen und Abfallaufkommen. Darauf ist bei der Planung Rücksicht zu nehmen, damit das Gebäude einfach wartbar, anpassbar, modular etc. ist. Je nach Lebensdauer sind demnach unterschiedliche Möglichkeiten zur Kreislaufschließung aus dem technischen Kreislauf anwendbar und realisierbar.

Der Rohbau (Struktur) hat eine Lebensdauer von 50 – 100 Jahren, die Fassade (Hülle) von 25 – 50 Jahren, also die Hälfte. Die Einbauten wie Böden oder Fenster (Innenausbau) haben eine Lebensdauer von 15 – 25 Jahren und Installationen (Technik) wie Armaturen von 5 – 15 Jahren. Des Weiteren können sich Nutzende und Besitzende im Zeitverlauf ändern und neue Bedürfnisse und Ideen für die Gebäudenutzung mit sich bringen²².

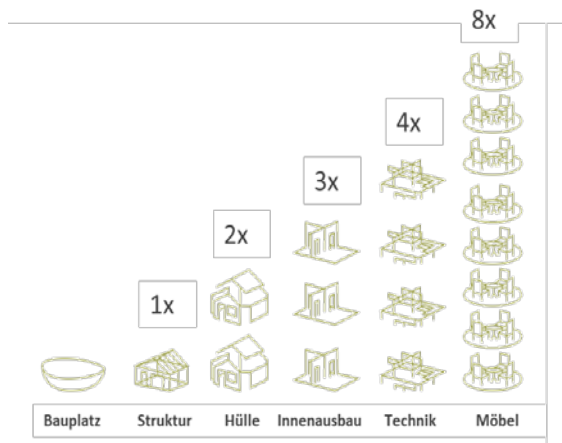


Abbildung 11: Materialumsatz im Schichtenmodell²³

Die Komplexität unserer gebauten Umgebung führt dazu, dass ein lineares Modell bei Gebäuden und Infrastruktur bevorzugt wird. Immerhin ist es nicht leicht, so viele Faktoren aufeinander abzustimmen!

Negative externe Effekte

Eines der Kernziele der Kreislaufwirtschaft ist es, **negative externe Effekte zu internalisieren**. Das bedeutet, sie als Preis in den Handel am Markt einfließen zu lassen. Produkte und Dienstleistungen mit negativen Auswirkungen auf Menschen, Tiere und Umwelt müssten eigentlich höhere Preise haben, um die Kosten für z. B. Gesundheitsleistungen oder Wiederherstellung von Ökosystemen abdecken zu können. Derzeit werden diese Kosten auf die Allgemeinheit - unsere Gesellschaft - übertragen, obwohl sie sie nicht verursacht hat.

Externe Effekte nennt man alle Effekte, die durch den Austausch von Leistung und Gegenleistung am Markt verursacht werden, für die aber niemand bezahlt. Leicht nachvollziehbare negative externe Effekte der Baubranche sind insbesondere der Beitrag zum Klimawandel, Lärm, Luftverschmutzung und die Beeinträchtigung der Ressourcen Boden und Wasser. Dazu kommen noch Auswirkungen wie Effekte auf das

Wohlbefinden und die Gesundheit von Menschen, Tieren und Biosphäre, Beschäftigung und soziale Gerechtigkeit. Diese externen Effekte treten entlang des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes auf - in der Nutzphase, bei Rohstoffgewinnung, Produktion, Transport, Installation und Montage von Materialien/Komponenten und deren Rückbau/Abriß. Die negativen externen Effekte einzudämmen ist ein wichtiges Ziel, um unser natürliches Kapital zu pflegen und die Nutzung, den Wert unserer Ressourcen zu steigern und für die nächsten Generationen zu erhalten.

Ein **positiver externer Effekt** ist beispielsweise die Verschönerung der Umgebung durch die sorgfältige Renovierung eines Gebäudes, von der auch Passantinnen und Passanten profitieren. Diese können am renovierten Gebäude vorbeigehen und sich über die schöne Fassade freuen, ohne etwas für die Renovierung bezahlt zu haben. Ein negativer externer Effekt der gleichen Renovierung könnten der Feinstaub und Lärm der Baustelle sein.

Zusammenfassung

Der Baubereich zeichnet für 2/3 des Abfallaufkommens und die Hälfte des Ressourcenverbrauches in Österreich verantwortlich. Um in Zukunft mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen in wirtschaftlicher und umweltverträglicher Weise umgehen und Potentiale in hohem Maße nutzen zu können, ist ein Umdenken in Richtung Kreislaufwirtschaft und Nachhaltiger Produktgestaltung notwendig. In einer Kreislaufwirtschaft werden durch vorausschauende Planung und intelligente Produktgestaltung Abfall und Emissionen vermieden und ein möglichst hoher Nutzen erzielt. Der Planung und Gestaltung von Gebäuden kommt hier einer großen Bedeutung zu, da in der frühen Phase des Produktlebenszyklus der Hebel für positive Veränderungen am Größten ist.

²³ Nach Frank Duffy, 1970er und Stuart Brand Layers Diagram 1990er

5. Projekte und Beispiele

Es gibt aktuell einige Studien und Projekte, zur Auslotung und Vorbereitung einer kreislauffähigeren und ressourcenschonenderen Baubranche.

Die genannten Unternehmen und Produktbeispiele sind zur inhaltlichen Orientierung gedacht und stellen keine Empfehlung oder Bewertung dar. Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

Details zu Produktgestaltung und Gebäudeplanung finden sich in *Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens*.

Projekt und Studien

[Circular Economy in the Built Environment](#)
ARUP (2016), Report; <https://www.arup.com/>

BAMB – Building As Material Banks,
<https://www.bamb2020.eu/>

[Circular House](#) – Sustainable and reusable housing in Denmark, Orbicon.com

KATCH_e <https://www.katche.eu/de/>,
Ausbildungsmaterialien zur Kreislaufwirtschaft im Bau- und Möbelbereich, zugänglich auf der [Knowledge Platform](#)

NEST - [Forschungsprojekt NEST](#) Next Evolution in Sustainable Building Technologies

Beispiele aus Österreich:

Nachwachsende und regionale Rohstoffe – z. B. Life Cycle Tower, Dornbirn; HoHo Wien, Häuser aus Stroh, Massivholzbau mit Holzdübel

[Holz-Lehm-Haus](#), ökologische und baubiologisch gesunde Energiesparhäuser

Bsp. Vivihouse der TU Wien, Bausystem zur Errichtung mehrgeschossiger Gebäude für gemischte Nutzungen. Das System basiert auf einer modularen Holzskelettbauweise, die speziell für den Einsatz ökologischer Materialien optimiert ist: wie Strohballen als

Dämmstoff, Holzrahmen oder Kalk- und Lehmputze.

[Materialnomaden](#) – Reuse von Bauteilen und Konzeptentwicklung, AT

Beispiel Strohhaus
<http://www.unserstrohhaus.at/>

Nachverdichtung, Sanierung – z. B. magdas Hotel: Umbau eines ehemaligen Seniorenheims aus den 1960er Jahren in ein Hotel mit 78 Zimmern, das als Social-Business Projekt läuft und Arbeitsplätze für Asylwerber bietet. Einrichtung aus upgecyclten Möbeln. 1020 Wien

Modulares Bauen und Industrialisierung der Fertigungsprozesse – z. B. [Lukas Lang Building Technologies](#), [HoHo Wien](#)

Alternative zu Wärmedämmverbundsystemen – **lösbare Fassadendämmung**, Kleberlose Klettfassade von **STO StoSystain® R**

Modulares Fassadensystem [Winterface](#)

Nutzung – Gemeinschaftliches Wohnen und Arbeiten – [VinziRast-mittendrin](#) ist ein innovatives, weltweit einmaliges soziales Wohnprojekt. Ehemals wohnungslose Menschen und Student*innen wohnen, arbeiten und lernen gemeinsam unter einem Dach. Plus: **Sanierung, Umbau und Erweiterung** eines. Wien 1090

Plattform zum Kauf und Verkauf von Baumaterialien - [Bautastisch](#)

Verwertungsorientierter Rückbau – BauKarussell, <https://www.baukarussell.at/>

UrbanMining - TU Wien hat das vierjährige Forschungsprojekt "[Mining the European Anthroposphere](#)", COST Action

[Christian Doppler Labor Anthropogene Ressourcen](#), TU Wien, Case Study A: Ressourcenpotential der gebauten Infrastruktur

Literaturverzeichnis

Amtsblatt der Europäischen Union (2018): RICHTLINIE (EU) 2018/851 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle, S. 1.

Brand, Stewart (1994): How buildings learn. What happens after they're built. New York, NY: Viking

COM/2011/21: Ressourcenschonendes Europa – eine Leitinitiative innerhalb der Strategie Europa 2020, <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2011/DE/1-2011-21-DE-F1-1.Pdf>

COM/2011/57: Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa, Präzision von Zielen

COM/2017/490: Liste kritischer Rohstoffe für die EU. Definiert die Rohstoffe, die für die europäische Wirtschaft wichtig sind, aber ein hohes Versorgungsrisiko haben; wird alle drei Jahre von der EU herausgegeben.

COM/2015/614: Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft

DGNB 2019: Circular Economy - Kreisläufe schließen, heißt zukunftsfähig sein, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Report 2019

Europäisches Parlament (2018): Circular economy package. Four legislative proposals on waste. Briefing on EU Legislation in Progress, July 2018.

[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/625108/EPRS_BRI\(2018\)625108_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/625108/EPRS_BRI(2018)625108_EN.pdf)

Heßling, Thomas (2006): Einführung der Integrierten Produktpolitik in kleinen und mittelständischen Unternehmen, Dissertation am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München

Richtlinie 2018/851 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle (PE/11/2018/REV/2). Die Novellierung der AbfallrahmenRL wird mit der Umgestaltung der klassischen Abfallwirtschaft zu einer „nachhaltigen Materialwirtschaft“ zur Schonung von Mensch, Umwelt und natürlichen Ressourcen begründet.

Richtlinie 2018/851 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle (PE/11/2018/REV/2). Die Novellierung der AbfallrahmenRL wird mit der Umgestaltung der klassischen Abfallwirtschaft zu einer „nachhaltigen Materialwirtschaft“ zur Schonung von Mensch, Umwelt und natürlichen Ressourcen begründet.



Vertiefungsmöglichkeit und Lehrmaterialien in englischer Sprache - siehe Ergebnisse des EU Projektes KATCH_e zu Kreislauffähiger Gestaltung im Bau- und Möbelbereich. Zielgruppe sind Studierende, Lehrende und Unternehmen, aber ausgewählte Teile sind durchaus für HTL Schüler und Schülerinnen geeignet. Der online Kurs (MOOC) bietet einen guten Überblick über die Inhalte und Tools.

Allgemeine Informationen: <https://www.katche.eu/de/>

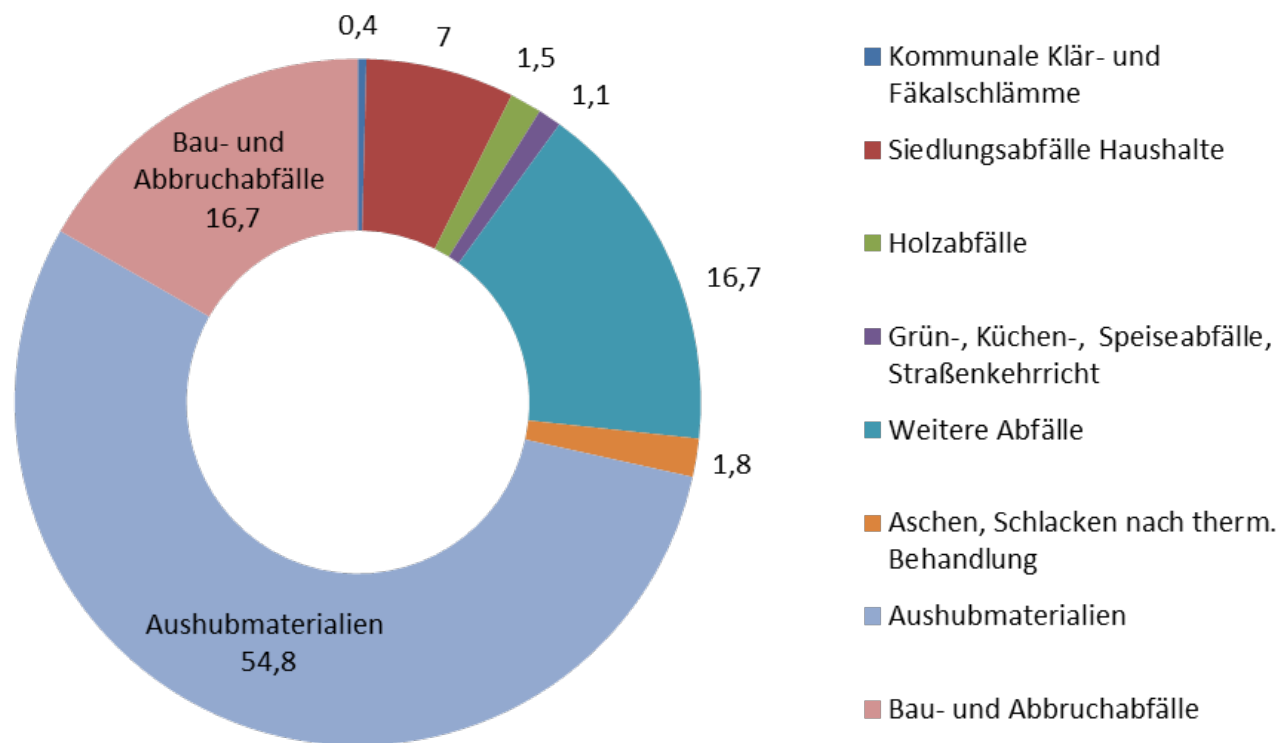
Wissensplattform mit theoretischen Modulen und praktischen Tools und Best-Practice Beispielen:

<https://www.katche.eu/knowledge-platform/>

Die Inhalte stehen nach einer einmaligen Registrierung und Anmeldung frei zur Verfügung.

Anhang

Abbildung 2: Abfallaufkommen in Österreich in %²⁴



²⁴ BAWPL 2017, Bundesabfallwirtschaftsplan 2017

Abbildung 3: lineares Modell des Wirtschaftens²⁵

LINEARES MODELL

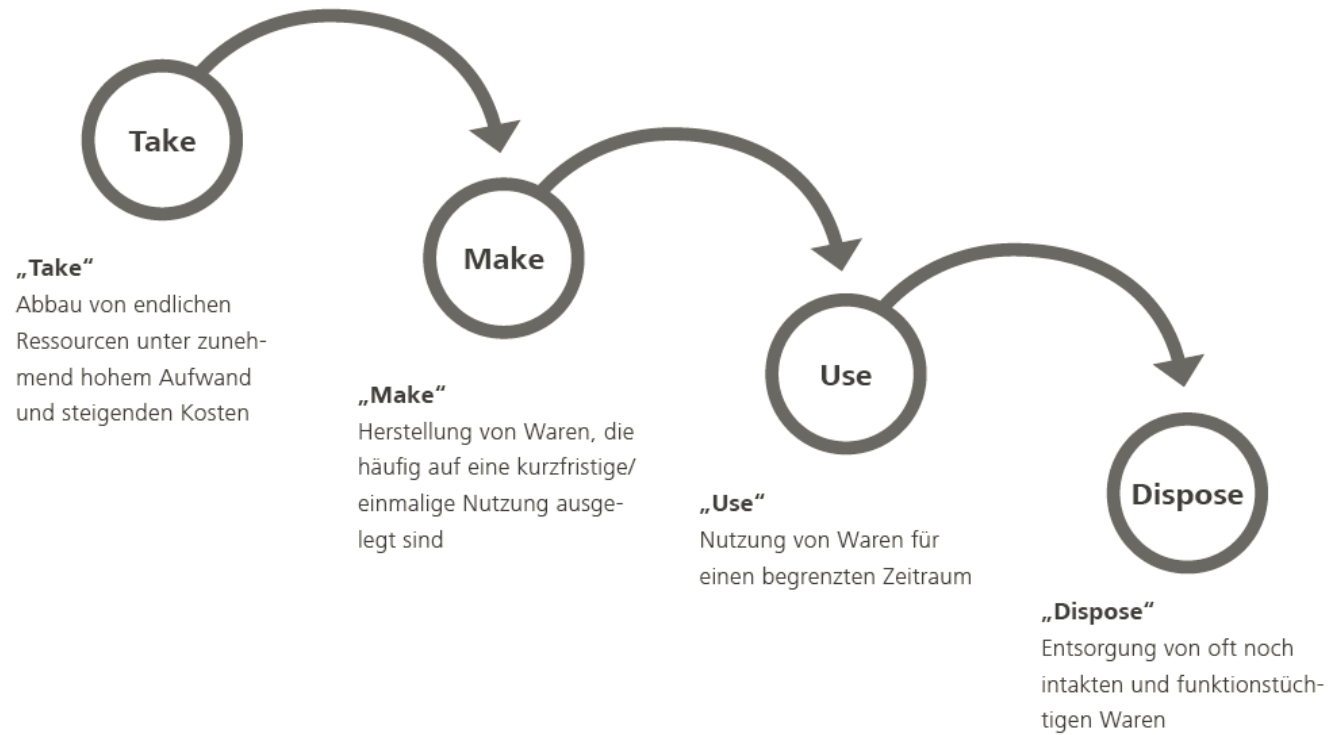


Abbildung 4: auf Kreisläufe ausgerichtetes Wirtschaften²⁶

²⁵ DGNB 2019: Circular Economy, Kreisläufe schließen, heißt zukunftsfähig sein, Report 2019

²⁶ DGNB 2019: Circular Economy, Kreisläufe schließen, heißt zukunftsfähig sein, Report 2019

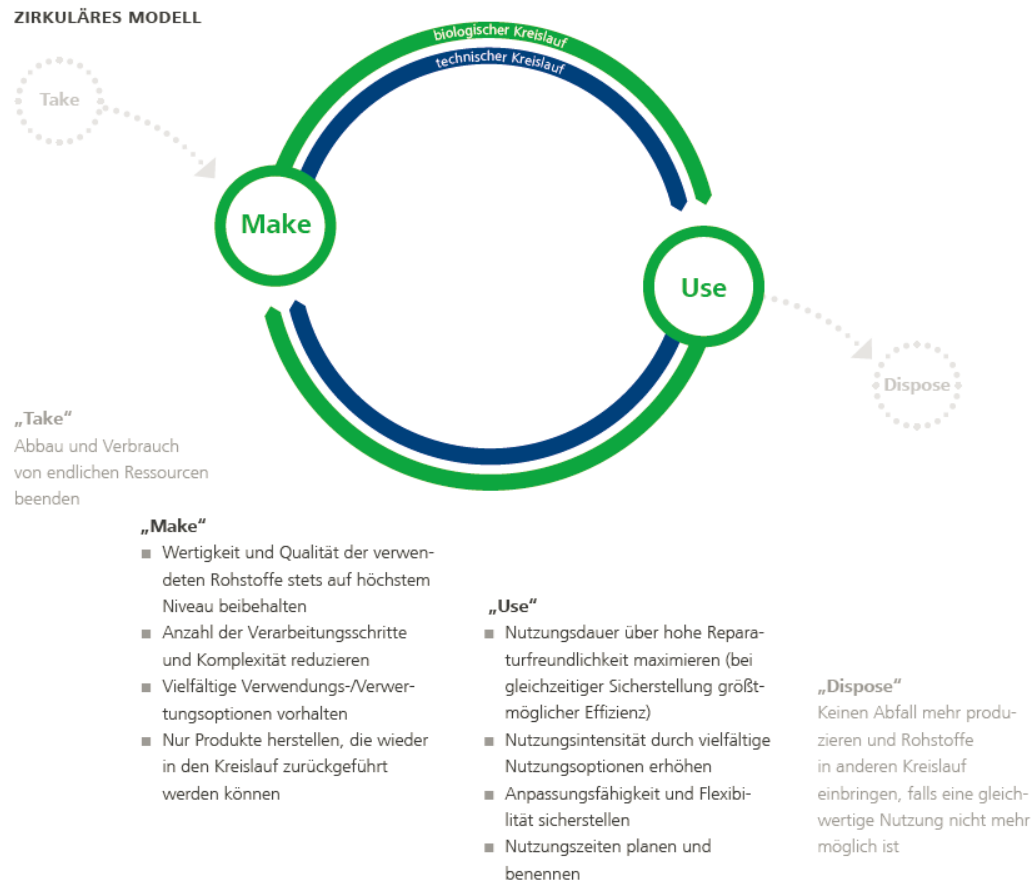


Abbildung 6: Butterfly Diagramm der Ellen McArthur Foundation²⁷

²⁷ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic>

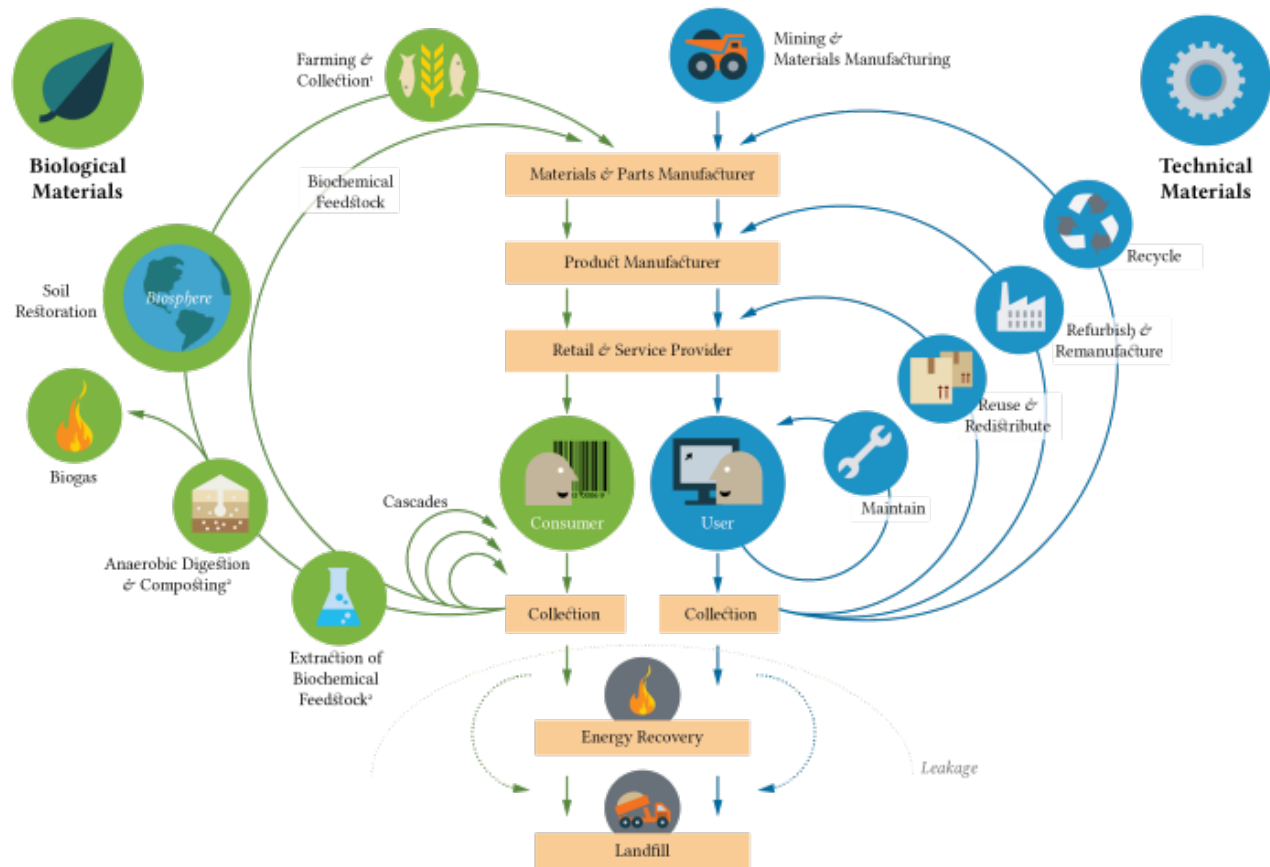
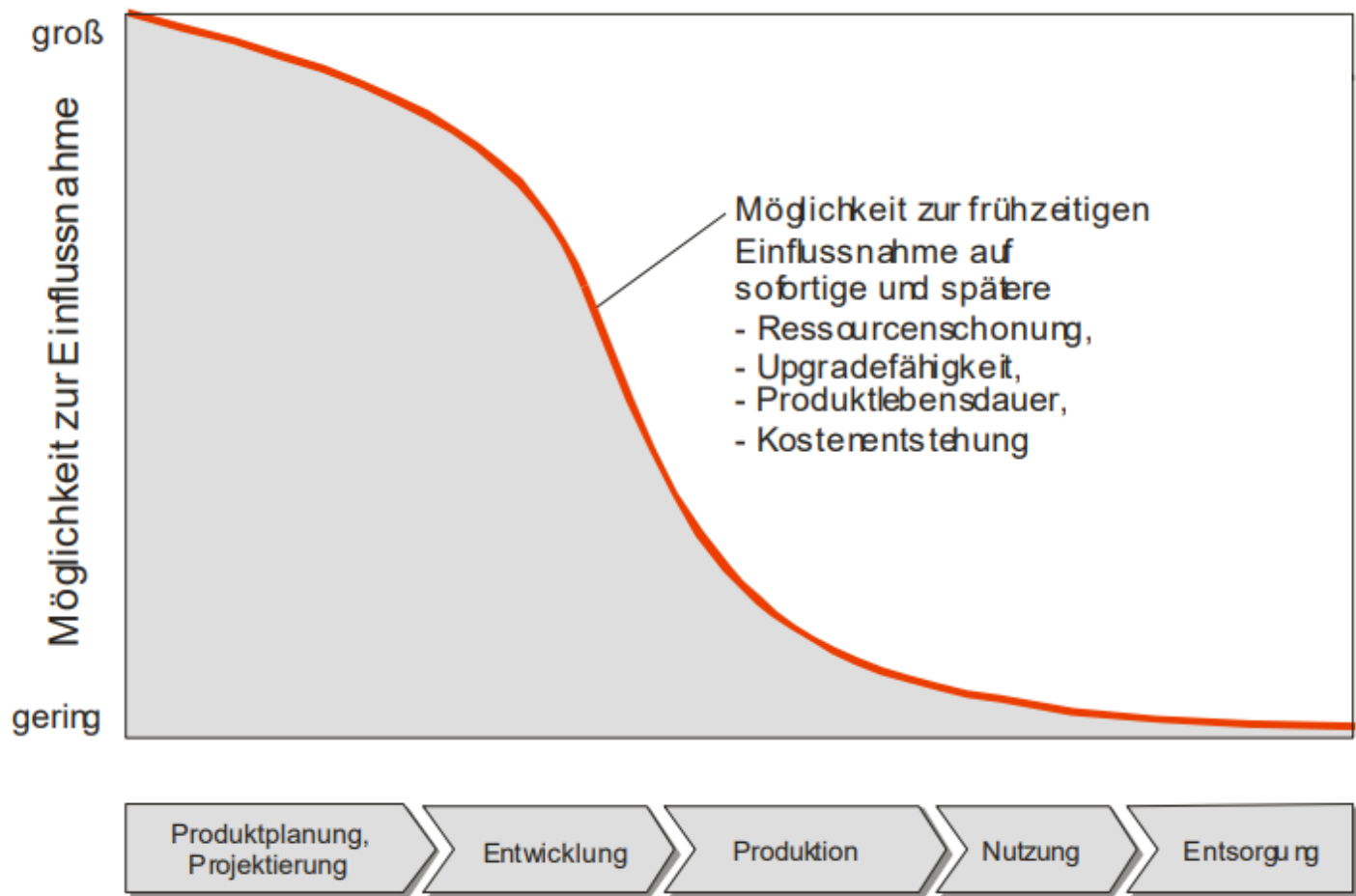


Abbildung 8: Einfluss Produktplanung auf Umweltwirkung²⁸

²⁸Heßling, T. 2006, nach LINDEMANN, U.; MÖRTL, M.



9R Strategien zur Unterstützung einer Kreislaufwirtschaft

Circular economy		Strategies	
Smarter product use and manufacture	R0 Refuse	Make product redundant by abandoning its function or by offering the same function with a radically different product	
	R1 Rethink	Make product use more intensive (e.g. by sharing product)	
	R2 Reduce	Increase efficiency in product manufacture or use by consuming fewer natural resources and materials	
Extend lifespan of product and its parts	R3 Reuse	Reuse by another consumer of discarded product which is still in good condition and fulfils its original function	
	R4 Repair	Repair and maintenance of defective product so it can be used with its original function	
	R5 Refurbish	Restore an old product and bring it up to date	
	R6 Remanufacture	Use parts of discarded product in a new product with the same function	
	R7 Repurpose	Use discarded product or its parts in a new product with a different function	
Useful application of materials	R8 Recycle	Process materials to obtain the same (high grade) or lower (low grade) quality	
	R9 Recover	Incineration of material with energy recovery	

Increasing circularity

Linear economy

Hilfestellung zu Arbeitsaufgabe 2, Kapitel 3, Seite 11

→ **Arbeitsaufgabe zu den 9Rs:**
Findet Beispiele für die einzelnen Strategien

Refuse: Kauf/Produktion hinterfragen

Rethink: Neu/anders konzipieren

Reduce: Ressourceneinsatz reduzieren

Reuse: Wiederverwenden

Repair: Reparieren, Wartung

Refurbish: sanieren, upgraden

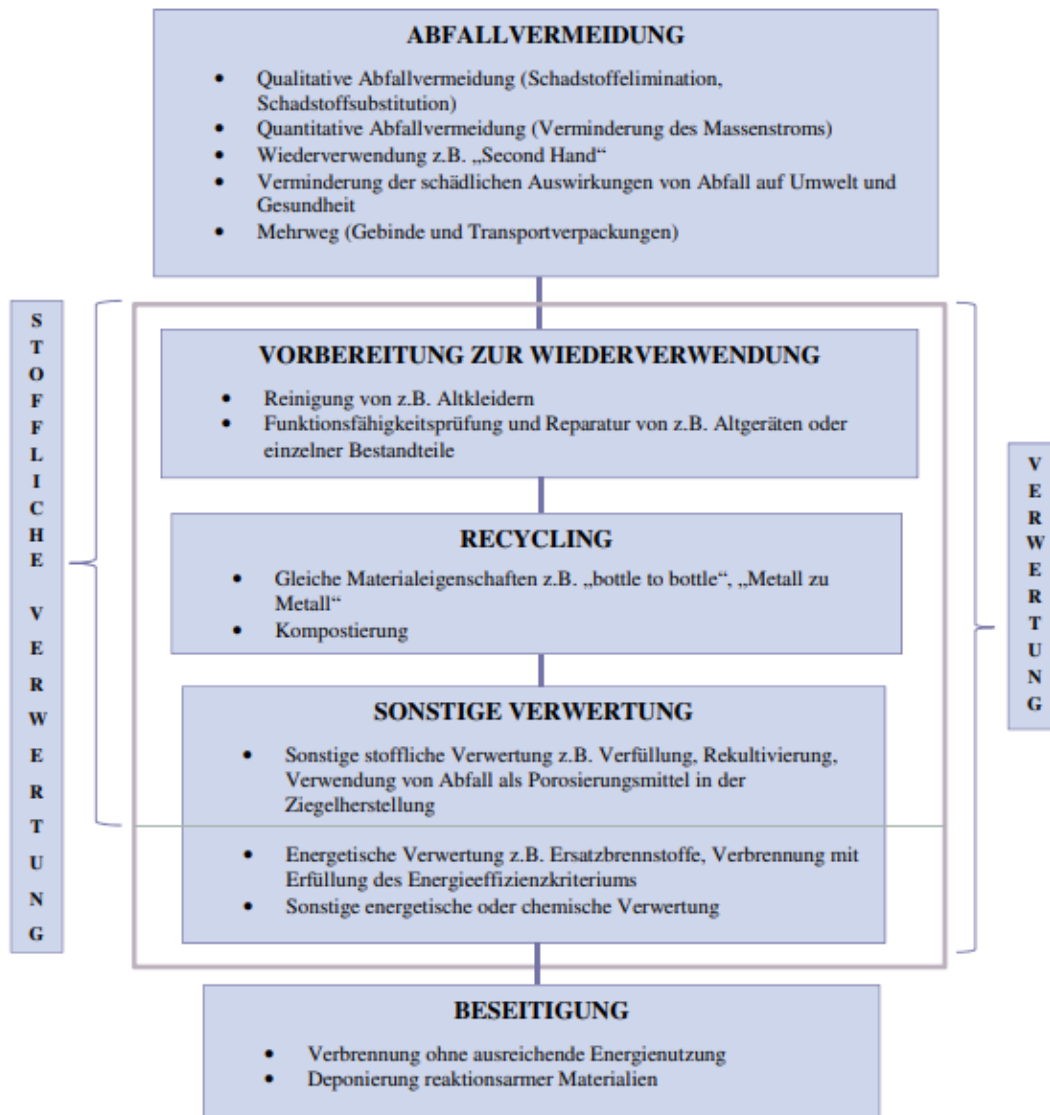
Remanufacture: Bauteile wiederaufbereiten

Repurpose: für anderen Zweck umfunktionieren

Recycle: stoffliches Recycling

Recover: Energie rückgewinnen

5 Stufen der Ressourcenhierarchie



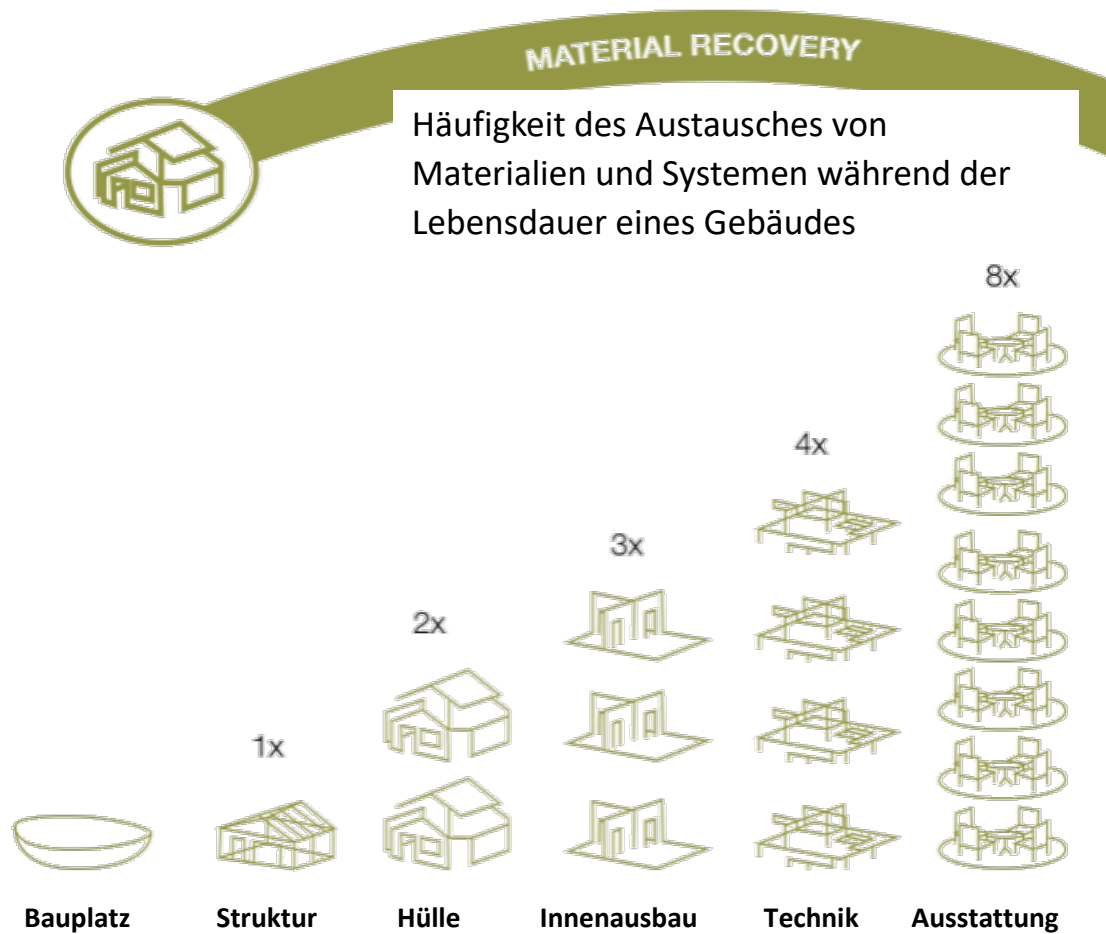
Hilfestellung zu Arbeitsaufgabe 3, Kapitel 3, Seite 11

→ **Arbeitsaufgabe zur Ressourcenhierarchie:** Ordnet Beispiele den fünf Stufen zu. Versucht, allgemeine und bauspezifische zu finden.

Wichtig ist die Unterscheidung von Maßnahmen zur Abfallvermeidung, wo Abfälle erst gar nicht anfallen und Möglichkeiten der Abfallverwertung. Hier sind Abfälle bereits entstanden - Besitzende, Verursachende haben sich der Güter bereits entledigt – und verschiedene Maßnahmen zur möglichst hochwertigen Verwertung sollen ausgewählt werden.

Generell gilt, Abfallvermeidung hat die oberste Priorität, vor der Wiederverwendung, Recycling etc.

Abbildung 11: Materialumsatz im Schichtenmodell²⁹



Bauplatz	Gebäudestandort
Struktur	Grundgerüst des Gebäudes
Hülle	Fassade und Außengestaltung
Innen- ausbau	Innenausstattung des Gebäudes (Wände, Böden, Türen, Fenster, etc.)
Technik	Technische Gebäudeausstattung (Strom-, Wärme-, Wasserversorgung)
Aus- stattung	Keine fix verbauten Einrichtungsgegenstände, Licht, IKT

²⁹ Brand, Steward (1994)

Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich

Modul 1: Einführung in die Kreislaufwirtschaft

Modul 2: Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

Modul 3: Tool zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden

Modul 4: Betrachtung der Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus

Modul 5: Abbildung der Kreislauffähigkeit auf Produkt- und Gebäudeebene

Einleitung

Der Baubereich ist für zwei Drittel des Abfallaufkommens und die Hälfte des Ressourcenverbrauches in Österreich verantwortlich. Um in Zukunft mit den begrenzten, zur Verfügung stehenden Ressourcen in wirtschaftlicher und umweltverträglicher Weise umgehen und Potentiale in hohem Maße nutzen zu können, ist ein Umdenken in Richtung Kreislaufwirtschaft und nachhaltiger Gebäudegestaltung unabdingbar.

Vorliegendes Modul ist Teil der im Projekt AbBau - Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich ausgearbeiteten Materialien. Die Unterlagen bestehen aus vier theoretischen Modulen und einem praktischen Modul (Tool zur kreislauffähigen Gestaltung von Gebäuden), die zur freien und flexiblen Verwendung für HTLs im Bereich Bau und Produktdesign vorliegen. Die Anwendung ist fächerübergreifend und für kooperative Lernformen möglich, es können individuelle Schwerpunkte gesetzt werden. Möglich ist die Integration der Lehrmaterialien beispielsweise in Fächern wie Baukonstruktionstechnik, Hochbautechnologie oder die Anwendung im Bau- oder Designlabor.

Die Lehrmodule leisten einen Beitrag zur Integration vielschichtiger Aspekte rund um Kreislaufwirtschaft in die berufliche Aus- und Weiterbildung und können auch von Unternehmen genutzt werden.

*Projektleitung: TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign
Kooperation: Österreichisches Ökologie-Institut
Wien, März 2020*

Die Ausarbeitung wurde durch die Abfallvermeidungsförderung der Sammel- und Verwertungssysteme für Verpackungen finanziert.

Modul 2: Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

Zusammenfassung

- Kreislauffähigkeit von Gebäuden als Planungsaufgabe
- Umweltprofile von Gebäuden über den Lebenszyklus
- Das Gebäude als Schichtenmodell
- Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens und deren Einflussbereiche im

Lernziele

- Die Lernenden können das System „Gebäude“ als adaptierbares Modell mit Schichten unterschiedlicher Lebensdauer verstehen und beschreiben.
- Die Lernenden sind in der Lage, Prinzipien des kreislauffähigen Bauens für bestehende Gebäude zu interpretieren und auf Bauprojekte anzuwenden.

Inhalt

Entwicklung der Bautätigkeit	4
Herausforderungen aus heutiger Sicht	4
Das Gebäude als Schichtenmodell	5
Energie- oder Materialfokus?.....	6
Welche ist die entscheidende Lebensphase eines Gebäudes?	7
Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens	11
1 Nutzung bestehender Gebäude und Infrastruktur.....	12
2 Gute Planung	12
3 Materialaufwand minimieren	14
4 Bevorzugung von nachwachsenden Rohstoffen	16
6 Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen	18
7 Einstoffliche Bauweisen.....	20
8 Lösbare Verbindungen und Konstruktionen	21
9 Verwendung langlebiger Materialien und Bauteile	23
10 Flächeneffizienz	25
11 Nutzungsflexibilität.....	26
12 Reinigungs- und Instandhaltungsoptimierung	27
Zusammenfassung.....	27
Literaturverzeichnis	29

Entwicklung der Bautätigkeit

Vor 250 Jahren war der Einfluss der Bautätigkeit auf die Umwelt noch gering. Die wenigen aufwändig errichteten, vor allem öffentliche Gebäude wurden über mehrere Generationen lang genutzt. Der finanzielle und zeitliche Aufwand für den Hausbau war groß und das Gebäude als Ganzes war entsprechend hoch geschätzt. Wurden Gebäude nicht mehr genutzt, wurden diese zerlegt und die Materialien weiterverwendet. Da **Gebäude fast ausschließlich aus Naturmaterialien bestanden und weitaus weniger komplex** aufgebaut waren als heute, entstand auch kein Entsorgungsproblem.

Heute steigt die weltweite Bautätigkeit sowohl durch die steigenden Bevölkerungszahlen als auch durch den steigenden Wohlstand exponentiell an. In Österreich ist die Zunahme der Flächeninanspruchnahme durch neue Bautätigkeit jedoch weitgehend vom Bevölkerungswachstum entkoppelt. 2018 wurden täglich 12,8 ha der nicht erneuerbaren Ressource Boden neu verbaut. Das entspricht einer Fläche **von 20 Fußballfeldern pro Tag**. Damit ist Österreich auch im europäischen Vergleich der Pro-Kopf-Inanspruchnahme Spitzenreiter.¹

Flächeninanspruchnahme

= Überbegriff für den dauerhaften Verlust von biologisch produktivem Boden durch Verbauung. Umgangssprachlich wird oft auch der Begriff Flächenverbrauch verwendet.

Flächenversiegelung

= Anteil des Bodens mit einer wasserundurchlässigen Schicht. Der Boden verliert dadurch seine Produktionsfunktion und auch die Möglichkeit Wasser zu speichern, zu filtern und verdunsten zu lassen. Außerdem verlieren versiegelte Flächen ihre Funktion als CO₂- Speicher. Daher ist die Neuversiegelung höchst problematisch.

In Österreich sind **ca. 55%** der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Österreich versiegelt.²

Neben der zunehmenden Bautätigkeit sinkt auch die Nutzungsdauer von Gebäuden. Gründe dafür sind z. B. die zunehmenden Bodenpreise in städtischen Ballungsräumen, welche eine immer höhere Ausnutzung von Grundstücksflächen verlangen. Auch die Veränderung der Ansprüche an die Bausubstanz und die Funktionalität von Gebäuden (z. B. hoher Energieverbrauch, niedrige Raumhöhen, unflexible Raumaufteilung, gesundheitsgefährdende Baustoffe wie Asbest) erschweren Nachnutzungs- und Sanierungsmaßnahmen.

Eine weitere gravierende Veränderung ist die Zunahme der Komplexität der verwendeten Baustoffe, deren Zusammensetzung auch für ExpertInnen schwer nachvollziehbar sind. Dies erschwert zusätzlich Maßnahmen, welche die Nutzungsdauer und Kreislauffähigkeit von Gebäuden erhöhen sollen.

Herausforderungen aus heutiger Sicht

¹ Salzburger Nachrichten
<https://www.sn.at/panorama/wissen/bodenverbrauch-in-europa-oesterreich-fuehrt-die-liste-an-39137911>

² ÖROK Atlas, Bodenversiegelung in Österreich, Copernicus Projekt, 2012

Für eine zukunftsfähige, kreislauforientierte Bauwirtschaft müssen die oben skizzierten Herausforderungen adressiert werden. Das beginnt damit, dass jede Neubautätigkeit von vornherein hinsichtlich seiner Notwendigkeit hinterfragt werden muss. Die Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft beginnt bei der Bestandsnutzung. Daher hat auch jede Weiternutzung bestehender Bestände Vorrang vor der Erschließung von neuen Baugebieten.

Erst wenn jegliche Form der Nachnutzung oder Sanierung ausgeschlossen werden kann, gilt es, neue Gebäude aus möglichst ressourcenschonenden Materialien für eine möglichst lange Nutzungsdauer zu planen. Dies bezieht sich sowohl für das gesamte Gebäude als auch für die verbauten Elemente und Ressourcen.

Der US-Amerikaner **Stewart Brand** hat sich in seinem Buch „*How Buildings Learn*“ (1994) intensiv mit der baulichen Veränderung von Gebäuden beschäftigt. Er dokumentiert dabei insbesondere welche Gebäude sich besser an neue Anforderungen und Nutzungsansprüche anpassen.

Mit dem Zitat „*All buildings are predictions. All predictions are wrong.*“ („Alle Gebäude stellen Prognosen dar. Alle Prognosen sind falsch.“) bringt Brand zum Ausdruck, dass die einzige Konstante die ständige Veränderung ist. Diese ist gerade für vermeintlich langlebige Gebäude besonders relevant. Daher plädiert er auch für eine Architektur, die nicht auf Dauerhaftigkeit ausgelegt ist, sondern Veränderung und Anpassung zulässt. Dafür griff Brand das Schichtenmodell von Gebäuden auf und machte es populär (s. nächstes Kapitel).

Künftig errichtete Gebäude müssen als Rohstoffzwischenlager geplant und verstanden werden, da Rohstoffe in Zukunft immer häufiger nicht am Ort ihres natürlichen

Vorkommens, sondern aus anthropogenen („durch Menschen entstandene“) Lagerstätten gewonnen werden. Dieses Verständnis – Gebäude langfristig als Rohstoffquelle zu verstehen – wird mit dem Begriff „Urban Mining“ zum Ausdruck gebracht. Um die Rohstoffe weiterzuverwenden, ist auf Trennbarkeit, Schadstofffreiheit und Rückbaubarkeit zu achten.

Wie groß ist dieses anthropogene (=“menschgemachte“) Lager?

In Wien kommen auf jeden Einwohner ca.

- .. 4.500 kg Eisen
- .. 340 kg Aluminium
- .. 210 kg Blei
- .. 200 kg Kupfer
- .. und 40 kg Zink.³

Dennoch würde dieser Metallbestand bei dem gegenwärtigem Konsumniveau der Stadtbevölkerung nur für ca. 5 Jahre reichen.⁴

Video, 45 min - 3sat Doku zum Thema „Urban Mining – Die Stadt als ewige Rohstoffquelle“:

<https://vimeo.com/50605926>

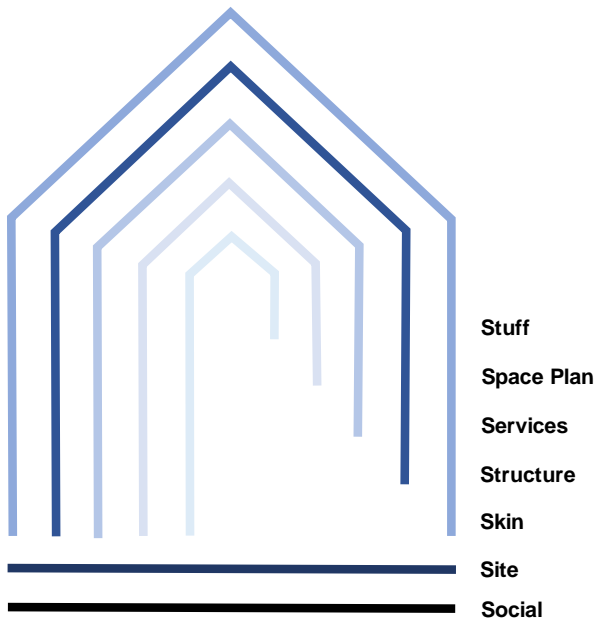
Das Gebäude als Schichtenmodell

Um den Kreislaufgedanken auch in der Bauwirtschaft besser zu begreifen, dürfen Gebäude nicht als unveränderbare, monolithische Blöcke verstanden werden. Vielmehr bestehen Gebäude aus veränderbaren Schichten. Diese Schichten haben unterschiedliche Funktionen, werden von unterschiedlichen Stakeholdern (z.B. Architekten, Bauingenieuren, Bewohnern, etc.) beeinflusst und unterscheiden sich in ihrer Lebensdauer. Dabei wird insbesondere zwischen folgenden Schichten unterschieden:

³ <https://smartcity.wien.gv.at/site/urban-mining/>

⁴ Ressourcennutzung in Österreich, Bericht 2015, BMWFW

- **Stuff** („Sachen“)
Möbel, Aufbewahrung, Pflanzen, etc.
- **Space Plan** („Raumaufteilung“)
Türen, Innenwände, Böden, etc.
- **Services** („Haustechnik“)
Leitungen, Lüftung, Lift, Schächte, etc.
- **Structure** („Tragwerk“)
Alle tragenden Elemente welche die Grundform des Gebäudes festlegen
- **Skin** („Außenhülle“)
Fassade, Fenster, Dämmung, etc.
- **Site** („Standort“)
Unmittelbare Umgebung des Gebäudes
- **Social** („Sozialer Kontext“)
Art der Nutzung, Umgang der Bewohner mit dem Gebäude



Das Gebäude als Schichtenmodell, angepasst von (Thelen et al. 2018)

Das Schichtenmodell bietet eine erste theoretische Grundlage und Orientierung für kreislaufgerechtes Bauen. Es zeigt, dass Schichten mit unterschiedlichen Funktionen und Lebensdauern trennbar und zugänglich sein müssen, um eine lange Verwendung von Gebäuden überhaupt erst zu ermöglichen. Oftmals werden Gebäude etwa aufgrund veralteter Haustechnik, welche zu dauerhaft in der Gebäudestruktur integriert ist, um sie

neuen Anforderungen anzupassen, abgerissen.

Energie- oder Materialfokus?

Durch die Einführung von Energiestandards im Gebäudebereich wird zunehmend einer energiesparenden Gebäudenutzung Rechnung getragen. Die Einführung des Energieausweises macht den Energieaufwand mit der Kennzahl Heizwärmebedarf **HWB [in kWh/m².a]** messbar und vergleichbar. Während moderne Passivhäuser einen HWB von weniger als 10 kWh/m².a aufweisen, können alte, unsanierte Gebäude diesen um einen Faktor von 15-30 übersteigen.

Das bedeutet auch, dass bei Neubauten durch die zunehmende Verringerung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase der Materialverbrauch des Gebäudes immer wichtiger wird.

Wie kann dieses Verhältnis von Energie- und Materialaufwand gemessen und verglichen werden? Ein Indikator, der einen Vergleich ermöglicht, ist der Primärenergieinhalt.

Der **Primärenergieinhalt, PEI** (meist in MJ gemessen) beschreibt jene Energiemenge, die bis zur Erstellung oder Fertigstellung eines Baustoffs bzw. Bauteils verbraucht wird. Dabei wird zwischen erneuerbaren (z.B. Biomasse, Wasserkraft, Photovoltaik) und nicht erneuerbaren Energien (z.B. Erdöl, Erdgas, Kohle) unterschieden⁵

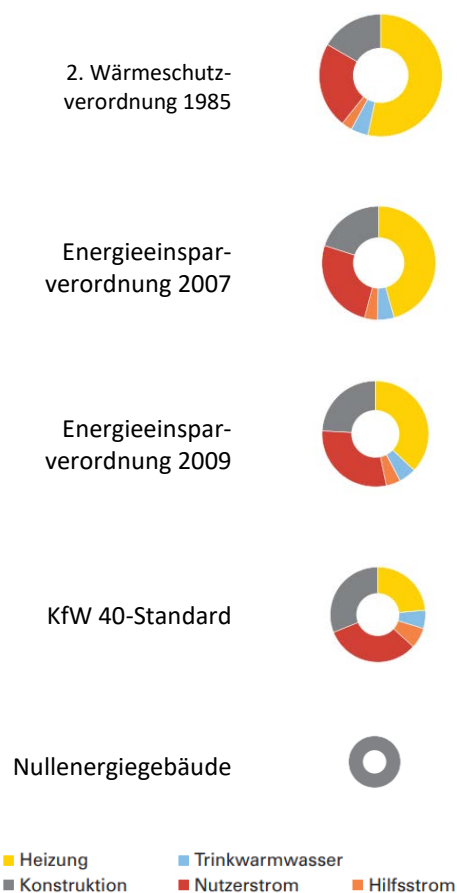
Z.B. wird beim Baustoff Mauerziegel der gesamte Energiebedarf vom Rohstoffabbau (Ton), über die Aufbereitung, Formgebung, Trocknung, das Brennen, den Vertrieb und die Lagerung bis hin zum Einbau im Gebäude zusammengerechnet.

Alternativ wird für den PEI umgangssprachlich oft auch der Begriff „graue Energie“ verwendet.

⁵ Pfoh et al. 2017

Primärenergie steckt nicht nur in Baustoffen, sondern auch in Energieträgern wie Wärme und Strom.

Die Primärenergie stellt also eine Variable dar, mit der der Materialaufwand und der Energieverbrauch von Gebäuden verglichen werden kann. Die folgende Abbildung zeigt die Veränderung der Anteile des Primärenergiebedarfs von Gebäuden über die Jahre.⁶



Entwicklung des Primärenergieinhalts von Gebäuden in Abhängigkeit der jeweils geltenden Energieeinsparverordnung in Deutschland (Badr et al. 2018)

Die Grafik zeigt, dass durch die strengeren Vorschriften zur Energieeffizienz (in diesem Beispiel bezogen auf Deutschland) der durchschnittliche Anteil des Energieverbrauchs v.a. für die Heizung kontinuierlich gesunken ist. Umgekehrt wird der Anteil der Konstruktion im Umweltprofil

von Gebäuden immer relevanter, v.a. wenn der Trend in die Zukunft extrapoliert wird:

In Zukunft bei sog. Nullenergie-Gebäuden **sämtliche Energie für Heizung, Kühlung und Strom werden** z. B. durch die Nutzung von Solar-, Windenergie und Erdwärme **selbst erzeugt**. **Nullenergie** bedeutet in diesem Zusammenhang zwar nicht, dass zu keiner Zeit Energie aus dem Netz bezogen werden muss, aber dass im Jahresdurchschnitt so viel Energie erzeugt wird (welche zum Teil auch in das Stromnetz eingespeist wird) wie durchschnittlich verbraucht wird. Daraus folgt, dass eine effiziente Materialnutzung in Zukunft der entscheidende Hebel für umweltwirksame Maßnahmen im Gebäudebau ist.

Dennoch kann Energieeffizienz und Materialeffizienz im Einzelfall immer noch einen Zielkonflikt darstellen, beispielsweise wenn eine hohe Energieeffizienz auch einen hohen Materialaufwand zur Folge hat (z. B. durch komplexere Wandaufbauten). Um in solchen Fällen richtige Entscheidungen treffen zu können, müssen Gebäude hinsichtlich ihrer erwartbaren Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus klassifiziert werden (siehe Module 4 und 5).

Welche ist die entscheidende Lebensphase eines Gebäudes?

Um richtungssichere Entscheidungen für kreislaufgerechte Konstruktionen/Gestaltungsmöglichkeiten treffen zu können, muss in einem ersten Schritt die ressourcenintensivste Lebensphase eines Gebäudes identifiziert werden. Grob vereinfacht lässt sich der Lebenszyklus von Gebäuden in drei Phasen einteilen:

- Bauphase
- Nutzungsphase
- Rückbauphase

⁶ Badr et al. 2018

Diesen können in folgende Unterphasen eingeteilt werden:

Bauphase	Rohstoffbereitstellung /-verarbeitung
	Transport zum Produkthersteller
	Produktherstellung
	Transport zur Baustelle
	Einbau im Gebäude
Nutzungsphase	Nutzung des Produkts
	Instandhaltung
	Reparatur
	Ersatz
	Umbau / Erneuerung
	Energieeinsatz während der Nutzung
	Wassereinsatz während der Nutzung
Rückbauphase	Rückbau / Abriss
	Wiederverwendung / Recycling
	Transport
	Abfallbehandlung
	Deponierung

Lebenszyklusphasen von Bauprodukten und Gebäuden, angelehnt an (DIN EN 15804)

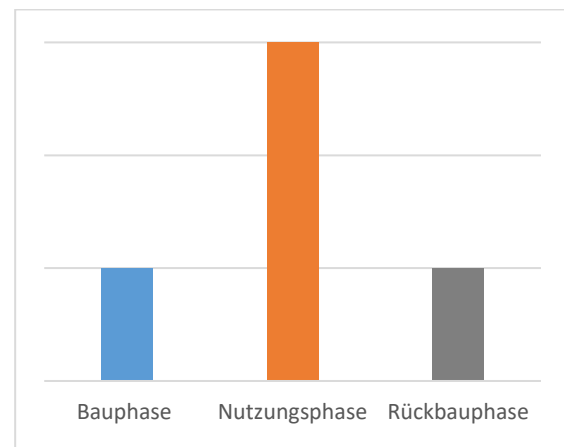
Je nach Bauweise, Nutzungsart, Lebensdauer und Rückbaubarkeit haben unterschiedliche Gebäude auch einen höchst unterschiedlichen Primärenergieverbrauch je Lebensphase. Z.B. wird bei Gebäuden mit einem hohen Energiebedarf und einer langen Lebensdauer immer noch die Nutzungsphase den größten Anteil haben. Umgekehrt wird z.B. bei kurzlebigen, temporären Gebäuden die Rückbauphase vergleichsweise wichtig sein.

Demnach können z.B. folgende unterschiedliche Gruppen von Gebäuden unterschieden werden:⁷

Hochenergieverbraucher (z.B. Bürogebäude, Krankenhäuser, Hallenbäder, etc.)



Bürogebäude ICADE Premier Haus, München



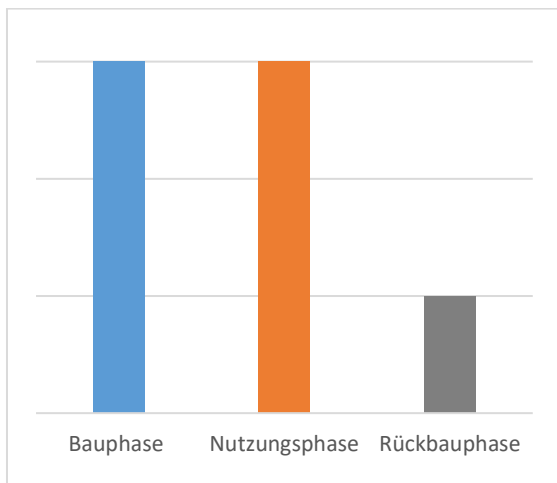
Exemplarischer Vergleich des Primärenergieinhalt von Hochenergiegebäuden

⁷ Zeumer 2016

Hohe Lebensdauer bei geringem Energiebedarf (z.B. moderne Wohnbauten)



Passivhaus-Wohnanlage Kaisermühlenstraße, Wien

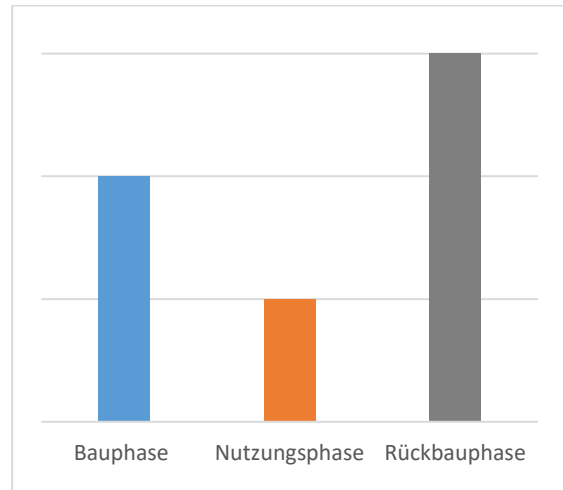


Exemplarischer Vergleich des Primärenergieinhalts von Gebäuden mit hoher Lebensdauer und geringem Energiebedarf

Temporäre Bauten (z.B. Messestände, Ausweichquartiere)



Ausweichquartier des österreichischen Parlaments, Wien

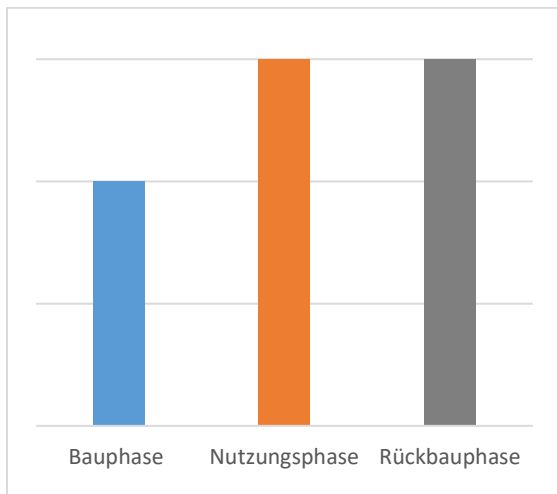


Exemplarischer Vergleich des Primärenergieinhalts temporärer Gebäude

- **Hoher Energieverbrauch und Nutzungswechsel** (z.B. Einkaufszentren, Flughäfen, etc.)



Einkaufszentrum Shopping City Süd, Vösendorf Quelle: Vienna.at



Exemplarischer Primärenergieinhalt von Gebäuden mit hohem Energieverbrauch und Nutzungswechseln, z.B. Einkaufszentren

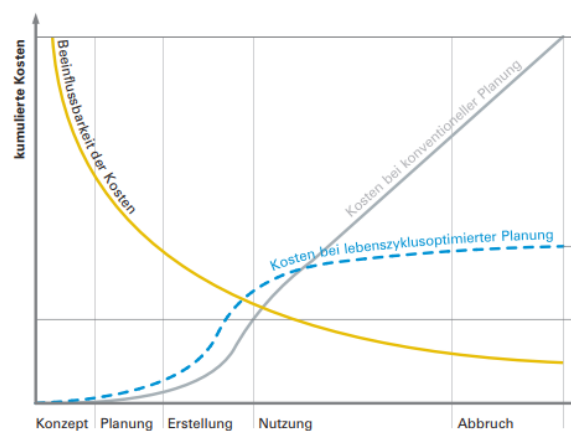
Entscheidend ist es, aus diesem Wissen die richtigen Rückschlüsse zu ziehen, d.h. schon in der Planung von Gebäuden die entscheidenden Lebensphase zu identifizieren - zumal in der Planungsphase die Einflussmöglichkeiten hinsichtlich möglicher Verbesserungen am Größten ist. Verbesserungen bedeuten in dieser Hinsicht jedoch nicht nur Umweltvorteile, sondern schlagen sich immer auch in Kostenvorteilen nieder.

Entscheidend ist daher, die **Kreislauffähigkeit von Beginn an mitzudenken**. Die folgende Grafik verdeutlicht dies und zeigt, wie die

Beeinflussbarkeit der anfallenden Kosten über den Lebensweg exponentiell abnimmt.

Sie zeigt auch, dass eine lebenszyklusorientierte Planung aufgrund des Aufwandes oft höhere Kosten in der Bauphase verursacht. Jedoch ergeben sich durch die lebenszyklusorientierte Planung langfristig erhebliche Vorteile hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs und der Kosten in der Nutzungs- und Rückbauphase. Der Hebel einer vorausschauenden Planung ist dabei bei Gebäuden, die langlebig und ressourcenintensiv sind, besonders groß.

Was für die Gebäudeplanung gilt, ist auch auf darunter liegenden Schichten, also z. B. für die Produktentwicklung der im Gebäude verbauten Komponenten, zutreffend. Auch hier sind die Planungs- und Designphase in späteren Lebenszyklusphasen entscheidend hinsichtlich Kosten und Umweltauswirkungen.



Beeinflussbarkeit der Kosten in verschiedenen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes (Badr et al. 2018)




Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

In den folgenden Kapiteln werden 12 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens vorgestellt.

Die Markierungen in der folgenden Tabelle zeigen an, in welcher der drei Lebensphasen (Bau-, Nutzungs- und Rückbauphase) die Prinzipien zur Ressourceneinsparung beitragen können. Z.B. wird das Prinzip „Materialaufwand minimieren“ vor allem einen hohen Einfluss auf die Bauphase haben. Dennoch sei nochmal erwähnt, dass die Gesamtwirkung wiederum von der Gebäudeart abhängt, wie dies im vorherigen Kapitel skizziert wurde.

Die Prinzipien sollen zusammen einen Leitfaden für kreislaufgerechte Gebäudegestaltung darstellen, doch sie haben keine Allgemeingültigkeit. Zudem können auch Zielkonflikte zwischen den einzelnen Prinzipien auftreten: Wird etwa eine möglichst hohe Nutzungsflexibilität angestrebt (z. B. durch hohe Raumhöhen), kann dies umgekehrt zu einem größeren Materialaufwand führen. Auch das Prinzip der Wiederverwendung ist kein Selbstzweck. Bei statisch und brandschutztechnisch relevanten Bauteilen sind der Wiederverwendung oft Grenzen gesetzt. Auch können Faktoren wie z. B. ein langer Transportweg von Baumaterialien den ökologischen Nutzen von Wiederverwendung aufheben. Die Prinzipien stellen demnach eine Orientierungshilfe dar, um die entscheidenden Hebel für eine verbesserte Ressourceneffizienz zu identifizieren; im Einzelfall muss jedoch immer eine detaillierte Abwägung erfolgen, welche Maßnahmen für das jeweilige Projekt am besten geeignet sind.

Prinzip	Bauphase	Nutzungsphase	Rückbauphase
1 Nutzung bestehender Gebäude und Infrastruktur	Hoher Einfluss	Hoher Einfluss	Hoher Einfluss
2 Gute Planung	Hoher Einfluss	Hoher Einfluss	Hoher Einfluss
3 Materialaufwand minimieren	Hoher Einfluss	Mittlerer Einfluss	Wenig bis keinen Einfluss
4 Bevorzugung von nachwachsenden Rohstoffen	Hoher Einfluss	Mittlerer Einfluss	Hoher Einfluss
5 Bevorzugung recyclingfähiger Materialien	Hoher Einfluss	Mittlerer Einfluss	Hoher Einfluss
6 Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen	Hoher Einfluss	Mittlerer Einfluss	Hoher Einfluss
7 Einstoffliche Bauweisen	Wenig bis keinen Einfluss	Wenig bis keinen Einfluss	Hoher Einfluss
8 Lösbare Verbindungen und Konstruktionen	Wenig bis keinen Einfluss	Hoher Einfluss	Hoher Einfluss
9 Langlebige Bauteile und Materialien	Wenig bis keinen Einfluss	Hoher Einfluss	Hoher Einfluss
10 Flächeneffizienz	Wenig bis keinen Einfluss	Hoher Einfluss	Wenig bis keinen Einfluss
11 Nutzungsflexibilität	Wenig bis keinen Einfluss	Hoher Einfluss	Wenig bis keinen Einfluss
12 Reinigungs- und Instandhaltungsoptimierung	Wenig bis keinen Einfluss	Hoher Einfluss	Wenig bis keinen Einfluss

	Hoher Einfluss
	Mittlerer Einfluss
	Wenig bis keinen Einfluss

1 Nutzung bestehender Gebäude und Infrastruktur

Ressourcenschonung beginnt bei der Nutzung des Gebäudebestands. Jede Weiternutzung bestehender Bausubstanz sollte Vorrang vor der Erschließung neuer Flächen haben – insbesondere vor dem Hintergrund der angesprochenen hohen Rate der Flächeninanspruchnahme.

Der Vorteil einer Weiternutzung bestehender Gebäude, besteht dabei nicht nur aus der Einsparung von Bauteilen bzw. Entfall des Rückbaus, sondern es wird auch bestehende technische und soziale Infrastruktur weitergenutzt.

Zur **technischen Infrastruktur** zählt v. a. die Verkehrsinfrastruktur, die Energieversorgung, Kommunikationstechnologie und die stoffliche Ver- und Entsorgung.

Die **soziale Infrastruktur** beschreibt die Versorgung des jeweiligen Standorts mit Gesundheitseinrichtungen, Schulen, Kindergärten, Einkaufsmöglichkeiten, etc.

Erst sobald eine Weiternutzung bzw. Renovierung ausgeschlossen werden kann, sollte der Neubau erwogen werden. Bei der Wahl des Bauplatzes gilt es dann ebenso, bestehende Infrastruktur bestmöglich zu nutzen. Dieser Anspruch resultiert in einer möglichst dichten Bebauung.

Bestimmte Infrastruktur kann überhaupt erst ab einer bestimmten Dichte funktionieren. Eine Nahversorgung mit Gütern des täglichen Bedarfs wird nur vorhanden sein, sofern die entsprechende Nachfrage (=Siedlungsdichte) im unmittelbaren Umfeld besteht. Selbiges gilt für ein funktionierendes Angebot an öffentlichem Nahverkehr. Während im urbanen, dicht besiedelten Gebieten eine Vielzahl an Mobilitätsangeboten besteht (U-Bahn, Bus, Bahn, Fahrrad, Leihrad, Mietroller, Car-Sharing-Angebote, zu Fuß, etc.) bestehen in ländlich geprägten und „zersiedelten“

Gebieten kaum Mobilitätsalternativen zum eigenen Auto.

Vor diesem Hintergrund ist die Wahl des Bauplatzes eine sehr entscheidende, die sich auf den Ressourcenbedarf in allen Phasen des Lebenszyklus auswirkt.

Ein kreislaufgerechtes, ressourceneffizientes Gebäude, welches trotz besserer Standortalternativen „auf der grünen Wiese“ fern jeder bestehenden Infrastruktur geplant wird, stellt einen Widerspruch dar.

2 Gute Planung

Kreislaufgerechtes Bauen erhöht aufgrund der zusätzlichen erforderlichen Expertise oftmals die Komplexität von Bauvorhaben. Insofern ist eine gute Planung in den Phasen der Projektvorbereitung und des Entwurfs unerlässlich. Hierbei kommen insbesondere der **Ausschreibung, dem On-Site-Recycling und der Gebäudedokumentation** eine entscheidende Rolle zu.

Ausschreibungen

Bei öffentlichen Bauvorhaben können Ausschreibungen als Instrument genutzt werden, um kreislaufgerechte Konstruktionen zu fördern, indem z. B. **Vorgaben für die Baustellenabwicklung** definiert werden:

- Der Minimierung der Transportwege zur Materialanlieferung
- der Verpflichtung zur Errichtung von Sortierinseln zur getrennten Erfassung von Baurestmassen
- Verwendung des Aushubmaterials vor Ort zur Geländemodellierung

Während derartige Vorgaben bereits üblich und weit verbreitet sind, kann die Ausschreibung auch detaillierte **Vorgaben zur Konstruktion** geben, z. B.

- Definition der zu verwendenden Materialien (z. B. bestimmter Recycling-Baustoff-Anteil)

- Vorgabe von Füge-techniken für bestimmte Gebäudeschichten (weitgehende Vermeidung von Klebeverbindungen)
- Vorlage von Wartungsverträgen für bestimmte Bauteile (v. a. der Haustechnik) mit den ausführenden Firmen, um eine lange Lebensdauer zu garantieren

On-Site-Recycling und Wiederverwendung von Baustoffen und Bauteilen

Unter On-Site-Recycling und Wiederverwendung wird die gezielte Verwendung der vor Ort verfügbaren Ressourcen verstanden.

Beispiel Aspern

Beim Bau der Seestadt Aspern in Wien wurden die vor Ort verfügbaren Aushubmaterialien – insbesondere aus dem Seeaushub – unmittelbar im Tief und Hochbau verwendet. Beim Bau der ersten 3.000 Wohnungen wurden 1 Mio. t Material lokal aufbereitet und verbaut. Der gesamte Ortbetonbedarf wird mit lokalem Kies direkt auf der Baustelle produziert. Dieses On-Site Recycling sparte der Stadt Wien etwa 100.000 Schwerlast-Lkw-Fahrten im Stadtgebiet ein.⁸



Ortbetonanlage Aspern

Das Beispiel Aspern zeigt, welchen Hebel die vor-Ort-Nutzung von Materialien und

⁸

<http://www.romm.at/projekte/bauen/detail/news/seestadt-aspern-1>

Ressourcen auf die Ressourceneffizienz haben kann.

Dies gilt es insbesondere dann zu bedenken, wenn auf dem Bauplatz eines neu geplanten Gebäudes ohnehin rückzubauende Bausubstanz vorhanden ist.

Dann gilt es, die **vorhandenen Ressourcen im neugeplanten Gebäude so gut es geht weiterzuverwenden**. Auch derartige Vorgaben können in einer Ausschreibung festgehalten werden.

Bisher werden diese Potentiale noch kaum in der Baupraxis umgesetzt. Es gibt aber bereits Pioniere wie das Unternehmen **Baukarussell**⁹, welches versucht, den verwertungsorientierten Rückbau unmittelbar mit dem Neubau zu verknüpfen. Ziel ist es, dass möglichst viele, als gebrauchstauglich identifizierte Bauteile aus dem Rückbau am selben Standort für den Neubau wiederzuverwenden. Dadurch können große Materialmengen sowie Transport- und Lagerkosten eingespart werden.

Entscheidend für den Erfolg derartiger Maßnahmen ist es, dass diesen Maßnahmen auch ein ausreichender Zeiträumen eingeräumt wird.

Gebäudedokumentation

Ein entscheidendes Hindernis für Wartungs-, Reparatur- und Sanierungsarbeiten während der Nutzungsphase ist das fehlende Wissen bzgl. der baulichen Zusammensetzung von verbauten Elementen. Dies stellt auch in der Rückbauphase, vor allem hinsichtlich einer hochwertigen Materialverwertung, eine Herausforderung dar.

Im Rückbau ist das Wissen hinsichtlich etwaiger Schad- und Gefahrenstoffe entscheidend. Erkundungen von Sachverständigen sind mit einem erheblichen

⁹ www.repanet.at/baukarussell

Zeit- und Kostenaufwand verbunden, und führen in der Praxis dazu, dass mehr und z. T. gefährlose Material als notwendig als gefährlich eingestuft und schließlich deponiert wird.

Gegenwärtig wird in mehreren Projekten daran gearbeitet, ein Konzept für eine umfangreiche **Gebäudedokumentation** zu entwickeln. So z.B. im EU-Forschungsprojekt „Buildings as Material Banks“ verfolgt.¹⁰ Dabei wurde ein **standardisierter Gebäudepass** entwickelt, der auf einem digitalen Modell des Gebäudes basiert. Das digitale Modell kann bei Änderungen in der Nutzungsphase angepasst werden. Die Dokumentation umfasst die Kategorien Materialien, Komponenten und Produkte.

Um den Materialbestand im großen Maßstab zu dokumentieren, wird derzeit in vielen Städten an Urban-Mining-Katastern gearbeitet. Diese sollen einen Überblick über die bereits verbauten Ressourcen bieten. Zum Beispiel gibt es für einen Teilbereich der Stadt Graz bereits einen Urban-Mining-Kataster, der je Gebäude die Art der Dämmung, Bauperiode, Nutzungsart, Fenstermaterialien etc. dokumentiert.¹¹ Durch entsprechende Dokumentationen können Prognosen über Materialmengen gemacht werden, die bei einem Rückbau anfallen und die für Neubauprojekte genutzt werden können.

3 Materialaufwand minimieren

Ein reduzierter Materialaufwand führt üblicherweise auch zu geringeren Umweltwirkungen. Die benötigte Menge wird dabei insbesondere durch grundsätzliche Planungsentscheidungen wie **die Baukörpergestaltung, die Tragwerksplanung und die Materialwahl** beeinflusst.

Hinsichtlich des **Baukörpers** ist eine möglichst hohe Kompaktheit des Gebäudes anzustreben:

Gemessen wird die Kompaktheit von Gebäuden mittels des A/V-Verhältnisses (A= Oberfläche [m²], V= Volumen [m³]). Typische A/V-Verhältnisse sind z.B.:

Freistehende Einfamilienhäuser: 0,7 - 1,2

Reihenhäuser: 0,5 - 1

Mehrfamilienhäuser: 0,2 - 0,6¹²

Das Verhältnis ist primär von der Größe des Baukörpers abhängig und sekundär von der Ausformung.

Welche Ausformung hat das theoretisch kleinste A/V-Verhältnis, bzw. welche Form ist in der Baupraxis am ehesten umsetzbar?

Das A/V-Verhältnis ist sowohl entscheidend für den Energieverbrauch von Gebäuden (mehr Außenflächen pro beheiztem m³ Rauminhalt resultieren in höheren Wärmeverlusten) als auch für den Materialaufwand (z. B. durch mehr zu dämmende Außenwände).

Ein weiteres Grundprinzip ist die **Vermeidung von unterirdischen Bauplächen**, sofern diese aufgrund einer geforderten dichten Siedlungsentwicklung in Städten nicht zwingend erforderlich sind. Diese haben aus Umweltsicht aufgrund des hohen baulichen Aufwandes große Umweltauswirkungen und werden in der Regel vor allem für nachgeordnete Räume verwendet, wie z. B. Garagen und Lagerräume.

Im Wohnungsbau ist der Bedarf nach solchen wenig genutzten Flächen auch aufgrund von ressourcenschonenden Entwicklungen im Konsumbereich wie der Sharing Economy (z. B. Car Sharing oder gemeinschaftliche Nutzung von Räumen) zukünftig mehr zu

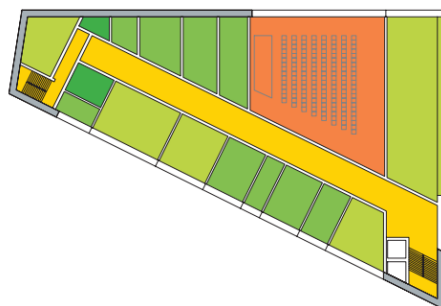
¹⁰ EU-Projekt: Buildings as Material Banks,

¹¹ Urban Mining Services Graz, <https://geodaten.graz.at/WebOffice/synserver?project=UMKAT&client=core>

¹² Baunetzwissen – A/V-Verhältnis

hinterfragen. Im urbanen Wohnbau sind diesbezüglich auch Erdgeschoßflächen kritisch, sofern diese nicht hochwertig genutzt werden. Eine Alternative stellt die aufgeständerte Bauweise dar, die nicht nur den Anteil der Flächenversiegelung minimiert, sondern auch den Materialaufwand durch das punktuelle Fundament reduziert und somit verschiedenartig, nutzbare Freiflächen schafft.

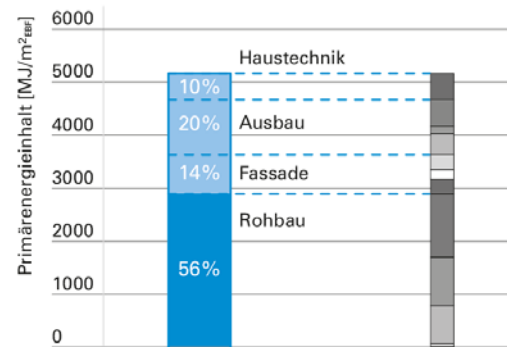
Das Gebäude als Schichtenmodell wahrzunehmen bedeutet auch, dass die **Materialwahl** abhängig von der Nutzung der verschiedenen Gebäudebereichen geschehen sollte. Dies kann z. B. bei der Planung von Schulgebäuden relevant sein und bedeuten, dass im Eingangsbereich besonders abriebresistente, feucht zu reinigende Böden verbaut werden sollten, und freistehende Stützen zur besseren Reinigungsfähigkeit vermieden werden sollten.



- Belastungspotenzial**
- minimal
 - schwach
 - mäßig
 - stark
 - maximal

Beispiel: Belastungsprofil der Kirche St. Trinitatis in Leipzig (Badr et al. 2018)

In der Bauphase hat das geplante **Tragwerk** den größten Einfluss auf den Materialbedarf und den PEI, welcher bei ca. 50% und mehr liegt.



- | | |
|-----------------|---|
| Rohbau: | Fassade, Ausbau und Haustechnik: |
| ■ Außenwände | ■ Haustechnik |
| ■ Decke | ■ Ausbau |
| ■ Stützen | ■ Innenwände |
| ■ Untergeschoss | ■ Dächer |
| ■ Aushub | ■ Fenster |
| | ■ Glasfassaden |

Beispielhafte Aufteilung des Primärenergieinhalts eines Büro- und Verwaltungsgebäudes (Badr et al. 2018)

Da auch beim Tragwerk üblicherweise gilt, dass eine Massereduktion mit einem niedrigeren Ressourcenverbrauch einhergeht, sollte frühzeitig das **Potential von Leicht- und Skelettbauten** untersucht werden. Neben dem geringeren Baustoffbedarf haben diese Bauweisen auch den Vorteil, dass eine höhere Grundrissflexibilität ermöglicht wird und dass das Gebäude den sich in der Nutzungsphase ändernden Anforderungen besser anpassen kann. Deshalb werden diese Tragwerksarten auch insbesondere bei Büro- und Gewerbebauten eingesetzt.

Massiv- und Skelettbauweise

Unter Massivbauweise versteht man das Bauen mit Beton, Stahlbeton oder Mauerwerk, welche als raumabschließende Elemente wie Wände und Decken eingesetzt werden und als solche auch eine statische Funktion besitzen.

Im Gegensatz dazu übernehmen beim Skelettbau die tragenden, vertikalen Bauteile keine abschließende Funktion des Raumes und erlauben somit eine flexiblere Raumgestaltung.

4 Bevorzugung von nachwachsenden Rohstoffen

Bei einer kreislaufgerechten Bauweise spielen **nachwachsende Rohstoffe** (oft mit dem Kürzel „Nawaro“ oder „NAWARO“ bezeichnet). eine entscheidende Rolle. Neben dem universal einsetzbaren Baustoff Holz kommt auch den Dämmmaterialien eine entscheidende Rolle zu (z. B. Stroh, Schafwolle, Hanf, Flachs).

Eine nachhaltige Nutzung vorausgesetzt, sind diese Baustoffe im Rahmen der biologischen Kapazitäten endlos verfügbar. Bei Holz kann z.



B. über das FSC-Siegel geprüft werden, ob der Rohstoff aus einem Forstbetrieb stammt, welcher eine Reihe vordefinierter Prinzipien nachhaltiger Forstwirtschaft (z. B. ein langfristiger Walderhalt) garantiert. Das heißt, dass das Holz kontrolliert geerntet wird und der Rohstoff die benötigte Zeit bekommt, sich wieder zu regenerieren und nachzuwachsen.

In Österreich wächst in jeder Sekunde etwa ein Kubikmeter Wald nach. Aus diesem nachwachsenden Material alleine könnte somit theoretisch ca. **alle 40 Sekunden ein neues Holzhaus** errichtet werden, ohne die Rohstoffquelle zu erschöpfen.

Holz als CO₂-Speicher

Holz hat den Vorteil, dass es durch Photosynthese CO₂ aus der Atmosphäre langfristig bindet und dadurch nicht als Treibhausgas freigesetzt wird - in jedem m³ Holz sind ca. 900 kg CO₂ gespeichert. Beim Einsatz als Baustoff schafft jeder genutzte Stamm Platz für neue Bäume, durch deren Wachstum der Luft CO₂ entzogen wird und damit die gesamte CO₂-Speicherkapazität zunimmt.

Generell gilt, dass je weniger der Baustoff Holz behandelt wird (z. B.: mit Holzschutzmitteln), umso mehr CO₂ langfristig darin gebunden werden kann. Demnach ist bei Vollholz die

Speicherkapazität von CO₂ am höchsten. In der Praxis ist jedoch der Aufwand an Bearbeitung, um Holz als Baustoff verwenden zu können, oftmals von den Anforderungen des Brand- und Schallschutzes an die verbauten Materialien abhängig. So gibt es zahlreiche Anforderungen an tragende Wände und Decken, mehrgeschossigen und öffentlichen Gebäuden hinsichtlich des Brandschutzes. Deren Erfüllung setzt eine hohe Bearbeitung des Baustoffes Holz voraus, welche von anderen Baustoffen einfacher erfüllt werden kann.

Daher gilt, dass beim Holzbau insbesondere der niedriggeschoßige Wohnbau (da hier vergleichsweise geringere Anforderungen des Brandschutzes bestehen) mit einem hohen CO₂-Speicherpotential einhergeht.

5 Bevorzugung recyclingfähiger Materialien

Um den Abbau von Primärressourcen und die damit verbundenen Umweltauswirkungen einzudämmen, sollten künftig bevorzugt **bereits rezyklierte bzw. rezyklierbare Materialien eingesetzt werden.**

Materialien können im Wesentlichen in zwei Gruppen eingeteilt werden. In **nachwachsende und endlich verfügbare Materialien.** Zu den endlich verfügbaren Ressourcen zählen **mineralische, fossile und metallische** Rohstoffe. Auch diese Materialien erneuern sich zwar in natürlichen Prozessen, jedoch sind die entsprechenden Zeiträume so lange (z.B. Erdöl, Metalle), dass deren Verfügbarkeit letztlich endlich ist. Demnach müssen diese Stoffe in einem möglichst effizienten Stoffkreislauf geführt werden.

Metallische Materialien (z. B. Stahl, Kupfer, Aluminium, etc.) kommen in der Natur in Form von Erzen vor. Die gesamte Wertschöpfungskette zur Erzeugung ist mit erheblichen Umweltauswirkungen verbunden, v. a. einem hohem Wasser-, Flächen- und Energieverbrauch. Umso wichtiger ist daher

ein effizientes stoffliches Recycling. Die meisten Metalle haben den Vorteil, dass diese sich ohne Qualitätsverlust beliebig oft wieder einschmelzen und raffinieren lassen. Um dies zu ermöglichen, ist jedoch eine sortenreine Trennung die Voraussetzung. Aufgrund dieser Eigenschaften und der daraus resultierenden hohen Preise auch für rezyklierte Materialien haben Metalle eine hohe Recyclingquote.

Die wichtigsten **fossilen Materialien** im Bausektor sind Bitumen und Kunststoffe. Das Nachnutzungspotential von Kunststoffen variiert stark, entscheidend ist die Sortenreinheit und Art des Materials. Bitumen wird gegenwärtig aufgrund des hohen Heizwerts meist nur energetisch verwertet, obwohl eine stoffliche Verwertung einfach möglich wäre.

Auch die Verwendung von **mineralischen Materialien** setzt den Abbau von Bodenmaterial voraus. Die Herstellung von Materialien wie Zement, Beton und Kalksandstein ist außerdem mit einem hohen Energieaufwand verbunden. Vom Bodenaushub abgesehen, machen im Baubereich die mineralischen Materialien den größten Anteil der Abfallmassen aus. Auch wenn z.B. in Deutschland eine Verwertungsquote von etwa 78% der mineralischen Bauabfälle angegeben wird¹³, werden die dabei aufbereiteten Recyclinggesteinskörnungen vorwiegend im Straßenbau verwendet, kaum jedoch im Hochbau. Den Einsatz von wieder aufbereiteten Materialien mit minderer Qualität bezeichnet man als Downcycling, welches gegenwärtig im Bausektor weit verbreitet ist. Die Materialien könnten höherwertig eingesetzt werden, wenn deren Weiterverwendung von Beginn an berücksichtigt werden würde. Dies muss auch das Ziel einer langfristig kreislauforientierten Wirtschaft sein.

Um aus recycelten Gesteinskörnungen wiederum verarbeitbaren Beton herzustellen, muss Zement zugesetzt werden. Gerade die Zementherstellung ist aber mit erheblichen Umweltauswirkungen (z. B. Staub, Emissionen durch den hohen Energieeinsatz) verbunden.

Dennoch kann mit der Verwendung von Recyclingmaterialien z. B. der Abbau von Kies substituiert werden. Mit neuen Forschungsansätzen (wie z.B. dem Smartcrusher¹⁴) wird versucht, auch Zement aus Betonabbruchmaterial wieder zu gewinnen und damit den weitverbreiteten Baustoff Beton kreislauffähiger zu machen.

Eine weitere Herausforderung stellen die vergleichsweise hohen Kosten von recycelten Materialien dar. Diese sind vor allem deshalb vergleichsweise teuer, weil die entsprechenden Umwelteffekte von Primärmaterialien (noch) nicht eingepreist sind. Die Aufbereitung von Recyclaten ist auch mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden, der die Kosten in Ländern mit relativ hohen Lohnnebenkosten wie Österreich noch weiter nach oben wachsen lässt. In Zukunft ist jedoch davon auszugehen, dass steigende Deponiekosten sowie die fortschreitende Verknappung von Rohstoffen (z. B. Sand) zu einem weiter verbreiteten Einsatz von Recyclaten führen.

Heute spielen **Transportkosten eine entscheidende Rolle** für den Einsatz von Recyclingbaustoffen, insbesondere bei großen Baumassen. Baustoffmärkte sind deshalb regional sehr unterschiedlich. Je näher die Sekundärrohstoffquelle bei der Neubaustelle liegt, umso eher sind Kostenvorteile zu erwarten.

Recycling von Baustoffen stellt einen wesentlichen Teil der Kreislaufwirtschaft dar. Es gilt jedoch zu bedenken, dass Recycling mit erheblichen Aufwänden und auch Emissionen verbunden ist und ein höherwertiger Einsatz

¹³ Mineralische Bauabfälle Monitoring 2014, Initiative Kreislaufwirtschaft Bau

¹⁴ <https://slimbreker.nl>

auf Komponenten-, Bauteilebene oder sogar Gebäudeebene ressourcenschonender ist.

Die folgende Tabelle stellt die Verwertungspotentiale verschiedener Baustoffe gegenüber und zeigt, wie die Art des Rückbaus und die Nachfrage nach Sekundärmaterialien die Potentiale beeinflussen können. Unterschieden wird zwischen den folgenden Verwertungsstrategien:

- **Reuse** (=Wiederverwendung für denselben Zweck)
- **Recycling** (=stoffliche Wiederverwertung)
- **Downcycling** (=stoffliche Weiterverwertung)
- **Energetische Verwertung:** Verbrennung mit Wärme- und Energienutzung

	Reuse	Recycling	Downcycling	Energie erneuerbar	Energie fossil
Beton					
Ziegel					
Fliesen und Keramik					
Naturstein					
Lehmbaustoffe					
Altholz A1 und A2					
Glas					
Kunststoff					
Bitumengemische					
Schrott, nach Metallart					
Herstellerrücknahme (z.B. Mineralwolle, Gips)					

	Hochwertigstes Szenario falls Nachfrage nach Baustoffen existiert und bei Gebäudedemontage
	Hochwertiges Szenario bei selektivem Rückbau
	Übliches Szenario bei selektivem Abbruch

Gegenüberstellung der Verwertungspotentiale unterschiedlicher Baustoffe, Quelle: (Hillebrandt et al.)

6 Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen

Eine direkte Wiederverwendung von konstruktiven Bauteilen (wie z. B. Fenstern, Türen, Boden- und Deckenelementen, etc.) ist die ressourcenschonendste Variante im Rückbau. Dennoch sehen die heute verbreiteten Methoden des Abbruchs und der Entkernung den schadensfreien Ausbau ganzer Bauteile kaum vor.

Eine Ausnahme stellen historische bzw. antike Bauteile dar. Da eine hohe Nachfrage an jenen Bauteilen besteht und die Preise entsprechend hoch ist, funktioniert die direkte Wiederverwendung in diesem Segment deutlich besser.



Bassena und alte Flügeltüren aus dem Onlineshop von Antike Baustoffe e.U.; <http://www.antikebaustoffe.at/>

Gebrauchten Bauteilen stehen jedoch **zahlreiche Hindernisse der Wieder- und Weiterverwendung** im Weg, unter anderem:¹⁵

- Die Ausschreibungen von Neubauprojekten sehen keine Sekundärnutzung gebrauchstauglicher Bauteile vor;
- Das für den Rückbau bemessene Zeitfenster ist zu gering, um einen zerstörungsfreien Rückbau zu ermöglichen;
- Es bestehen kaum etablierte Vermarktungsstrukturen für wiederverwendete Baumaterialien

¹⁵ Dechantsreiter et al. 2014

- Der Ausbau wiederverwendbarer Bauteile erfordert einen hohen Arbeitsaufwand, welcher mit entsprechend hohen Lohnnebenkosten verbunden ist
- Schadensfreier Ausbau ist oftmals aufgrund der Verbindungstechnik kaum möglich

Dennoch gibt es seit einigen Jahren eine Vielzahl von Projekten, die eine vermehrte Wiederverwendung ganzer Bauteile unterstützen sollen. Auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen in Österreich haben sich in den letzten Jahren zugunsten einer besseren Ressourcenverwertung im Rückbau geändert. Die Recycling-Baustoffverordnung schreibt für große Gebäude (>750t Material) einen geordneten Rückbau vor, bei dem auch die Möglichkeiten der Wiederverwendung geprüft werden müssen.

Die Wiederverwendung von Bauteilen wird auch durch diverse Online-Plattformen (z. B. *willhaben*) und dezidierte Bauteilbörsen (z. B. *Materialnomaden* und *BauKarussell* in Österreich, *Bauteilnetz* in Deutschland) gefördert.

In Deutschlands Bauteilbörsen gehören Innentüren zu der am stärksten nachgefragten Bauteilgruppe, gefolgt von Fenstern, Sanitärprojekten und Heizkörpern.¹⁶ Daran ist auch ersichtlich, dass sich Standardmaße vorteilhaft auf eine vermehrte Wiederverwendung auswirken. Dennoch bleibt vor allem bei den Bauteilbörsen immer noch die große Herausforderung der Lagerung und des Transports, die mit einem erheblichen Aufwand verbunden sind und die Vorteile der Wiederverwendung oft zunichte machen. Daher gilt es auch hier das Potential der On-Site Wiederverwendung zu nutzen, wie dies bereits beim Prinzip „Gute Planung“ erläutert wurde.

Beispiel - Lukas Lang Building Technologies

Das Unternehmen Lukas Lang Building Technologies hat ein eigenes Baukastensystem für Gebäude entwickelt, aus dem sich unterschiedlichste Gebäudevarianten entwickeln lassen. Die modularen Teile werden industriell in Serie gefertigt und können schnell aufgebaut werden. Das System ist insbesondere für Gebäude mit einer kurzen Nutzungsdauer interessant, da hier die Teile schnell rückgebaut und für andere Zwecke wiedeingesetzt werden können. Auf diese Weise ist auch das Ausweichquartier im Rahmen der Sanierung des Österreichischen Parlamentsgebäude von dem Unternehmen umgesetzt worden (Video, 3min: https://www.youtube.com/watch?v=xR_DNsrnZSE&t=139s)



Ausweichquartier am Heldenplatz, Quelle: lukaslang.com

Beispiel – Ziegelwiederverwendung

Das dänische Unternehmen Gamle Mursten („alte Ziegel“) hat die Wiederverwendung von Ziegeln zum Geschäftsmodell gemacht. Dieser Baustoff eignet sich aufgrund seiner Standardmaße und der langen Lebensdauer sehr gut für weitere Verwendungen. Außerdem ist die Ziegelherstellung sehr energieintensiv, weshalb die Wiederverwendung mit vielen Vorteilen verbunden ist. Das Unternehmen hat einen eigenen teilautomatisierten Reinigungs-, Sortier- und Stapelprozess entwickelt, der eine entsprechende Kosteneffizienz ermöglicht. Video, 3min.: https://www.youtube.com/watch?time_conti

¹⁶ Dechantsreiter 2016

[nue=38&v=HLpPM6SmFmY](#)



Wiederaufbereitete, gestapelte Ziegel, Quelle: Gamle Mursten

Um eine Wiederverwendung in Zukunft besser zu ermöglichen, ist die Gebäudeplanung entscheidend. Bauteile müssen so eingebaut werden, dass sie sich auch schadensfrei wieder trennen lassen. Dies ist in der Baubranche kein neues Prinzip. Die Bauweisen bis 1920 stellten sich als vorbildlich für den Rückbau und eine hochwertige Wiederverwendung heraus.¹⁷ Insofern ist es entscheidend, das Gebäude - wie es auch durch das Schichtenmodell vermittelt werden soll - „rückwärts“ zu denken.

7 Einstoffliche Bauweisen

Wie bereits beschrieben, nimmt die Variabilität der Baustoffe in den letzten Jahren kontinuierlich zu. Dies liegt unter anderem daran, dass einzelne Gebäudeschichten eine Vielzahl an gesetzlich normierten Funktionen erfüllen müssen, z. B: Wärmedämmung, Schallschutz, Brandschutz, Witterungsschutz, Statik, etc.

Mit der zunehmenden Komplexität der Gebäudeschichten wird die sortenreine Trennung in der Rückbauphase erschwert und oftmals unwirtschaftlich. Dies stellt einen Zielkonflikt dar. Auf der einen Seite können komplexe Aufbauten einen positiven Effekt auf die Langlebigkeit, Modularität und Energieeffizienz von Gebäuden haben. Auf der anderen Seite verlängern komplexe Aufbauten aus mehreren Materialien die Bauphase und

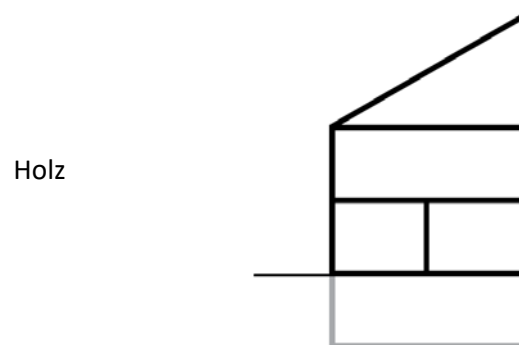
erschweren in der Rückbauphase die sortenreine Trennung und Weiterverwendung.

Bei einstofflichen Bauweisen wird also versucht, einen Kompromiss für diesen Konflikt zu finden. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit die bauphysikalischen Anforderungen von einem einzigen Material erfüllt werden können.

Als Materialien kommen dafür vor allem die Baustoffe **Holz, Lehm, Ziegel, Leichtbeton und Porenbeton** in Frage.

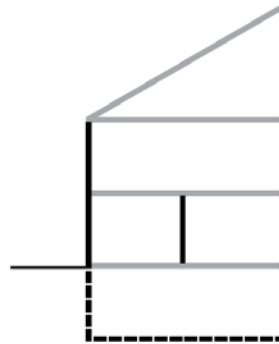
Die untenstehende Grafik zeigt eine Übersicht, inwieweit sich verschiedene Materialien eignen, um Anforderungen und Funktionen von tragenden Außenwänden, Innenwänden, Böden, Geschoßdecken und erdberührten Schichten zu erfüllen. Insbesondere bei den erdberührten Schichten stößt das Prinzip der Monomaterialität an seine Grenzen. Hier müssen zusätzliche Materialien zur Abdichtung eingesetzt werden.

- Einstofflich möglich
- - - Mit Einschränkungen einstofflich möglich
- Nicht einstofflich möglich

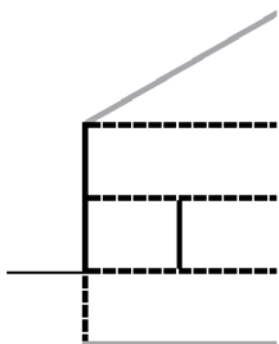


¹⁷ Dechantsreiter 2016

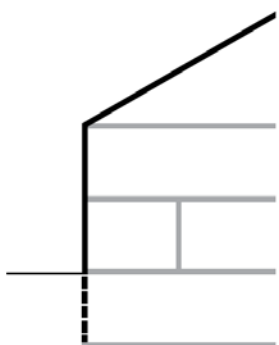
Lehm



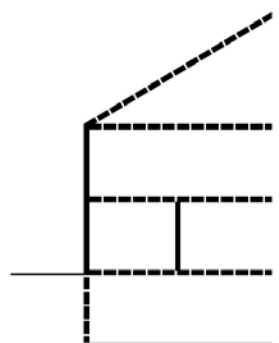
Ziegel



Leicht-
beton



Poren-
beton



Vergleich der Eignung verschiedener Materialien für einstoffliche Bauweisen, adaptiert von: (Hillebrandt et al.)

Der Baustoff Holz zeigt sich im Vergleich als besonders leistungsfähig und kann für fast alle Gebäudeschichten eingesetzt werden. Holz hat außerdem den Vorteil, dass schon heute zahlreiche etablierte Verwertungswege offenstehen. Bei Schadstofffreiheit und Sortenreinheit - beides ist durch Einstofflichkeit einfacher gegeben - kann Altholz in mehreren Kaskaden (=“Nutzungszyklen“) weiterverwendet werden: zunächst etwa als OSB-Platte, dann als Spanplatte, dann als Dämmstoff und zuletzt zur energetischen Verwertung (Verbrennung mit Energienutzung). Aufgrund der vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und der breiten Verfügbarkeit von Holz ist die Holzmassivbauweise insbesondere in Mitteleuropa und Skandinavien bereits weit verbreitet.

Bei den mineralischen Baustoffen ist das Potenzial der Einstofflichkeit nicht im selben Ausmaß gegeben. Nur Außen- und Innenwände lassen sich vollständig einstofflich konstruieren. Bei anderen Bauteilen ist dies nur mit Einschränkungen möglich oder durch die Ergänzung mit zusätzlichen Materialien. Am Lebensende ist es zwar durch die einstoffliche Bauweise theoretisch einfacher, ganze Bauteile für dieselbe Funktion weiterzuverwenden, dies wird in der gängigen Baupraxis allerdings noch kaum umgesetzt. Lehm stellt hier eine Ausnahme dar. Dieser kann bei Verwendung ohne Zuschlagstoffe nach kurzer Aufbereitung einfach wiederverwendet werden.

8 Lösbare Verbindungen und Konstruktionen

Kreislaufoptimierte Gebäude sind entweder mehrheitlich einstofflich aufgebaut oder durch **lösbare Verbindungen** zwischen verschiedenen Funktionsschichten unterschiedlicher Lebensdauer wie z. B.

Fenster oder Fußböden charakterisiert (besonders dann wenn eine lange Nutzungsdauer und eine hohe Nutzungsflexibilität angestrebt wird)

Welche Verbindungsarten gibt es?

Nach dem physikalischen Wirkprinzip können drei Verbindungsarten unterschieden werden:

Formschluss: ineinandergreifen der Form von mindestens zwei Verbindungspartnern (z. B. Klettverschluss, Drehriegel bei Fenstern, Nut-Feder-Verbindung bei Bodenbelägen)

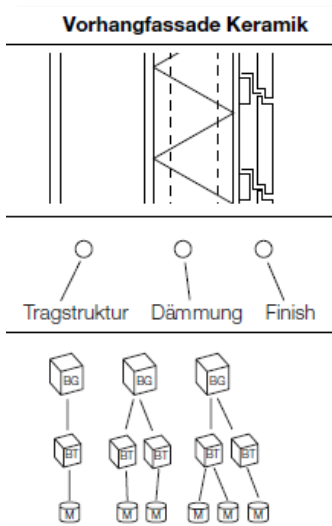
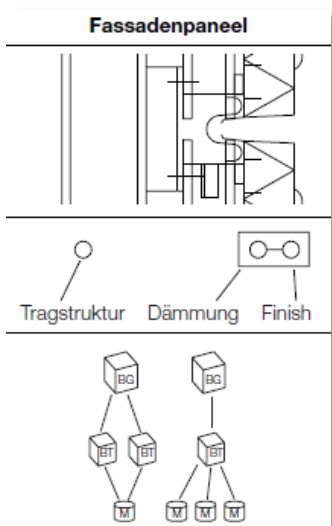
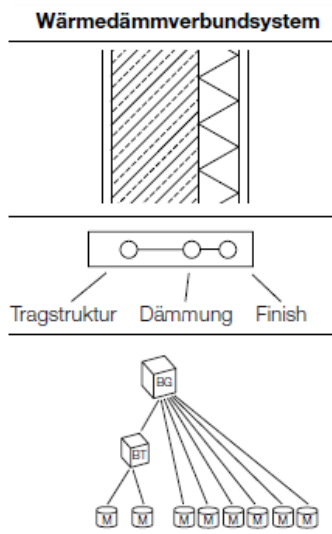
Kraft- bzw. Reibschluss: Verbindung durch Einwirkung einer Normalkraft und daraus resultierender Haftreibung (z. B. Schrauben, Nageln, Bolzen, Klemmen)

Stoffschluss: Zusammenhalt der Verbindungspartner durch atomare oder molekulare Kräfte (z. B. Kleben, Schweißen, Löten, Adhäsion, Kohäsion)

Mit einigen Ausnahmen sind Stoffschlussverbindungen unlösbar, während Kraft- und Formschlussverbindungen weitgehend zerstörungsfrei lösbare Verbindungen darstellen. Dennoch ist eine eindeutige Trennung nicht immer möglich und auch von anderen Faktoren wie der Witterungsbeständigkeit (Feuchteintrag, Frost, etc.) und der verwendeten Materialien abhängig.

Lösbare Verbindungen bieten Vorteile über den gesamten Lebenszyklus. In der Bauphase entfallen Trocknungszeiten und die Montage ist witterungsunabhängig. In der Nutzungsphase sind Maßnahmen wie der Austausch beschädigter Elemente oder Modernisierungsmaßnahmen leichter zu bewerkstelligen und auch kleinteiliger möglich. In der Rückbauphase wird eine Wiederverwendung ganzer Bauteile bzw. eine sortenreine Materialtrennung ermöglicht, welche den Verbleib der Funktion oder Materialien im Kreislauf ermöglicht.

Die folgende Gegenüberstellung verschiedener Wandaufbauten zeigt exemplarisch das Prinzip der **Funktionstrennung** auf. Das **Wärmedämmverbundsystem** vereint die drei Funktionen Tragstruktur, Dämmung und Finish (Witterungsschutz, Ästhetik, etc.) mit typischerweise unterschiedlicher Nutzungsdauer in einer Baugruppe (BG). Dem gegenüber stellen die Varianten der **Fassadenpaneele** und insbesondere der **Vorhangfassade Keramik** eine eindeutige Verbesserung hinsichtlich ihrer Trennbarkeit dar. Dies ist nicht nur für einen hochwertigen Rückbau relevant, sondern erhöht auch die Adaptierfähigkeit des Gebäudes in der Nutzungsphase.



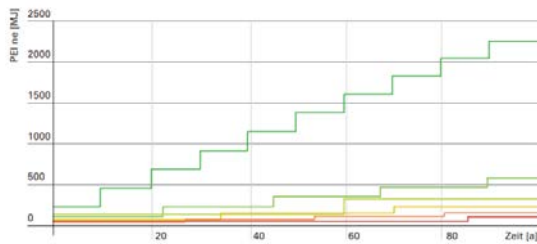
Funktionstrennung bei unterschiedlichen Außenwandkonstruktionen (BG=Baugruppe, BT=Bauteil, M=Material), adaptiert von (Hillebrandt et al.)

Bei modularen Bauteilen steigt üblicherweise auch in der Herstellung die Ressourceneffizienz mit dem Grad der Vorfertigung, da die jeweiligen Bauteile und –gruppen besser an den tatsächlichen Bedarf angepasst und dadurch Abfälle vermieden werden können.

9 Verwendung langlebiger Materialien und Bauteile

Wie bereits beschrieben, sollen Gebäude so geplant werden, dass die eingesetzten Materialien und Bauteile wiederverwendet werden können. Baustoffe besitzen jedoch sehr verschiedene Eigenschaften zwischen denen abgewogen werden muss. Während bestimmte Baustoffe einen geringen Primärenergiegehalt (PEI) aufweisen (z. B. Holz), lassen andere wiederum einen besonders langen Nutzungszyklus zu (z. B. Schaumglas als Dämmmaterial). Wieder andere können praktisch ohne Qualitätsverlust wiedergewonnen werden und sehr oft wiederverwendet werden (z.B. Metalle). Je nach Einsatzzweck können all diese Eigenschaften eine Chance zur Optimierung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes darstellen.




Prinzipiell sollten intensiv genutzte Gebäudeschichten (z. B. Böden, Fenster, Fassaden) bei der Materialwahl auf **Dauerhaftigkeit und Zeitlosigkeit** ausgerichtet sein. Vergleicht man etwa die Lebensdauer verschiedener Bodenbeläge hinsichtlich ihres PEI und ihrer durchschnittlichen Nutzungsdauer, ergibt sich folgendes Bild: Ein Teppichboden hat einen hohen PEI und müsste bei einer angenommenen Gebäudenutzungsdauer von 50 Jahren etwa 5mal getauscht werden. Linoleum hat sowohl einen geringeren PEI als auch eine längere Nutzungsdauer.



- Teppich
- PVC
- Fliesen
- Naturstein
- Linoleum
- Naturstein

Vergleich des kumulierten PEIs verschiedener Bodenbeläge, Quelle: (Badr et al. 2018)

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die erwartbare technische Lebensdauer verschiedener Bauteile und Materialien als auch die durchschnittliche tatsächliche Nutzungsdauer.

Schicht	Material / Bauteil	Ø Lebensdauer in Jahren
 Structure	Außenwände/-stützen	
	Kalksandstein, bekleidet	100
	Leichtbeton, bekleidet	100
	Hartholz, bewittert	100
	Ziegel, Klinker, bewittert	90
	Naturstein, bewittert	80
	Beton bewehrt, bewittert	70
	Weichholz, bekleidet	70
	Verfugung, Sichtmauerwerk	35
	Dächer, Dachstühle	
	Holzdachstühle	120
Stahl	80	
Beton	70	
 Skin	Außenanstriche und -putze	
	Zementputz	40
	Kunststoffputz	30
	Wärmedämmverbundsystem	30
	Mineralfarbe	20
	Kunststoffdispersionsfarbe	20
	Imprägnierung auf Holz	15
	Öl- und Kunstharz	15
	Kalkfarbe	7
	Sonnenschutz außen	
Leichtmetall, feststehend	60	
Aluminium, beweglich	25	
Markisen	15	
 Space Plan	Bodenbeläge	
	Naturstein, hart	100
	Naturstein, weich	70
	Hartholz	60
	Keramik	40
	Weichholz	20
	PVC, Linoleum	10
	Textil	10
Versiegelung, Lack	8	
Imprägnierungen, Öl, Wachs	4	

Gegenüberstellung der durchschnittlichen Nutzungs- und Lebensdauer verschiedener Bauteile, adaptiert von: (Badr et al. 2018)

Nutzung von Produkt-Dienstleistungen

Eine entscheidende Herausforderung im Zusammenhang mit der Etablierung der Kreislaufwirtschaft ist es, **wirtschaftliche Anreize für langlebige Produkte** zu setzen. Tatsächlich setzen aktuell noch viele Unternehmen auf eine Verkürzung der Produktlebensdauer, um eine möglichst große Menge an Produkten in einem gewissen Zeitraum zu verkaufen. Auch der Kostendruck von Unternehmen (z. B. Einsatz von billigen, kurzlebigen Materialien) oder kurzfristige Entscheidungen von KonsumentInnen stehen im Gegensatz zur Kreislaufwirtschaft.

Ein Beispiel: Ein Hersteller von Glühbirnen verkauft hocheffiziente, langlebige Glühbirnen nach modernstem Stand der Technik. Nachdem das Geschäft für lange Zeit erfolgreich verläuft, gehen die Verkaufszahlen jedoch kontinuierlich zurück. Die Nachfrage sinkt, weil bereits eine weitreichende Versorgung mit den bestens funktionierenden Leuchtmitteln besteht. Um die Nachfrage wieder anzukurbeln, entsteht die Idee, die Lebensdauer künstlich zu verkürzen. Nachdem auch andere Hersteller mit Umsatzeinbußen zu kämpfen haben, einigt man sich gemeinsam darauf, nur noch eigens entwickelte kurzlebigere Glühlampen zu verkaufen. Davon profitieren alle Unternehmen, und die Verkaufszahlen steigen wieder.

Nur eine Geschichte? Nicht ganz. Das sogenannte Phoebuskartell hat es tatsächlich zwischen 1925 bis zumindest 1942 tatsächlich gegeben. Die damals wichtigsten Glühlampen-Hersteller haben dabei u.a. die Brenndauer auf 1000h verkürzt, um den Absatzmarkt zu erhöhen.

Video, 45 min, Dokumentation „Kaufen für die Müllhalde – geplante Obsoleszenz“:

<https://www.youtube.com/watch?v=ypEODEfKJxl>

Eine Möglichkeit aus Sicht der Unternehmen dem Anreiz möglichst hoher Verkaufszahlen zu entgehen, ist es nicht den Verkauf von Produkten, sondern die **Bereitstellung der Produktleistung** in den Vordergrund des Geschäftsmodells zu stellen. Um bei dem Beispiel der Glühlampen zu bleiben, kann dies die Bereitstellung von künstlichem Licht sein. Verkauft werden also nicht mehr Glühlampen, sondern Lichtleistung. Der Hersteller Phillips bietet diesen Service („pay per lux“) für Großabnehmer an, bei dem der Kunde für die bereitgestellte Leistung (gemessen in der Einheit lux) zahlt. Je effizienter die Leuchtmittel diese Leistung bereitstellen können, und je länger die Lebensdauer der Produkte ist, umso profitabler ist das für den Anbieter der Produktleistung. Die wirtschaftlichen Anreize für Unternehmen, einen möglichst hohen Profit zu machen, decken sich also mit einer Maximierung der Ressourceneffizienz.

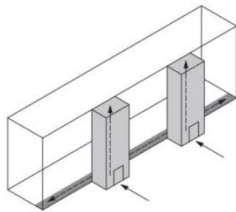
Solche Geschäftsmodelle werden als **Produkt-Dienstleistungen** bezeichnet. Neben den Leuchtmitteln gibt es im Baubereich hierfür schon zahlreiche andere Beispiele im Baubereich wo dieses Geschäftsmodell angewandt wird: Der Aufzughersteller Mitsubishi bietet vertikale Mobilität als Service an. Umso länger und wartungsfreier der Aufzug funktioniert, umso vorteilhafter für das Unternehmen. Abgerechnet wird dabei in Abhängigkeit der bereitgestellten Transportleistung.

Die Firma Hilti bietet seine langlebigen Werkzeuge auch zur Miete an. Dies spart dem Interessenten Investitionskosten und ermöglicht den Zugang zu hochwertigen Werkzeugen, welche dadurch auch intensiver genutzt werden können.

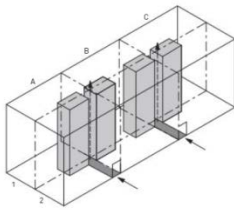
10 Flächeneffizienz

Eine hohe Flächeneffizienz meint eine hohe Auslastung der zur Verfügung stehenden gebauten Fläche. Diese bringt sowohl

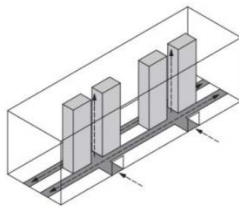
ökologische als auch ökonomische Vorteile. Zum einen gilt es, einen **möglichst hohen Anteil an Nutzflächen** zu erreichen. Dies sind all jene Anteile, die entsprechend der Zweckbestimmung des Gebäudes genutzt werden (je nach Gebäudenutzung z. B. Wohnungen, Büroflächen, Verkaufsflächen, Lagerflächen, etc.). Daher sollten Verkehrsflächen (wie z. B. Gänge, Treppenräume, Aufzüge) und Funktionsflächen (z. B. technische Betriebsräume) u.a. durch die **Art der Gebäudeerschließung** minimiert werden.



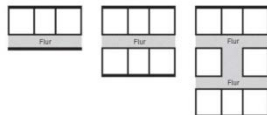
Einbündige Erschließung



Zweibündige Erschließung



Dreibündige Erschließung



Vergleich der drei Varianten

Verkehrsflächenanteil (=graue Flächen mit Gängen und Aufzügen) bei ein-, zwei- und dreibündiger Erschließung, (Bielefeld et al. 2016)

Zu den weiteren Prinzipien zur Erhöhung der Flächeneffizienz gehört das Schaffen von **gut möblier- und nutzbaren Räumen** (z. B. Vermeidung spitzer Winkel und Kurven) sowie eine angepasste **Geschosshöhe**, um ökonomische und ökologische Vorteile (geringe Energie- und Materialkosten) zu

erzielen. Andererseits schränkt die Geschosshöhe auch die Nutzungsflexibilität ein. Derzeit sind Wohnbauten aus der Gründerzeit (ca. 1870 – 1914) in Wien gerade wegen der charakteristisch hohen Raumhöhe besonders beliebt und damit auch für andere Nutzungszwecke geeignet (Büros, Ordination, etc.).

Weiterhin muss bei der Raumgestaltung geprüft werden, ob bestimmte Flächen **mehrfach und unterschiedlich** genutzt werden können. Voraussetzung dafür sind unterschiedliche Nutzungszeiten und ähnliche Anforderungen an Lage und Beschaffenheit der Räume. In Schulen könnten beispielsweise Foyer oder Mensa gleichzeitig als Veranstaltungsraum genutzt werden.

Eine andere Möglichkeit wäre die **Nutzung von Dritten**, z.B. die abendliche Nutzung von Sportanlagen von Vereinen. Auch dies bedingt eine entsprechende Vorplanung. Die Flächen müssen nach Möglichkeit ohne die Durchquerung nicht öffentlicher Flächen zugänglich sein. Auch ein Toilettenzugang sollte gewährleistet sein.

Bei sog. **Coworking-Spaces** wird das Prinzip der Mehrfachnutzung zum Geschäftsmodell gemacht. Dabei werden einzelne Arbeitsumgebungen inklusive notwendiger Infrastruktur (Internet, Telefon, Schreibtisch, etc.) in verschiedenen Nutzungspaketen vermietet. Neben einer effizienten Flächennutzung (welche im unmittelbaren finanziellen Interesse des Betreibers ist) steht der Austausch mit anderen im Vordergrund. Das Konzept ist insbesondere für Einzel- und Kleinunternehmer interessant und im urbanen Raum weitverbreitet.

11 Nutzungsflexibilität

Wie auch schon Stewart Brand in seinem Buch „How Buildings Learn“ festgestellt hat, sind die einfach veränderbaren und anpassbaren Gebäude die langlebigsten. In der

Planungsphase müssen verschiedene Nutzungsszenarien und entsprechende Anpassungsmöglichkeiten also mitbedacht werden. Jedoch ist die Erhöhung der Flexibilität oft auch mit einem höheren Materialaufwand verbunden, weshalb sich Zielkonflikte ergeben können und die Abwägung von Prioritäten erforderlich ist.

Folgende beispielhafte Maßnahmen erhöhen die Anpassbarkeit von Gebäuden:

Bei Wohngebäuden ist es oft sinnvoll, bei größeren Wohneinheiten nutzungsneutrale Räume (Wohnzimmer, Schlafzimmer, etc.) in ähnlicher Größe zu planen. Auch die Unterteilung in kleinere Nuteinheiten sollte dadurch ermöglicht werden. Dies kann z.B. auch beim Einfamilienhausbau mitbedacht werden, indem einzeln begehbare Wohneinheiten später abgegrenzt werden können.

Bei Bürogebäuden wird der Raum oftmals mittels eines Rasters eingeteilt. Durch das Stützenraster können Wände als nicht tragend ausgeführt werden, wodurch eine **langfristig flexible Raumgestaltung** ermöglicht wird. Büroflächen werden oft außerdem mit einer eher hohen Geschosshöhe geplant, um sowohl **Einzel- als auch Großraumbüros** zuzulassen. Bei einer idealen Planung entfällt jedoch die vorab festgelegte Art der Nutzung durch moderne Entwürfe, die auf eine besonders hohe Nutzungsflexibilität ausgelegt sind.¹⁸

Sofern eine höhere Baudichte in Zukunft erwartet werden kann, können von vornherein auch **Nutzlastreserven** bei statischen Berechnungen berücksichtigt werden. Dies ermöglicht künftige Aufstockungen oder auch Umnutzungen mit einer höheren Flächenlast.

Bei der technischen Gebäudeausstattung sollten Systeme der Heizung, Kühlung und Lüftung so geplant werden, dass diese auch

unterschiedliche Raumaufteilungen einzeln ansteuern können.

12 Reinigungs- und Instandhaltungsoptimierung

Je nach Gebäudetyp und -nutzung kann der Reinigungsaufwand einen erheblichen Teil der Nutzungskosten und -ressourcen ausmachen. Auch hier ist die Planungsphase entscheidend. **Fensterflächen** sollten prinzipiell **von innen zu reinigen** sein. Hinsichtlich der opaken (=lichtundurchlässigen) Außenflächen gibt es große Unterschiede zwischen dem erforderlichen Reinigungsaufwand. Holz und Natursteinfassaden sind eher pflegeleicht, während Betonfassaden- und Metallverkleidungen aufwendiger in der Reinigung sind.

Auch im Innenbereich können pflegeintensive Materialien zu einem wesentlichen Ressourcenfaktor werden. Im Grundriss sollten unzugängliche Nischen und freistehende Stützen in Wandnähe vermieden werden.

Instandhaltungsoptimierung steht vor allem mit der Anforderung lösbarer Verbindungen im Zusammenhang. Dies betrifft vor allem die kurzlebigeren - weil intensiver beanspruchten - Schichten Skin und Space Plan. Im besten Fall sind einzelne und abgenutzte Elemente möglichst kleinteilig austauschbar und adaptierbar (z.B. Element- und Vorhangfassade).

Zusammenfassung

Nachdem in den letzten Jahrzehnten hinsichtlich der Energieeffizienz von Gebäuden in der Nutzungsphase erhebliche Fortschritte gemacht wurden, rückt nun das Ziel, Gebäude kreislauffähig und

¹⁸

<https://www.holz.ar.tum.de/fileadmin/w00bne/w>

ww/04_Forschung/02_Abgeschlossen/HdZ_TP01_Holzhoehhaus_kurz.pdf

ressourceneffizient zu konstruieren, ins Zentrum von Neuplanungen.

Dieses Ziel geht weit darüber hinaus, Baustoffe zu recyceln. Es geht darum, Gebäude möglichst anpassbar und langfristig nutzbar zu planen, bestehende Infrastruktur effizient zu nutzen, Sanierungen dem Neubau vorzuziehen, Verbindungen lösbar zu gestalten, usw.

Das Modul zeigt 12 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens auf, welche einen Wegweiser bieten sollen. Dabei sei erwähnt, dass die Anwendbarkeit dieser Prinzipien immer im Einzelfall abgewogen werden muss. Manche Strategien können andere auch negativ beeinflussen - man spricht dann von Zielkonflikten, z.B. können einstoffliche Bauweisen welche besonders gut rückbaubar sind, zulasten des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase gehen, da ein Schichtenaufbau mit unterschiedlichen Materialien geringere Wärmeverluste zulässt.

Ein anderes Beispiel für einen Zielkonflikt zwischen den verschiedenen Prinzipien kreislaufgerechten Bauens ist die Erhöhung der Flächeneffizienz (z. B. niedrige Geschoßhöhen oder eine bestimmte Gebäudeerschließung), die jedoch zu Einschränkungen der Nutzbarkeit für andere Zwecke führen kann.

Um die Strategien im Einzelfall anwenden zu können, wurde ein eigenes Bewertungstool entwickelt. Dieses wird im folgenden Modul vorgestellt und kann selbstständig auf ein bestehendes oder ein geplantes Gebäude angewendet werden.

Literaturverzeichnis

Badr, Amani; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas; Zeumer, Martin (2018): Nachhaltigkeit gestalten. Leitfaden für Architekten, Innenarchitekten, Landschaftsarchitekten, Stadtplaner, Fachingenieure, Bauherren und Interessierte.

Bielefeld, Bert; Görg, Alexander; Schneider, Roland; Sigmund, Bettina; Kummer, Nils; Borkeloh, Mareike et al. (Hg.) (2016): Architektur planen. Dimensionen, Räume, Typologien. Basel: Birkhäuser.

Brand, Stewart (1994): How buildings learn. What happens after they're built. New York, NY: Viking.

Dechantsreiter, Ute (Hg.) (2016): Bauteile wiederverwenden – Werte entdecken. Ein Handbuch für die Praxis. Gesellschaft für Ökologische Kommunikation mbH. München: oekom.

Dechantsreiter, Ute; Horst, Peter; METtke, Angelika (2014): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen. Hg. v. Umweltbundesamt.

Hillebrandt, Annette; Rosen, Anja; Riegler-Floors, Petra: Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. In: EBOOK PACKAGE Architecture and Design 2018 : EBOOK PACKAGE COMPLETE 2018. München: DETAIL (Konstruktionsatlanten). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.11129/9783955534165>.

DIN EN 15804, 2014-07: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

Pfoh, Sandro; Schneider, Patricia; Grimm, Franziska (2017): Leitfaden 01 - Ökologische Kenndaten Baustoffe und Bauteile. Hg. v. Projektplattform Energie. Technische Universität München, Bayrischer Bauindustrieverband e.V.

Thelen, David; van Acoleyen, Mike; Huurman, Wouter; Thomaes, Tom (2018): Sclaing the circular built environment. Pathways for business and government. Hg. v. Circle Economy.

Zeumer, Martin (2016): Lebenszyklusgerecht Planen und Bauen. ee Concept GmbH.

Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich

Modul 1: Einführung in die Kreislaufwirtschaft

Modul 2: Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

Modul 3: Tool zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden

Modul 4: Betrachtung der Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus

Modul 5: Abbildung der Kreislauffähigkeit auf Produkt- und Gebäudeebene

Einleitung

Der Baubereich ist für zwei Drittel des Abfallaufkommens und die Hälfte des Ressourcenverbrauches in Österreich verantwortlich. Um in Zukunft mit den begrenzten, zur Verfügung stehenden Ressourcen in wirtschaftlicher und umweltverträglicher Weise umgehen und Potentiale in hohem Maße nutzen zu können, ist ein Umdenken in Richtung Kreislaufwirtschaft und nachhaltiger Gebäudegestaltung unabdingbar.

Vorliegendes Modul ist Teil der im Projekt AbBau - Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich ausgearbeiteten Materialien. Die Unterlagen bestehen aus vier theoretischen Modulen und einem praktischen Modul (Tool zur kreislauffähigen Gestaltung von Gebäuden), die zur freien und flexiblen Verwendung für HTLs im Bereich Bau und Produktdesign vorliegen. Die Anwendung ist fächerübergreifend und für kooperative Lernformen möglich, es können individuelle Schwerpunkte gesetzt werden. Möglich ist die Integration der Lehrmaterialien beispielsweise in Fächern wie Baukonstruktionstechnik, Hochbautechnologie oder die Anwendung im Bau- oder Designlabor.

Die Lehrmodule leisten einen Beitrag zur Integration vielschichtiger Aspekte rund um Kreislaufwirtschaft in die berufliche Aus- und Weiterbildung und können auch von Unternehmen genutzt werden.

*Projektleitung: TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign
Kooperation: Österreichisches Ökologie-Institut
Wien, März 2020*

Die Ausarbeitung wurde durch die Abfallvermeidungsförderung der Sammel- und Verwertungssysteme für Verpackungen finanziert.

Modul 3: Tool zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden

Zusammenfassung / Lernziel:

Aufbauend auf den Inhalten von Modul 2 sollen die SchülerInnen mithilfe des Excel-Tools (Datei: Tool_kreislauffähiges_Bauen.xlsx) die Kreislauffähigkeit eines bestehenden oder zu planenden Gebäudes bewerten und die entscheidenden Stellhebel für Verbesserungen identifizieren.

Inhalt

Ziel des Tools	4
Anwendungsschritte.....	4
Schritt 1 - Definition der Anwendung.....	4
Schritt 2 – Kriterienbewertung.....	4
Schritt 3 – Ergebnisinterpretation.....	7
Quellen	9

Ziel des Tools

Das Tool (Datei: Tool_kreislauffähiges_Bauen.xlsm) ermöglicht die **Bewertung von Gebäuden hinsichtlich Ihrer Kreislauffähigkeit**. Dabei fasst es die wichtigsten Erkenntnisse aus der Fachliteratur (siehe Tabellenblatt Quellen) zur Thematik des ressourceneffizienten Bauens zusammen und zeigt Best-Practice-Beispiele aus der Baupraxis auf. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Inhalte leicht verständlich und nachvollziehbar sind. Inhaltlich baut das Tool auf den Inhalten von "Modul 2 - Gestaltung und Kreislauffähigkeit" auf.

Dabei werden vor allem die Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens und das Schichtenmodell von Gebäuden im Tool aufgegriffen. Das Tool kann sowohl für **Gebäude in der Planungsphase** als auch für die Bewertung **bestehender Gebäude** verwendet werden. Ziel ist es durch eine nachvollziehbare Methodik, Gebäude und deren Ressourcenverbrauch verständlich zu machen um selbstständig die entscheidenden Stellhebel für Verbesserungen zu identifizieren.

Anwendungsschritte

Schritt 1 - Definition der Anwendung

Abhängig davon, ob das Tool für die Ressourcenbewertung eines bestehenden bzw. eines geplanten Gebäudes verwendet wird (siehe Abbildung 1), unterscheidet sich auch die Kriterien Auswahl. Für die Bewertung von geplanten Bauvorhaben fließen auch Fragen, welche sich auf die Phase der Projektvorbereitung beziehen, in die Bewertung ein.

	A
1	Anwendungsfrage
2	Wird das Tool zur Analyse eines bestehenden Gebäudes oder zur Planungsunterstützung eines neuen Gebäudes verwendet?
3	Planungsunterstützung eines neuen Gebäudes


Analyse eines bestehenden Gebäudes
 Planungsunterstützung eines neuen Gebäudes

Abbildung 1. Anwendungsdefinition im Excel-Tool

Schritt 2 – Kriterienbewertung

Das Tool zeigt eine Liste von Kriterien mit zugehörigen Fragen, die im Zusammenhang mit der Kreislauffähigkeit des Gebäudes entscheidend sind. Die Kriterien sind den jeweiligen Gebäudeschichten und den im Modul 2 vorgestellten Prinzipien kreislaufgerechten Bauens zugeordnet. Jedes Kriterium

hat außerdem eine vordefinierte Relevanz auf die drei Lebensphasen des Gebäudes (hoch, mittel oder keine). Aus der Summe dieser ergibt sich die Priorität des Kriteriums für die Bewertung, z. B.:

Kriterium	Nutzung bestehender Infrastruktur	
Gebäudeschicht	Site	
Betroffene Prinzipien	Bestandsnutzung Materialnutzung minimieren	
Bewertungsfragen	<i>Trägt die Wahl des Bauplatzes zur Verdichtung der Siedlungsstruktur bei?</i> <i>Wird in einem hohen Ausmaß, bestehende Infrastruktur vor Ort genutzt wie z.B. öffentliche Verkehrsmittel, Straßen, Leitungen und Kanäle?</i>	
Relevanz Bauphase	hoch	
Relevanz Nutzungsphase	hoch	
Relevanz Rückbauphase	mittel	
Priorität	Sehr hoch	

Für die Planung neuer Gebäude wurden insgesamt 36 Bewertungskriterien festgelegt, für die Bewertung bestehender Gebäude 27 Kriterien. Die Kriterien sind wie eine Datenbank aufgebaut und können zur besseren Übersicht beliebig gefiltert werden, z. B. nach Priorität, Gebäudeschicht oder einem bestimmten Prinzip kreislaufgerechten Bauens. (siehe Abbildung 2)

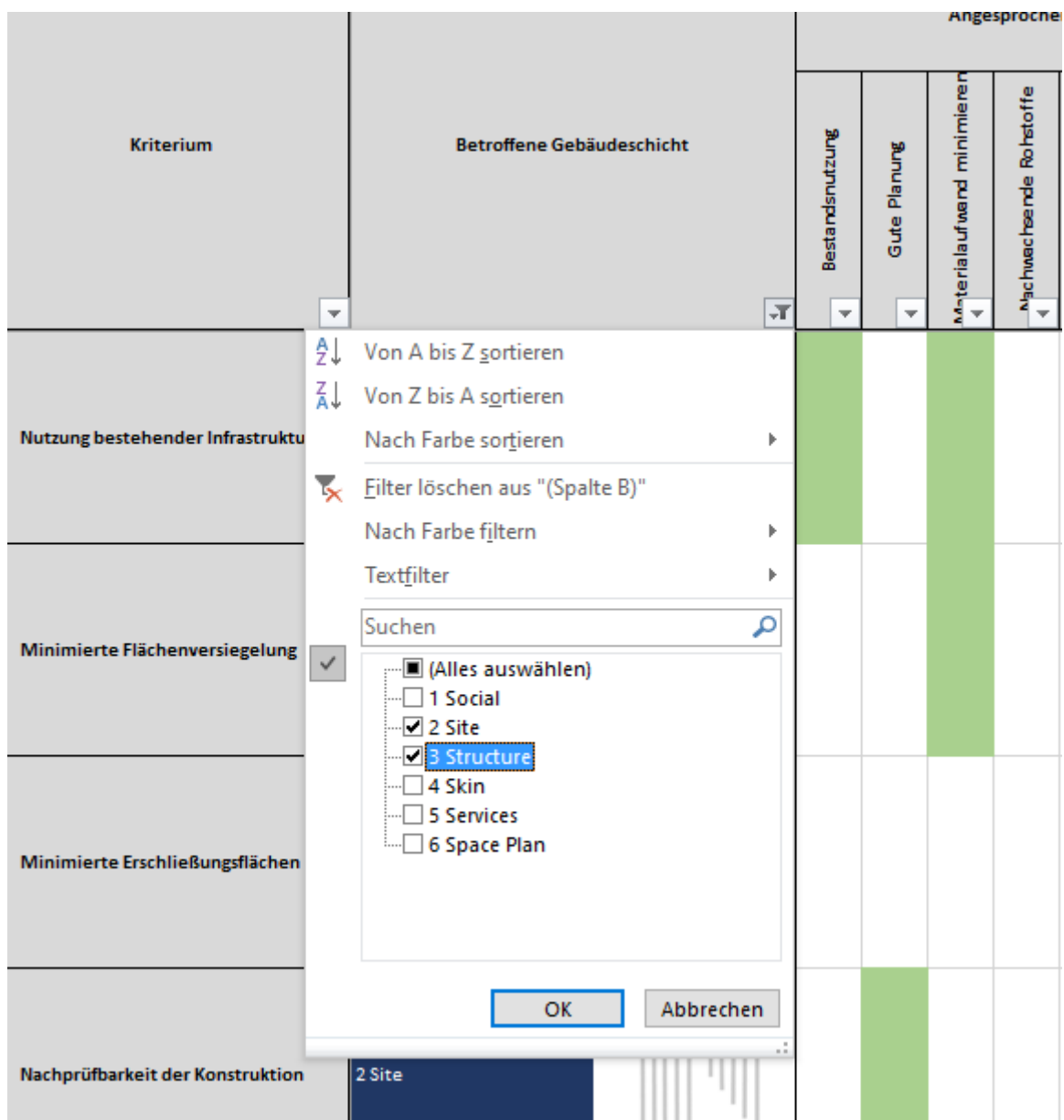


Abbildung 2: Filtern der Kriterien nach der betroffenen Gebäudeschicht

Für einzelne Kriterien sind außerdem Best-Practice-Beispiele bzw. ergänzende Erklärungstexte als Pop-Up Informationen verfügbar. Man hat nun die Möglichkeit, das Gebäude entsprechend der Erfüllung der einzelnen Kriterien zu bewerten.

Bei der Bewertung kann stufenweise zwischen den Varianten "vollständig erfüllt" bis "überhaupt nicht erfüllt" ausgewählt werden. Durch beispielhafte Fragen wird der Auswahlprozess erleichtert. Fragen die beginnen mit "Falls nicht, ...?" stellen immer schlechter zu bewertende Alternativen dar als die zuvor gestellten Varianten dar. Wenn einzelne Kriterien für das zu bewertende Gebäude nicht relevant oder nicht beurteilbar sind (z. B. bei Unwissen über die Rückbaufähigkeit eines Tragwerks), kann auch dies angegeben werden und „nicht beurteilbar“ gewählt werden. Jene Kriterien werden dann von der Gesamtbewertung ausgeschlossen.

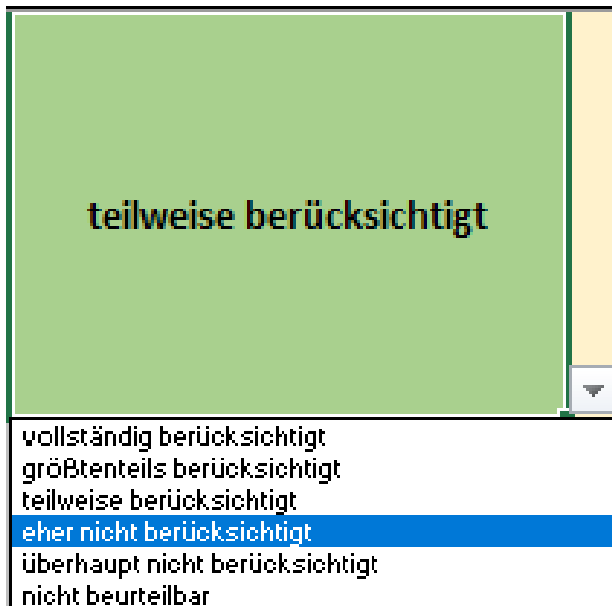


Abbildung 3: Bewertung der Kriterienerfüllung

Schritt 3 – Ergebnisinterpretation

Das Ergebnis der Bewertung, also die Kreislauffähigkeit des Gebäudes, wird in Prozent angegeben und beschreibt den Erfüllungsgrad der gewichteten Kriterien sowohl für das gesamte Gebäude als auch für die einzelnen Gebäudeschichten. Das Ergebnis zeigt auch die Anzahl der in die Bewertung eingeflossenen Kriterien. Des Weiteren wird die Kreislauffähigkeit des Gebäudes in den unterschiedlichen Phasen (Bau-, Nutzungs- und Rückbauphase) dargestellt (siehe Abbildung 4).

Je nach Nutzungsart des Gebäudes können unterschiedliche Rückschlüsse getroffen werden. So sollten Gebäude mit einem hohen Nutzungswechsel und einer langen Lebensdauer (Einkaufszentren, Bürogebäude) hinsichtlich ihrer Nutzungsphase optimiert werden. Gebäude, die absehbar nur für eine kurze Zeit genutzt werden und anschließend rückgebaut werden, sollten hinsichtlich der Rückbauphase optimiert werden.

Ziel ist es, dass die NutzerInnen durch die Ergebnisdarstellung die entscheidenden Stellhebel für die identifizierten Schwachstellen erarbeiten können.


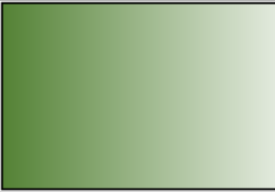















Gebäudeschicht		Betrachtete Kriterien	Erfüllungsgrad der Kriterien	
Gesamtes Gebäude		23 von 27		58%
1 Social		1 von 1		25%
2 Site		3 von 3		94%
3 Structure		4 von 7		70%
4 Skin		7 von 8		50%
5 Services		3 von 3		67%
6 Space Plan		3 von 5		25%
Lebensphasen		Erfüllungsgrad der Kriterien		
Bauphase				67%
Nutzungsphase				60%
Rückbauphase				50%

Abbildung 4: Beispielhaftes Ergebnis der Gebäudebewertung, aufgeschlüsselt nach Gebäudeschichten und Lebensphasen

Quellen

Badr, Amani; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas; Zeumer, Martin (2018): Nachhaltigkeit gestalten. Leitfaden für Architekten, Innenarchitekten, Landschaftsarchitekten, Stadtplaner, Fachingenieure, Bauherren und Interessierte.

Bielefeld, Bert; Görg, Alexander; Schneider, Roland; Sigmund, Bettina; Kummer, Nils; Borkeloh, Mareike et al. (Hg.) (2016): Architektur planen. Dimensionen, Räume, Typologien. Basel: Birkhäuser.

Brand, Stewart (1994): How buildings learn. What happens after they're built. New York, NY: Viking.

Dechantsreiter, Ute (Hg.) (2016): Bauteile wiederverwenden – Werte entdecken. Ein Handbuch für die Praxis. Gesellschaft für Ökologische Kommunikation mbH. München: oekom.

Dechantsreiter, Ute; Horst, Peter; MEttke, Angelika (2014): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen. Hg. v. Umweltbundesamt.

Hillebrandt, Annette; Rosen, Anja; Riegler-Floors, Petra: Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. In: E-BOOK PACKAGE Architecture and Design 2018 : EBOOK PACKAGE COMPLETE 2018. München: DETAIL (Konstruktionsatlanten). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.11129/9783955534165>.

DIN EN 15804, 2014-07: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

Pfoh, Sandro; Schneider, Patricia; Grimm, Franziska (2017): Leitfaden 01 - Ökologische Kenndaten Baustoffe und Bauteile. Hg. v. Projektplattform Energie. Technische Universität München, Bayrischer Bauindustrieverband e.V.

Thelen, David; van Acoleyen, Mike; Huurman, Wouter; Thomaes, Tom (2018): Sclaing the circular built environment. Pathways for business and government. Hg. v. Circle Economy.

Zeumer, Martin (2016): Lebenszyklusgerecht Planen und Bauen. ee Concept GmbH.

Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich

Modul 1: Einführung in die Kreislaufwirtschaft

Modul 2: Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

Modul 3: Tool zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden

Modul 4: Betrachtung der Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus

Modul 5: Abbildung der Kreislauffähigkeit auf Produkt- und Gebäudeebene

Einleitung

Der Baubereich ist für zwei Drittel des Abfallaufkommens und die Hälfte des Ressourcenverbrauches in Österreich verantwortlich. Um in Zukunft mit den begrenzten, zur Verfügung stehenden Ressourcen in wirtschaftlicher und umweltverträglicher Weise umgehen und Potentiale in hohem Maße nutzen zu können, ist ein Umdenken in Richtung Kreislaufwirtschaft und nachhaltiger Gebäudegestaltung unabdingbar.

Vorliegendes Modul ist Teil der im Projekt AbBau - Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich ausgearbeiteten Materialien. Die Unterlagen bestehen aus vier theoretischen Modulen und einem praktischen Modul (Tool zur kreislauffähigen Gestaltung von Gebäuden), die zur freien und flexiblen Verwendung für HTLs im Bereich Bau und Produktdesign vorliegen. Die Anwendung ist fächerübergreifend und für kooperative Lernformen möglich, es können individuelle Schwerpunkte gesetzt werden. Möglich ist die Integration der Lehrmaterialien beispielsweise in Fächern wie Baukonstruktionstechnik, Hochbautechnologie oder die Anwendung im Bau- oder Designlabor.

Die Lehrmodule leisten einen Beitrag zur Integration vielschichtiger Aspekte rund um Kreislaufwirtschaft in die berufliche Aus- und Weiterbildung und können auch von Unternehmen genutzt werden.

Projektleitung: TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign

Kooperation: Österreichisches Ökologie-Institut

Wien, März 2020

Die Ausarbeitung wurde durch die Abfallvermeidungsförderung der Sammel- und Verwertungssysteme für Verpackungen finanziert.

Modul 4: Betrachtung der Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus

Zusammenfassung Modul 4

Entscheidungen in der Planungsphase und die Produkt- und Gebäudegestaltung haben großen Einfluss auf den Ressourcenverbrauch und Möglichkeiten zum Rückbau von Gebäuden und Wiedergewinnung von Materialien und Komponenten. Die erwartbaren Umweltauswirkungen der eingesetzten Materialien, des Abfallaufkommens, der benötigten Energie etc. können mit Hilfe von ein- und mehrdimensionalen Methoden der Umweltbewertung quantifiziert werden. Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus und die Ergebnisse aus der Umweltbewertung stellen die Basis für Verbesserungen der Umweltleistung im Neubau und in der Sanierung dar. Im Detail wird auf die Methode der Ökobilanzierung eingegangen, deren Nutzen portraitiert und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse thematisiert.

Lernziele

- Prinzip der Lebenszyklusbetrachtung verstehen
- Umweltauswirkungen in verschiedenen Phasen eines Produktes/Gebäudes erkennen
- Methoden der Umweltbewertung kennenlernen und ihren Nutzen verstehen
- Verständnis für entscheidende Einflussgrößen auf negative Umweltauswirkungen gewinnen

Inhalt

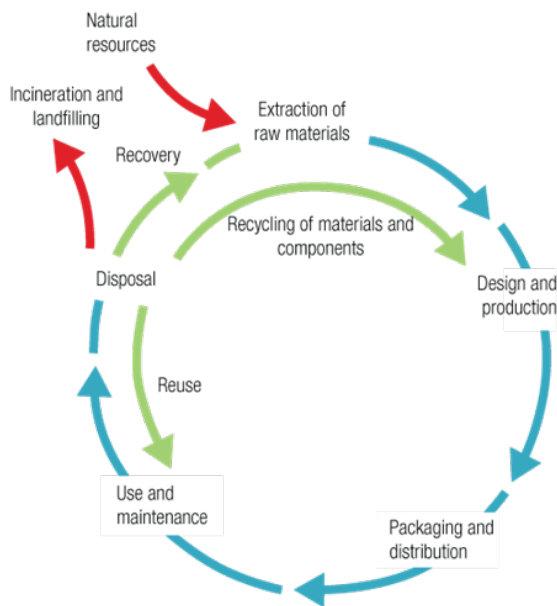
1. Methodische Ansätze und Nutzen der Umweltbewertung	3
1.1 Denken in Lebenszyklen	3
1.2 Methoden der Umweltbewertung	7
2. Einfluss der Produktgestaltung auf die Kreislauffähigkeit.....	17
Literaturverzeichnis	21
Anhang mit Abbildungen	22

1. Methodische Ansätze und Nutzen der Umweltbewertung

1.1 Denken in Lebenszyklen

Material-, Energie- und Geldströme treten im gesamten Lebenszyklus eines Produktes bzw. einer Dienstleistung auf. Diese Ströme werden jedoch oft nur für bestimmte Phasen kalkuliert z. B. Produktions- oder Nutzungsphase. Die benötigten Aufwendungen über den gesamten Lebenszyklus und deren Umweltauswirkungen werden von Unternehmen, Konsumentinnen und Konsumenten, selbst in Standards und von der Forschung oft nicht berücksichtigt.

Abb. 1: Typischer Produktlebenszyklus (Life Cycle Initiative, 2018)



Ein typischer Produktlebenszyklus ist in Abbildung 1 zu sehen: Die blauen Pfeile illustrieren unser vorherrschendes Wirtschaftssystem, das – vereinfacht betrachtet – vom Rohstoffabbau über die Produktion und Verwendung bis hin zur Entsorgung führt. Im Gegensatz dazu stellen die grünen Pfeile jene Ströme dar, die ein kreislauffähiges System ermöglichen. Die roten Pfeile zeigen, wo Ressourcen und Energie in

das System ein- und Abfälle sowie Emissionen ausgeschleust werden. Komplett geschlossene Kreislaufsysteme kommen nur in der Natur vor (z.B.: Lebenszyklus von Pflanzenwachstum, über Absterben der Pflanze zum Humusaufbau).

LCT = Life Cycle Thinking - Denken in Lebenszyklen

Das **Denken in Lebenszyklen (Life Cycle Thinking, LCT)** ermöglicht es, positive Effekte zu verstärken und negative zu reduzieren. Am effektivsten ist dieser Ansatz, wenn er bereits im frühen Stadium der Produktentwicklung angewendet wird, da am Anfang die Weichen gestellt werden und der Hebel für Einsparungspotentiale und für die Reduzierung von Umweltauswirkungen am Größten ist. Die Betrachtung aller Phasen verhindert auch, dass Verbesserungen in einem Bereich unbemerkt zu einer Verschlechterung in einem anderen Bereich führen.

Die Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus hilft bei der Optimierung und verhindert die Verlagerung von negativen Umweltauswirkungen einer Phase zu einer anderen.

Zelluloseflocken haben zum Beispiel den Vorteil, dass sie aus recyceltem Altpapier hergestellt werden und als Dämmmaterial wiederverwendbar sind, wenn das Material in gutem und trockenem Zustand ist. Allerdings müssen sie zur Vermeidung von Schimmel, Schädlingsbefall und aus Brandschutzgründen mit Zuschlagstoffen versetzt werden, die eine Kompostierung am Lebensende ausschließen.¹

Im gesamten Produktlebenszyklus sind unterschiedliche Akteure betroffen wie z. B. Hersteller, Baufirma, Generalunternehmen, Bewohnerinnen und Bewohner und Entsorger. Dies kann zu Interessenskonflikten führen.

¹ Melzer, 2015.

LCT ist eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung einer ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft. Diese Denkweise hilft, das Potential für Ressourceneinsparungen zu erkennen und positive Effekte im Sinne von Werterhalt, regionaler Wertschöpfung und nachhaltiger Ressourcennutzung zu schaffen.

Life Cycle Thinking unterstützt bei der Schadensminimierung und bei der Leistungsverbesserung von Materialien, Produkten und ganzen Gebäuden.

Um Ressourcenverbrauch, Abfallmenge und Emissionen von Produkten und Gebäuden zu verringern, muss man zuerst ihre Hauptverursacher und Einflussgrößen feststellen.

Daher sollten so genannte **Hotspots identifiziert werden**. Hotspots sind Bereiche, in denen sich ein Produkt oder eine Dienstleistung besonders negativ auf die Umwelt auswirkt. Sie zeigen also, wo der Schwerpunkt der Verbesserung liegen sollte. Zudem lassen sich bei Konzentration auf die Hotspots verschiedene Alternativen vergleichen, um Entscheidungen auf einer soliden Grundlage treffen zu können. **Hotspot-Analysen** können z. B. mittels **Kumuliertem Energieaufwand KEA** durchgeführt werden.

Lebenszyklus von Gebäuden und Produkten

Abbildung 2 zeigt das exemplarische **Umweltprofil eines Einkaufszentrums**. Ein Umweltprofil stellt die (zuvor berechneten) Umweltauswirkungen über die einzelnen Lebensphasen dar (hier: Bau, Nutzungs- und Rückbauphase). Durch den hohen Nutzungswechsel in Einkaufszentren kommt es bei einem Umbau oder Rückbau zu erhöhten Aufwendungen durch bauliche Änderungen und die Entsorgung der nicht mehr benötigten Ausstattung. Um eine flexible Gestaltung und einfache Umbaumöglichkeit anbieten zu können, müssen diese Optionen bereits in der Gebäudeplanung und bei der Ausstattung des Gebäudes mitberücksichtigt werden. So beeinflusst die Produktentwicklung die Phase der Nutzung

entscheidend. → Siehe auch Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

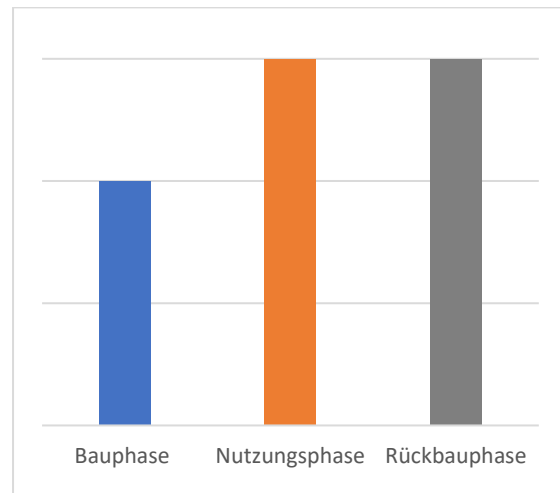


Abb. 2: Exemplarisches Umweltprofil (Primärenergieinhalt) von Gebäuden mit hohem Energieverbrauch und mehreren Nutzungswechseln

Life Cycle Thinking dient nicht nur dem Umweltschutz und dem schonenden Einsatz von Ressourcen – auch ökonomische und soziale Aspekte sollten in die Betrachtung einbezogen werden und die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Phasen sollten erkannt werden. Insbesondere bei Gebäuden ist das eine große Herausforderung. Die gebaute Umwelt unterscheidet sich in **drei wichtigen Punkten** von Produkten:

- **Gebäude sind hochkomplex**

Sie umfassen hunderte von einzelnen Komponenten und haben im Vergleich zu anderen Gebrauchsgütern, z.B. Kleidung, Elektrogeräte oder Fahrzeuge eine besonders lange Lebensdauer.

Die Komponenten eines Gebäudes unterscheiden sich in ihrer Lebensdauer. Deswegen sind für die Instandhaltung eines Gebäudes verschiedene Strategien nötig, je nach Eigenschaften der Komponenten. Für die Produktgestaltung bedeutet dies, dass auf die Zugänglichkeit, Reparierbarkeit, Austauschbarkeit, Reinigungsmöglichkeit u. dgl. geachtet werden soll. In der Praxis sind z. B. Gebäudekomponenten, die gewartet werden müssten, nicht immer gut zugänglich. Dies erschwert die Möglichkeit zum Aufrechterhalten der Gebrauchstauglichkeit und Funktionsfähigkeit von Gebäudeteilen, die

damit vorzeitig ausgetauscht und entsorgt werden müssen. → *Siehe auch im Modul 2 Gebäude als Schichtenmodell*

- **Anzahl der involvierten Akteure**

Entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind sehr viele Akteure involviert, die unterschiedliche Interessen verfolgen.

Meistens sind z. B. die Investoren nicht die Nutzenden der Gebäude. Folglich werden normalerweise **die Investitionskosten getrennt von den Nutzungs- und Instandhaltungskosten betrachtet**. Diese getrennte Betrachtung führt zu kurzfristigen – oft nur die Eigeninteressen betreffenden – Entscheidungen. Eine Betrachtung in Lebenszyklen hingegen erwirkt eine gesamthafte Optimierung des Ressourcenverbrauches.

- **Knappheit von Baugrund**

Boden, insbesondere **Baugrund**, ist ein begehrtes und knappes Gut. Einer weiteren Zersiedelung und Versiegelung ist daher Einhalt zu gebieten. Auch hier bietet die Gebäudeplanung Optionen wie die Verdichtung oder die Nach- und Umnutzung an. Die Produktentwicklung kann mit geeigneten Lösungen wesentlich zur Kreislauffähigkeit beitragen. Abbildung 3 zeigt die Entscheidungen, die den Ressourcen- und Energieverbrauch eines Gebäudes signifikant beeinflussen und periodisch getroffen werden müssen. Eine größere Version der Grafiken befindet sich jeweils im Anhang.

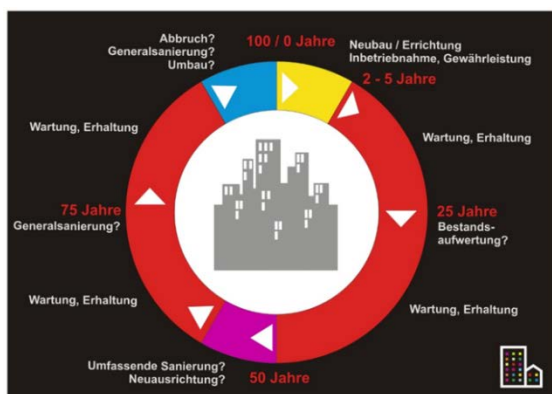


Abb. 3: Periodisch anfallende Entscheidungen im Lebenszyklus eines Gebäudes, ÖGNB

In der Planung werden die Ressourcen- und Energieverbräuche und deren Auswirkungen festgelegt, der Hebel zur positiven Einflussnahme ist zu Beginn naturgemäß am Größten.

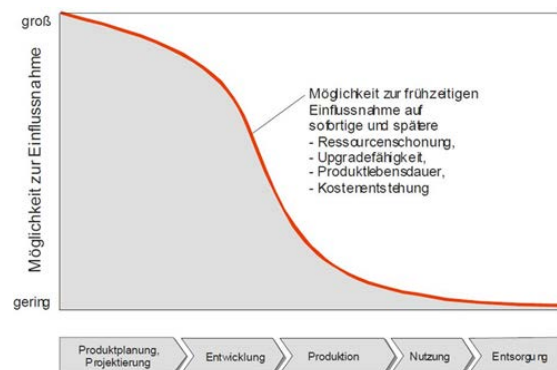


Abb. 4: Einfluss der Produktplanung auf Umweltwirkungen (Heßling, 2006).

Lebenszyklusdenken bezieht die späteren Lebensphasen bereits in den Planungsprozess mit ein. Eine Abschätzung der potenziell auftretenden negativen Umweltauswirkungen hilft bereits in der Planungsphase bei der Auswahl von ökologisch sinnvoller Alternativen.

Aufgabe 1: Beschreibt den Lebenszyklus einer Ziegelsteinmauer.



- Welche Rohstoffe müssen werden benötigt? Wie sehen die Herstellung und Nutzungsphase aus? Welche Möglichkeiten gibt es am Ende der Nutzungsphase und welche Schritte müssen unternommen werden (z.B. Sammlung, Sortierung...)?
- Welche Schwierigkeiten können bei der Wiederverwendung der Ziegel auftreten?



Diskussion: Diskutiert anhand eines Beispiels welche Effekte die Entscheidungen in der Planungsphase auf spätere Ressourcenverbräuche haben. Wie kann man positiv Einfluss nehmen? Welche Wechselwirkungen und auch Interessenskonflikte könnten zwischen den beteiligten Akteuren auftreten?

Tipp: Überlegt euch, welche Akteure in welcher Phase beteiligt sind und welche Konsequenzen ihre Entscheidungen nach sich ziehen!

1.2 Methoden der Umweltbewertung

Umweltauswirkungen sind sehr komplex und betreffen die Ökosysteme Luft, Boden und Gewässer. Eine Umweltbewertung kann die negativen Auswirkungen auf nur eine Dimension herunterbrechen oder auch auf mehrere. Nachfolgend werden verschiedene Methoden der Umweltbewertung vorgestellt und mit Beispielen erläutert.

Eine **Umweltbewertung** zielt auf die Quantifizierung der zu erwartenden Umweltauswirkungen ab. Dafür werden die Art und Menge der Auswirkungen durch Produkte, Anlagen oder Dienstleistungen berechnet. Für die Berechnung werden Daten zu den Materialien, Prozessen und Energieflüssen erhoben. Die Ergebnisse dienen als Entscheidungshilfe beim Vergleich von Alternativen und zur Verbesserung der Umwelleistung von Produkten oder Gebäuden.

Ausgewählte eindimensionale Methoden

Bei einer vereinfachten Umweltbewertung wird nur eine **Dimension**, also **Wirkungskategorie**, betrachtet. Eine Wirkungskategorie ist z. B. der Beitrag zum Klimawandel (GWP, Global Warming Potential) oder zur Eutrophierung (Überdüngung, Nutrifcation Potential, NP). Der Indikator für den Beitrag zum Klimawandel wird mit CO₂-Äquivalenten ausgedrückt.

Meistens wird dafür in der einen oder anderen Form der benötigte Energieaufwand herangezogen, weil er mit vielen Faktoren zusammenhängt, die die Umwelt beeinträchtigen können, wie den CO₂-Emissionen.

Folgende **vereinfachte Umweltbewertungsmethoden** sind hier zu nennen:

Primärenergieinhalt (PEI, [MJ]) beschreibt den zur Herstellung eines Produktes notwendigen

Energieverbrauch und umfasst die Rohstoffgewinnung und Herstellungsphase bis zum fertigen Produkt (bzw. der Dienstleistung). Je nach Energieträger unterscheidet man zwischen dem erneuerbaren (PEI e) und nicht erneuerbaren Primärenergieinhalt (PEI ne).² Für den PEI gibt es keine einheitliche Berechnung und die Qualität der Basisdaten ist nicht immer optimal. Deshalb sollten Angaben zum PEI vor Verwendung einer kritischen Betrachtung unterzogen werden.³

Primärenergiegehalt (PEI): Betrachtet die gesamten Energieaufwendungen für Produkte und unterscheidet:

- nicht erneuerbare Energien (Öl, Kohle, Gas) – **PEI ne**
- erneuerbare Energien (Solar, Wind, Wasser, Biomasse) – **PEI e**

Der Primärenergiegehalt dient als eindimensionaler Indikator für Vergleiche auf Produkt- wie auch auf Gebäudeebene. Der Bauteilvergleich am Beispiel von Dreh-Kipp-Fenstern aus unterschiedlichen Materialien über die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung und Rückbau zeigt große Unterschiede hinsichtlich des PEI. Der Betrachtungszeitraum liegt bei 50 Jahren.

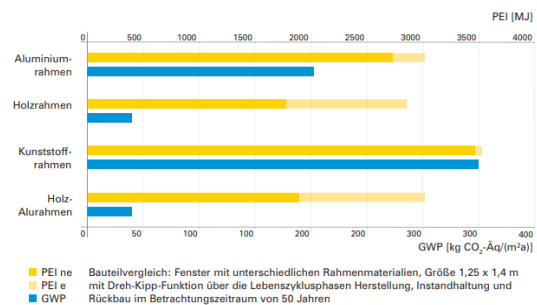


Abb. 5: PEI Vergleich von Dreh-Kipp-Fenstern⁴

Der Primärenergiegehalt ist auch für den Vergleich von ganzen Gebäuden unterschiedlicher Konstruktionsweisen anwendbar, wie die untenstehende Abbildung zeigt.

² Schneider et al., s.a.

³ Linden und Marquardt (Hrsg.), 2018.

⁴ Badr A. et al. 2018

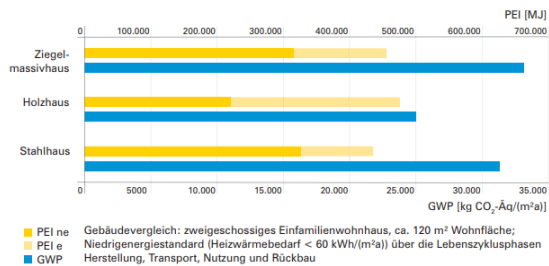


Abb. 6: PEI Vergleich unterschiedlicher Gebäude⁵

Der **kumulierte Energieaufwand (KEA, [MJ/kg])** stellt eine weitere eindimensionale Methode dar. Im Gegensatz zum PEI werden die Energieträger, die in den Produkten gebunden sind, berücksichtigt sowie sonstigen Stoffe und deren Brennwert (= oberer Heizwert). Der KEA entspricht dem Energieaufwand, der in einer Ökobilanz abgebildet wird (siehe mehrdimensionale Methode der Ökobilanz).

Kumulierter Energieaufwand (KEA)⁶ ist die Summe aller Primärenergieaufwände entlang des Lebenszyklus und wird unterteilt in:

- KPA = kumulierter Prozessenergieaufwand für Herstellung, Transporte etc.
- KNA = kumulierter nichtenergetischer Aufwand (gebundene Energie und Brennwert von Materialien z. B. in Kunststoffen)

Der **CO₂-Fußabdruck** ist eine weit verbreitete Form der Umweltbewertung (engl. **Carbon Footprint, CF, [CO₂-Äqu.]**).

Eine Spezialform ist der **Product Carbon Footprint (PCF)**, der die anthropogen verursachten Treibhausgasemissionen eines Produktes über dessen gesamten Lebensweg in CO₂-Äquivalente aufsummiert und dadurch die Klimawirkung dieses Produktes quantifiziert. Dies erfolgt in Bezug auf die festgelegte funktionelle Einheit (z.B. 1m³ Parkettboden über einen Zeitraum von 50 Jahren, siehe auch S. 9).

Es gibt zahlreiche Bestrebungen, eine einheitliche Methode für den Product Carbon Footprint zu schaffen, etwa die ISO-Norm 14067:2018

⁵ Badr A. et al. 2018
⁶ ECODESIGN KIT

(Treibhausgase -Carbon Footprint von Produkten - Anforderungen und Leitlinien für Quantifizierung)⁷ oder das Green House Gas GHG Protocol des Washingtoner World Resource Institutes (WRI)⁸.

Der **Wasserfußabdruck (Water Footprint, [m³ oder l])** quantifiziert den Wasserverbrauch eines Produktes oder einer Dienstleistung. Mit dieser Bewertungsmethode können nur Aussagen über diese eine Wirkungskategorie getroffen werden. Der Wasserfußabdruck wurde ursprünglich für landwirtschaftliche Produkte entwickelt.

Mehrdimensionale Methode der Ökobilanz

Werden mehrere Wirkungskategorien bewertet, so spricht man von einer mehrdimensionalen Methode.

Eine der gängigsten mehrdimensionalen Methode zur Abschätzung von Umweltauswirkungen in mehreren Wirkungskategorien ist die **Ökobilanzierung** bzw. **Lebenszyklusanalyse**. Die englische Abkürzung LCA – von Life Cycle Assessment bzw. Analysis – ist weit verbreitet.

Die Ökobilanz ist eine **wissenschaftliche Methode zur Abschätzung möglicher Umweltauswirkungen von Produkten, Dienstleistungen und Systemen**. Sie umfasst alle Phasen des Lebenszyklus, also Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung und End-of-Life sowie den Transport zwischen den Phasen und betrachtet mehrere Wirkungskategorien.

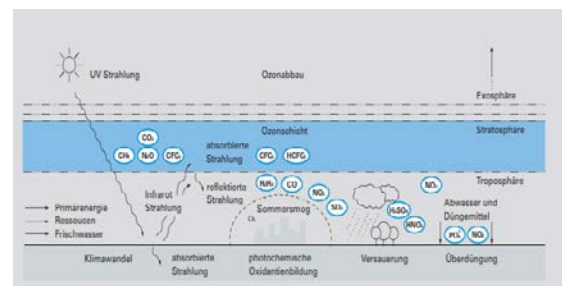


Abb. 7: Schematische Darstellung der zentralen Wirkungskategorien in einer Ökobilanz, Badr A. et al. 2018

⁷ Hirner, 2012
⁸ BMU, 2016

Die LCA dient als Entscheidungshilfe bei der Planung, Entwicklung und praktischen Umsetzung. Sie kann sowohl für den Erstentwurf als auch für die Umgestaltung von Produkten oder Gebäuden zum Einsatz kommen und stellt daher für Planende und Bauherren ein praktisches Bewertungs- und Optimierungstool im Planungs- und Realisierungsverlauf dar.

Die Ökobilanzierung ist eine der effektivsten Wege, um herauszufinden, wie Materialien, Energiekonzepte und Konstruktionsarten von Bauteilen und Produkten auf die Umwelt wirken. Sie bezieht alle Planungsaspekte im Verlauf eines Neubaus, einer Sanierungs- oder Modernisierungsmaßnahme mit ein.

Ökobilanzierungen sind in der Industrie mittlerweile weit verbreitet, jedoch in der Durchführung sehr zeit- und kostenaufwändig, weil viele Inputdaten, Berechnungs- und Analyseschritte notwendig sind. Das ist der Grund, warum LCAs oft nicht bereits in der Planung, sondern erst am Ende eines Bauprojektes, z. B. im Zuge der Gebäudezertifizierung, durchgeführt werden.⁹

Das mit einer Ökobilanz gewonnene Gesamtbild der Umweltauswirkungen von Produkten wird häufig in Form einer Umweltproduktdeklarationen - **Environmental Product Declarations (EPDs)** dargestellt. EPDs enthalten produktspezifische Informationen auf Basis einer Ökobilanz, welche von Herstellern von Bauprodukten vermehrt zur Verfügung gestellt und von Anwendern nachgefragt werden. EPDs dienen als Nachweis bei z. B. Gebäudezertifizierungen und sind für die B2B-Kommunikation nützlich. → *Siehe auch Modul 5 Abbildung der Kreislauffähigkeit auf Produkt- und Gebäudeebene*

Wird jedoch bereits in der Planungsphase eine umfassende Umweltbewertung mittels Ökobilanz erstellt, können Änderungen in der weiteren Detailplanung und Ausführung zur Senkung der Umweltauswirkungen gemacht werden.

Dazu ist die Identifikation sogenannter Hotspots hilfreich, die die größten Verursacher in der jeweiligen Wirkungskategorie aufzeigt. Nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch den Beitrag von Materialien und Bauteilen zur Wirkungskategorie Treibhauspotential, quantifiziert durch CO₂-Äquivalente als Indikator.

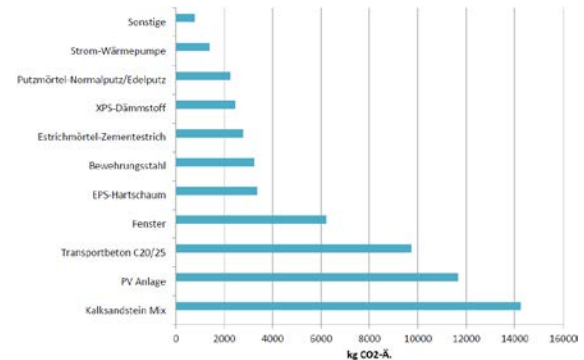


Abb. 8: Identifizierung von Hotspots mit Hilfe von Ökobilanz-Daten, hier: CO₂-Äquivalente¹⁰

Das Beispiel zeigt, dass der Fokus der Optimierung beim Mauerwerk, der PV-Anlage, der Tragstruktur (Beton und Bewehrungsstahl) sowie bei den Fenstern liegen soll, weil hier der größte Beitrag (= durch sogenannte Hotspots) zum Treibhauspotential vorliegt. Wie bei den eindimensionalen Indikatoren geht es bei der Ökobilanz prinzipiell nicht darum Einzelwerte zu erhalten, sondern ein Ergebnis, welches Vergleiche ermöglicht und Entscheidungen positiv beeinflussen soll. Abbildung 9 zeigt den Primärenergieinhalt verschiedener Bodenbeläge über den zeitlichen Verlauf. Durch die Häufigkeit des notwendigen Austausches aufgrund von Abnutzung oder Verschmutzung ist der PEI ne (Primärenergiegehalt, nicht erneuerbar) von Teppichen mit Abstand am Größten. Naturstein und Linoleum sind am dauerhaftesten und müssen seltener ausgetauscht werden.

⁹ DGNB, 2018

¹⁰ Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, Johannes Gantner, in DGNB, 2018

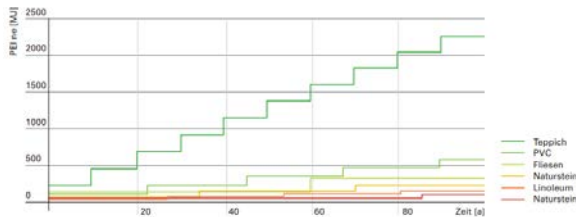


Abb. 9: Dauerhaftigkeit unterschiedlicher Bodenbeläge im Vergleich¹¹

Durchführung einer Ökobilanz

Zwei internationale Standards regeln die Durchführung einer Ökobilanz: **ISO 14040:2006** und **ISO 14044:2006**. Die Durchführung erfolgt in vier Phasen¹²:

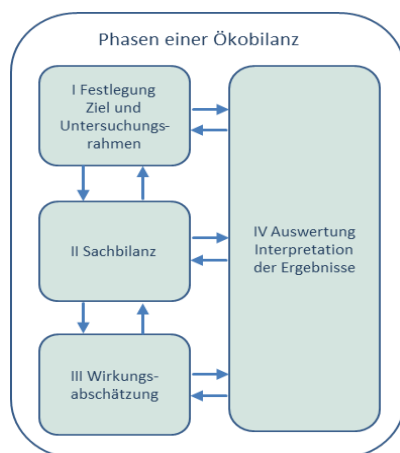


Abb. 10: Vier Phasen der Ökobilanz¹³

I. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Ziel und Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz müssen präzise definiert werden, weil sich später die gesamte Datensammlung und die Ergebnisse darauf beziehen.

Mögliche Ziele und Anwendung:

- Verbesserung des Umweltprofils von Produkten oder Gebäuden
- Vergleich verschiedener Optionen
- Entscheidungshilfe strategische Planung
- Unterstützung bei Gebäudezertifizierung
- Marketing
- Öffentlichkeitsarbeit

Der **Untersuchungsrahmen** beinhaltet:

- a. Funktion und funktionelle Einheit
- b. Systemgrenzen
- c. Annahmen und Beschränkungen

Je nach angestrebtem Ziel und damit Zweck der LCA kann sie mehr oder weniger detailliert ausfallen und alle Lebensphasen oder nur Ausgewählte abdecken. Dies ist zentral für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Somit ist diese erste Phase entscheidend für den weiteren Verlauf der Ökobilanz und für die korrekte Interpretation der Ergebnisse heranzuziehen. Je klarer die Definition, desto besser lassen sich die Ergebnisse interpretieren. Um das zu ermöglichen braucht man präzise technische Angaben zur **Definition des Untersuchungsrahmens**:

- a. **Funktion und funktionelle Einheit** (functional unit, FU/FE)

Zunächst bestimmt man die Funktion des Produkts, also seinen Sinn und Zweck.

→ Die Funktion eines Teppichbodens könnte folgendermaßen lauten: *Schalldämpfender, emissions- und wartungsarmer Bodenbelag für ein Bürogebäude.*

Darauf aufbauend definiert man die **funktionelle Einheit, eine quantitative Referenzeinheit**, auf die sich die gesamte LCA bezieht. Sie muss für einen bestimmten Zeitraum eindeutig messbar sein und dieselbe Funktion erfüllen. Informationen zur üblichen Nutzungsdauer von Bauprodukten können bei der Definition der funktionellen Einheit behilflich sein.¹⁴

→ Eine mögliche FU wäre beispielsweise *1m² Teppichboden, der in einem Haus verlegt ist und eine Lebensdauer von 10 Jahren hat.*

Die alleinige Menge eines Materials eignet sich nicht für eine FU (z. B. 1 kg Glas). Wichtig ist, wieviel Liter Mineralwasser mit dieser Menge Glas verpackt werden kann. 1 kg

¹¹ Badr A. et al. 2018

¹² <https://www.ecodesignkit.de/methoden/b2-analyse-und-bewertungsmethoden/b21-die-ökobilanz/die-ökobilanz/>

¹³ ÖÖI, nach ISO 14040

¹⁴ Bau EPD GmbH, 2015

Natursteinboden macht ebenso wenig Sinn als Bezugsgröße. Eine mögliche Definition wäre: 1 m² Boden, der über eine gewisse Zeit mit dem Material ausgelegt werden kann. **Damit bildet die funktionelle Einheit die nötige Grundlage, um Produkte analysieren und vergleichen zu können.**

Aufgabe 2: Funktion und funktionelle Einheit



Definiert eine beispielhafte Funktion und funktionelle Einheit einer Wärmedämmung.

Welche Funktion und funktionelle Einheit könnte für die Ziegelsteinmauer aus Aufgabe 1 praktikabel sein?

b. Systemgrenzen

Die Systemgrenzen legen fest, welche Prozesse und Lebensphasen in die Betrachtung einbezogen werden z. B. nur die Rohstoffgewinnung und Produktion eines Materials oder der gesamten Lebenszyklus inklusive Nutzung und Entsorgung. In der nachfolgenden Abbildung ist der Lebensweg eines exemplarischen Holzproduktes aufgezeigt. Die Phasen A-C liegen in diesem Beispiel innerhalb der Systemgrenze, D liegt außerhalb, d.h. sie wird in der Ökobilanz nicht berücksichtigt. Die Festlegung der Systemgrenze ist wesentlich für die Auswertung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Zur Festlegung der Systemgrenze werden **Abscheidkriterien (Cut-Off Criteria)** festgelegt. Sie bestimmen welche Prozesse innerhalb der Systemgrenze liegen und welche außerhalb. Zur Beschreibung des betrachteten Systems eignet sich ein **Flussdiagramm**, das die Prozesse und ihre Zusammenhänge illustriert. Die gestrichelte Linie bezeichnet die Systemgrenze, alles was innerhalb liegt, ist Teil des Untersuchungsrahmens und wird berechnet.

Darüber hinaus macht es einen großen Unterschied für die Ergebnisse, wo ein Produkt hergestellt oder ein Gebäude errichtet wird, da z. B. die Art der Stromerzeugung unterschiedliche Umweltauswirkungen verursacht. Strom aus Wasserkraft ist vergleichsweise sauber im Gegensatz zu Strom aus einem Kohlekraftwerk.

Aufgabe 3: Systemgrenzen



Definiert ein System und seine Grenzen für die Ziegelsteinmauer aus Aufgabe 1. Zeichnet ein Flussdiagramm, welches den Lebenszyklus eures Produktes darstellt.

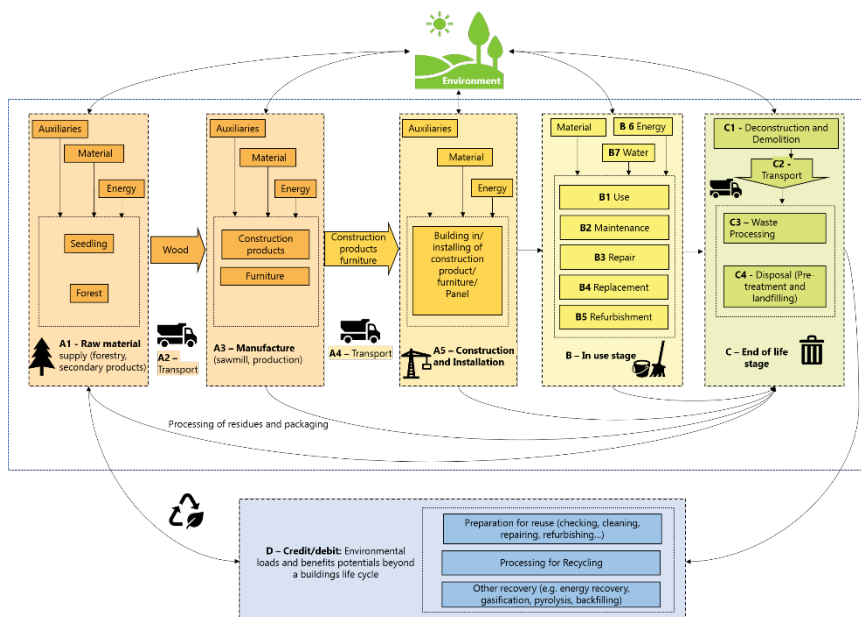


Abb. 11: Lebensweges eines Holzproduktes, ÖOI 2019

Die **EN 15804: 2018** (Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für Bauprodukte) unterscheidet verschiedene Module, die den Lebenszyklus eines Gebäudes beschreiben. Die einzelnen Bauprodukte sind durch die Module A1-A3 abgebildet, welche die Rohstoffgewinnung inkl. Produktion der Baustoffe abdecken. Diese Systemgrenze wird mit „Cradle-To-Gate – von der Wiege bis zum Werkstor“ bezeichnet.

Bisher zeigen die meisten Umweltproduktdeklarationen nur diese Produktionsphase und nicht den gesamten Lebenszyklus. Die Systemgrenze „Cradle-To-Grave – von der Wiege bis zur Bahre“ bezieht alle Phasen inkl. Verwertung und Entsorgung mit ein. Durch erweiterte Anforderungen der Standards zur Erstellung einer EPD basierend auf einer Ökobilanz wird diese in Zukunft weiterverbreitet sein.

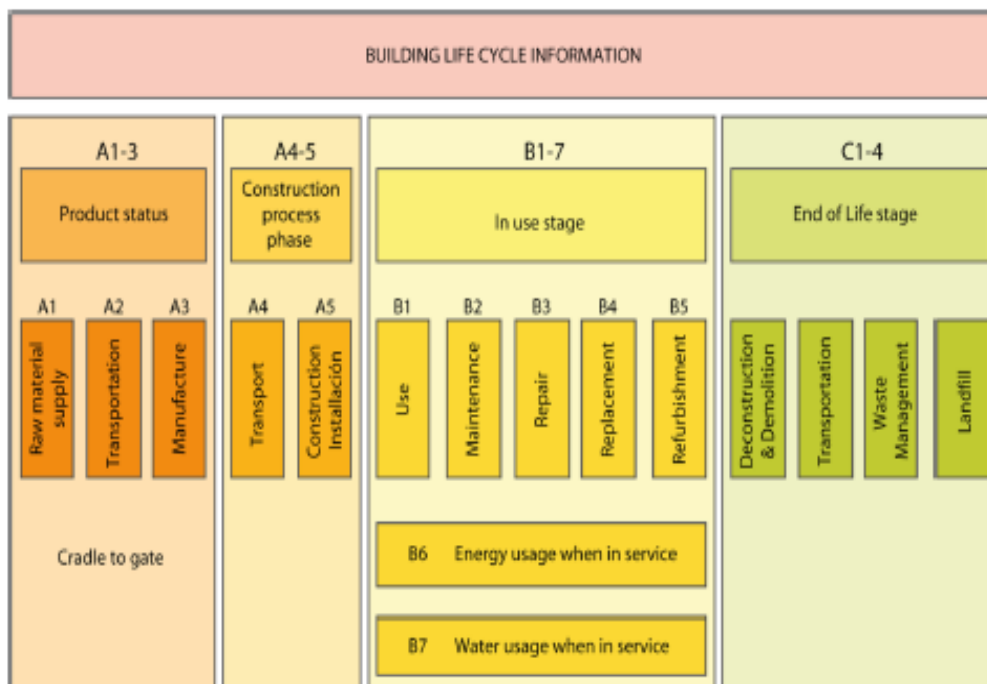


Abb. 12: Lebenszyklus - Informationsmodule gemäß EN 15978 und 15804.

c. Annahmen und Beschränkungen

Um die Ergebnisse von Ökobilanzen vergleichen zu können sind die Systemgrenzen, die bilanzierten Prozesse und die betrachteten Lebensphasen von zentraler Bedeutung. Eine vorhandene Ökobilanz sagt per se nichts über das Ausmaß der Umweltverträglichkeit oder schädlichen Umweltwirkungen von Produkten aus. Der Vergleich mit anderen Ergebnissen oder Grenzwerten macht eine Einordnung diesbezüglich möglich. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu Produkten, die mit Umweltgütesiegeln ausgezeichnet sind. Umweltgütesiegel oder Umweltzeichen wie z. B. das Österreichische Umweltzeichen oder Blauer Engel aus Deutschland stellen eine

Qualitätsauszeichnung im Vergleich zu gleichartigen Produkten in der Branche dar. → siehe auch Modul 5 Abbildung der Kreislauffähigkeit auf Produkt- und Gebäudeebene

Aufgabe 4: Technische Informationen



Welche technischen Informationen würdet Ihr benötigen, um die Komponenten eines Gebäudes beschreiben zu können (z. B. Fußboden, Fenster, Fassadensystem)?

II. Erstellen der Sachbilanz

In dieser zweiten Phase werden alle für die Produktion nötigen Inputs (Ressourcen und Energie) und die entstehenden Outputs (Produkt, Emissionen und Abfälle) in einer **Sachbilanz** dargestellt (=Life Cycle Inventory Analysis, LCI). Dazu müssen quantitative (z. B. 50 t Holz) und qualitative (z. B: lackiert, Art des Lackes) Daten für jeden Teil des Prozesses gesammelt und validiert werden. Die Daten können – je nach Verfügbarkeit - auf wissenschaftlicher Recherche, Messungen oder Schätzungen basieren. Dieser Schritt gilt als der arbeitsintensivste Teil der LCA.

Oft wird die Sachbilanz als Tabelle dargestellt. Dort werden sämtliche Material- und Energie-inputs und -outputs je Teilprozess

zusammenfasst und pro funktioneller Einheit aufgelistet. Die Sachbilanz kann mit Tabellenkalkulationsprogrammen, d.h. mit kommerzieller Software erfolgen, wie z.B. mit GaBi®, SimaPro®, Umberto®, Open LCA o.ä..

Plattformen wie ÖKOBAUDAT¹⁵ oder baubook stellen Datensätze für Materialien und Prozesse für die Erstellung der Sachbilanz zur Verfügung. Online-Tools wie der baubook Rechner¹⁶ für Bauteile oder Eco2Soft für Gebäude¹⁷ unterstützen die Durchführung einer Ökobilanz.

Untenstehend ist eine beispielhafte Sachbilanz einer Feinsteinzeug-Fliese zu sehen. Die Funktionelle Einheit ist als 1 m² Feinsteinzeug-Bodenbelag über 50 Jahre hinweg definiert.

Tab. 1: Sachbilanz von 1 m² Feinsteinzeug-Fliese über 50 Jahre hinweg (Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung) (ITC)

Material and Energy Inventory (Sachbilanz)	Product stage A1-A3	Construction process stage A4-A5	Use stage B1-B7	End of life stage C1-C4
INPUTS				
Body raw materials ⁽¹⁾ (kg/m ²)	2.39E+01			
Glaze raw materials ⁽¹⁾ (kg/m ²)	7.85E-01			
Auxiliary inputs (kg/m ²)		3.50E+00	4.94E-02	
Electric energy from the grid (MJ/m ²)	1.68E+01			negligible
Thermal energy from natural gas (MJ/m ²)	1.31E+02			
Groundwater (l/m ²)	1.55E+01			
Tap water (l/m ²)	2.36E+00	8.80E-01	2.60E+02	
Recycled water from other industries (l/m ²)	1.83E+00			
Packaging (kg/m ²)	8.13E-01			
OUTPUTS				
PST tile (kg/m ²)	2.15E+01			
Electric energy sold to the grid (MJ/m ²)	1.46E+01			
Air emissions of particulate matter ⁽²⁾ (mg/m ²)	6.00E+03			
Air emissions of NO _x from the process (mg/m ²)	3.36E+03			
Air emissions of SO ₂ from the process (mg/m ²)	2.79E+03			
Air emissions of HF (mg/m ²)	1.36E+03			
Air emissions of HCl (mg/m ²)	1.43E+01			
Air emissions of heavy metals (mg/m ²)	1.88E+00			
Non-hazardous wastes (kg/m ²)	4.91E+00			2.50E+01
Hazardous wastes (kg/m ²)	1.54E-03	8.13E-01		
Wastewater discharge (l/m ²)	3.39E-01		2.60E+02	
NOTE: (1) Composition detailed in table 2 (2) Channelled and fugitive particle matter emissions into the air				

¹⁵ <https://www.oekobaudat.de/>

¹⁶ <https://www.baubook.info/BTR/?SW=5>

¹⁷ <https://www.baubook.info/eco2soft/?SW=27>

III. Wirkungsabschätzung

Der dritte Schritt der Ökobilanz ist die **Wirkungsabschätzung**. Bei der Wirkungsabschätzung (**Life Cycle Impact Assessment, LCIA**) werden zunächst die Inputs und Outputs der Sachbilanz verschiedenen **Wirkungskategorien** (z. B. Klimawandelpotential oder Ozonabbaupotential) zugeordnet. Diese Zuordnung nennt sich **Klassifizierung**. Anschließend werden die zugeordneten Inputs und Outputs mithilfe eines spezifischen Faktors in eine Referenzeinheit umgewandelt (**Charakterisierung**).

Ein Beispiel: Bei der Wirkungskategorie „Klimawandelpotential“ ist die Bezugsgröße das CO₂ und die Referenzeinheit ist 1 kg CO₂-Äquivalente. Daher werden alle Inputs und Outputs, die zum Klimawandel beitragen (CO, N₂O oder

CH₄) gemäß dem spezifischen Charakterisierungsfaktor in CO₂-Äquivalente umgewandelt. CH₄ hat einen Charakterisierungsfaktor von 25, d.h. es trägt 25 Mal so viel zum Klimawandel bei wie CO₂. Die Berechnung von Charakterisierungsfaktoren erfolgt mittels komplexer Umweltmodelle.

Aufgabe 5: Wirkungskategorien



Nennt Emissionen, die die drei Umweltmedien Boden, Wasser und Luft belasten können.

Welche Wirkungskategorien würdet Ihr diesen Emissionen zuordnen? s. auch Abb. 7.

Eine Wirkungsabschätzung der Feinsteinzeug-Fliesen aus obigem Beispiel ist in Tabelle 2 zu sehen.

Tab. 2: Wirkungsabschätzung für Feinsteinzeug-Fliesen pro m² in den verschiedenen Lebenszyklusphasen gemäß den Modulen der EN 15804: 2018 (ITC)

	ADP-elements kg Sb Eq.	ADP-fossil MJ	AP kg SO ₂ Eq.	EP kg PO ₃ ⁴⁻ Eq.	GWP kg CO ₂ Eq.	ODP kg R11 Eq.	POCP kg C ₂ H ₄ Eq.
A1	9.93E-05	2.82E+01	1.17E-02	1.87E-03	2.12E+00	2.23E-07	1.05E-03
A2	6.45E-09	4.19E+00	5.37E-03	6.94E-04	3.16E-01	5.93E-10	3.59E-04
A3	9.74E-07	8.90E+01	1.23E-02	1.44E-03	7.04E+00	4.22E-07	8.81E-04
A4	1.44E-08	8.79E+00	1.27E-02	1.38E-03	6.75E-01	1.24E-09	8.12E-04
A5	6.60E-05	4.05E+00	4.82E-04	2.00E-04	5.01E-01	1.06E-08	5.32E-05
B2	2.19E-07	1.32E+00	9.12E-04	1.57E-04	1.52E-01	5.36E-08	2.64E-04
C1	0	0	0	0	0	0	0
C2	4.23E-09	2.45E+00	9.11E-04	1.84E-04	1.79E-01	3.63E-10	1.01E-04
C3	0	0	0	0	0	0	0
C4	9.93E-10	1.13E+00	5.79E-04	8.50E-05	1.56E-01	1.38E-09	1.02E-04
D	2.37E-08	-1.70E+00	-1.24E-04	-3.87E-05	-1.78E-01	-1.72E-08	-1.61E-05

NOTE:
Eq.: Equivalent
ADP: Abiotic (Resource) Depletion Potential, AP: Acidification Potential, EP: Eutrophication, GWP: Global Warming Potential, ODP: Ozone depletion, POCP: photochemical oxidant creation
D = Benefits and loads beyond the product system boundary

IV. Interpretation der Ergebnisse

Der Zweck der Interpretationsphase ist das Identifizieren, Quantifizieren, Prüfen und Evaluieren der Ergebnisse der Sachbilanz bzw. Wirkungsabschätzung. Dies erfolgt im Kontext der Ziele und des Untersuchungsrahmens, die in Schritt 1 festgelegt wurden. Aus der Interpretation leitet man Schlussfolgerungen und Empfehlungen ab und zeigt signifikante

Auswirkungen auf die Umwelt auf. Zudem sollte im Zuge der Interpretation eine Evaluierung der durchgeführten Ökobilanz erfolgen, die ihre Vollständigkeit, Robustheit und Konsistenz der Daten überprüft und ihre Beschränkungen erläutert. Zum Beispiel können die erzielte Datenqualität in der Sachbilanz und die Unsicherheiten bei der Wirkungsabschätzung aufgezeigt werden.

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen sollen der Zielgruppe übermittelt werden. Sie können intern und extern für Informations- und Marketingzwecke, Vergleiche von Alternativen, Neugestaltung von Produkten und Dienstleistungen, Integration in Zertifizierungssysteme und für die strategische Planung verwendet werden. Außerdem schreiben die Normen ISO 14040 und ISO 14044 einen Reviewprozess

durch unabhängige ExpertInnen und eine öffentliche Bekanntmachung der Ergebnisse vor.

In Tabelle 3 sind die relativen Beiträge von 1 m² der betrachteten Feinsteinzeug-Fliese zu den Wirkungskategorien zu sehen. Solche Übersichten helfen, Maßnahmen zur Umweltentlastung zielgerichtet auszuwählen.

Tab. 3: Beiträge der Inputs und Outputs von 1m² Feinsteinzeug-Fliese zu den Wirkungskategorien je Lebenszyklusphase, gemäß EN 15804: 2018 (in %), (ITC)

Module life cycle	Input/output	ADP-elements	ADP-fossil	AP	EP	GWP	ODP	POCP
A1	Body raw materials		14.4	9.2	8.1	12.5	25.8	15.0
	Glazes (from cradle to gate)	59.6	6.1	16.8	23.2	6.8	6.2	14.2
A3 Granulate manufacture	Electricity sold to the grid		-28.3	-19.0	-9.0	-28.1	<-1.0	-25.8
	Electricity bought from the grid		6.3	6.0	3.0	6.7	23.3	6.7
	Thermal energy from natural gas		32.3	7.6	9.3	31.1	<1.0	11.8
A3 Tile manufacture	Thermal energy from natural gas		44.7	10.5	12.6	43.1		16.3
	Electricity bought from the grid		10.0	9.3	4.7	10.5	36.5	7.5
	Emissions from raw materials decomposition			12.8	2.6	1.1		4.6
A2	Transport			12.0	11.6	2.9	<1.0	10.0
A4	Transport		6.4	28.4	23.2	6.2	<1.0	22.5
A5	Adhesive	40.0						
B2	Detergent						7.1	6.3
D	Benefits and loads beyond the product system boundary						-2.5	
Rest of processes			≤3.0	<2.5	≤3.5	<3.0	<2.0	<3.0

Die Ergebnisse einer LCA sind hilfreich für die Beantwortung der in Phase 1 - Ziel und Untersuchungsrahmen - gestellten Fragen:

- Was ist im Design/Re-Design zu berücksichtigen?
- Was soll verändert werden?
- Was soll bei einer Renovierung so belassen werden, wie es ist?
- Auf welche Strategien konzentrieren?
- Wie die Ergebnisse vermitteln?

Aufgabe 6: Grenzen einer Ökobilanz



Diskutiert die Probleme, die bei einer Ökobilanz auftreten könnten. Wo kann die LCA an ihre Grenzen stoßen?

Einflussgrößen und Wechselwirkungen

Wenn wir die Umweltverträglichkeit eines Produktes oder Gebäudes in einer bestimmten Lebenszyklusphase verbessern möchten, kann es zu sogenannten **Trade-Offs**, also entgegengesetzten Wechselwirkungen, kommen. Beispielsweise kann ein bestimmtes Material den Heizwärmebedarf in der Nutzung reduzieren, andererseits aber eine höhere dem Produkt selbst innewohnende Energie (sog. Embodied Energy, siehe auch Kumulierter Energieaufwand), ein höheres Abfallaufkommen oder eine kürzere Lebensdauer nach sich ziehen¹⁸.

Die nachfolgende Diskussion rund um die Branchenergebnisse am Beispiel Beton soll die

¹⁸ Blengini und Di Carlo, 2010

Grenzen und Anwendbarkeit von Ergebnissen der Ökobilanz näherbringen.

Praktischer Nutzen von Ergebnissen einer Ökobilanz am Beispiel Beton



Abb. 10: Architektur in Beton (Pxhere, s.a.)

Die Deutsche Bauzeitschrift hat 2014 einen Vergleich von Environmental Product Declarations für 1 m³ Beton, der in Deutschland hergestellt wurde und im Hoch-, Tief- und Ingenieurbau eingesetzt wird durchgeführt. Es wurde eine Nutzungsdauer von 50 Jahren betrachtet. Dabei handelt es sich nicht um herstellerebene Bilanzen, sondern um einen **Branchenquerschnitt**. Die entsprechenden EPDs wurden auf der Homepage des Informationszentrums Beton veröffentlicht¹⁹. Qualität und Langlebigkeit der Betonsorten variieren je nach Zusammensetzung, Verarbeitung, Verdichtung und Nachbehandlung.²⁰

Nehmen wir an, dass wir per Hotspot-Analyse prüfen wollen, ob für unterschiedliche Druckfestigkeitsklassen verschiedene Ökobilanzen nötig sind. Betrachtet man dazu z. B. die Graue Energie, zeigen sich deutliche Unterschiede (bspw. C 8/10: 0,521 MJ/kg; C30/37: 0,774 MJ/kg²¹). Verschiedene Bilanzen sind also angebracht.

Die Ökobilanzen zeigen beispielsweise, dass das Treibhauspotential mit der Druckfestigkeit

zunimmt, beim spezifischen Treibhauspotential verhält es sich hingegen umgekehrt.

Die Analyse hat gezeigt, dass während der Nutzungsphase normalerweise keine Belastung auftritt. Die **größten Belastungen entstehen durch den Zement, der 85-90 % des Primärenergiebedarfs und etwa 95 % des Treibhauspotentials verursacht** (das sind für die Klasse C20/25 etwa 1050 MJ/m³ bzw. 200 CO₂-Äqu./m³).²²

Vor allem die Betonherstellung, aber auch der Transport verursachen erhebliche Umweltauswirkungen. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass die Sand- und Kiesvorkommen einer Region begrenzt und die Inbetriebnahme neuer Abbaustätten aufwändig ist, weil sie mit hohen Anforderungen einhergeht. Werden die Rohstoffe aus einer anderen Region bezogen, verändert sich auch das Ergebnis der Ökobilanz.²³

Um zu ermitteln, wie groß die Belastung des gesamten Bauproduktes oder Gebäudes durch den Beton ist, braucht man die Ergebnisse der Ökobilanz nur mit den verbauten Kubikmetern zu multiplizieren.

Die Systemgrenze wurde bis zum Werkstor gezogen (Cradle-To-Gate with options). Den rückgebauten Beton könnte man zu Granulat weiterverarbeiten, das wiederum bei der Betonherstellung eingesetzt werden könnte. Der Einsatz ganzer gebrauchter Bauteile liegt ebenfalls außerhalb des Untersuchungsrahmens.

Der Branchenvergleich zeigt, dass die Systemgrenzen und Funktionelle Einheit gleich sein müssen, ansonsten ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse nicht möglich.

¹⁹<https://www.beton.org/wissen/nachhaltigkeit/umweltproduktdeklarationen/>

²⁰ Linden und Marquart (Hrsg.), 2018

²¹ Kolb, 2019

²² Linden und Marquart (Hrsg.), 2018

²³ Linden und Marquart (Hrsg.), 201

2. Einfluss der Produktgestaltung auf die Kreislauffähigkeit

Die größte Lücke, die einen geschlossenen Kreislauf innerhalb der Baubranche unterbricht, ist derzeit beim Abbruch von Gebäuden zu finden. Derzeit werden zwar Abbruchmaterialien recycelt, allerdings werden diese meist minderwertig eingesetzt, wie zum Beispiel im Straßenbau oder zur Verfüllung. Darüber hinaus wird ein großer Teil der Recycling-Baustoffe nicht im engeren Sinne recycelt, sondern z.B. als Zuschlagsstoff für Beton verwendet. Solche Anwendungen stellen keine gleichwertige Verwendung der Ressource dar, man spricht in diesem Zusammenhang von **Downcycling** oder gemäß der EU-Abfallhierarchie von „sonstiger (stofflicher) Verwertung“.



Abb. 11: Abbruch (Pixabay, 2019)

Wiederverwendung forcieren – verwertungsorientierter Rückbau

Gemäß **Recycling-Baustoff-Verordnung, RBV²⁴** ist beim Abbruch und Rückbau von Gebäuden eine Schad- und Störstofferkundung ab einer bestimmten Menge an Bau- und Abbruchabfällen (750 t) verpflichtend, und die Hauptbestandteile des Gebäudes sind voneinander zu trennen.

Beim **verwertungsorientierten Rückbau** wird das Gebäude stückweise in seine Bestandteile zerlegt (Metall-, Beton-, Holzteile...), die auf der Baustelle getrennt und danach recycelt

werden. Er bietet auch die Möglichkeit dafür zu sorgen, dass werthaltige Bauteile weiter genutzt und direkt in anderen Gebäuden eingebaut werden. Hemmnisse hierfür bestehen derzeit in rechtlichen Anforderungen und Bestimmungen zum Abfallende (Regelung ab wann ein entsorgtes Produkt wieder genutzt werden darf) sowie auch in der Produktgestaltung und Verbindungstechnik. Alles was z. B. verklebt ist, ist später schwer oder gar nicht zu trennen und erschwert/verhindert einen zerstörungsfreien Ausbau und somit die Wiederverwendung. → siehe auch Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

Die folgenden Beispiele zeigen auf, wie derzeit in Österreich beim Abbruch von Gebäuden mit ausgewählten Komponenten verfahren wird. Außerdem wird ersichtlich, wie eine Optimierung nach Ende der Nutzungsphase zu einer Schließung von Kreisläufen und Abfallvermeidung beitragen kann.

Beispiel Parkettboden

Parkettböden werden vom Abbruchunternehmen manuell oder mithilfe diverser Werkzeuge entfernt. Auch bei hoher Parkettqualität wird dieser selten wiederverwendet.

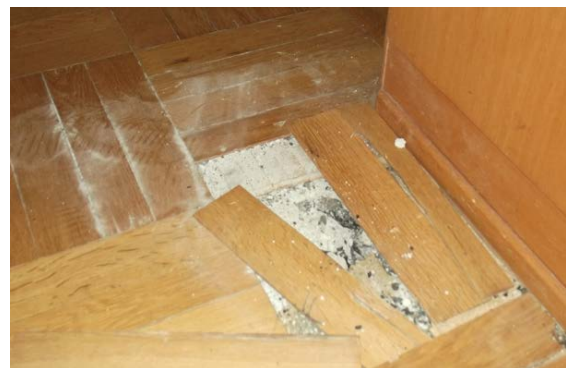


Abb. 12: Parkettboden beim Abbruch (BauKarussell, 2018)

Holz wird beim Abbruch derzeit noch als Störfaktor angesehen, der die Erzeugung von Recyclingbaustoffen, z.B. aus Stahlbeton oder Ziegeln, erschwert. Die Abfallfraktion Altholz wird vor allem stofflich, z.B. in der

²⁴ BGBl. II Nr. 181/2015, Änderung BGBl. II Nr. 290/2016

Spanplattenproduktion oder unter energetischer Nutzung thermisch verwertet, wenn Verunreinigungen eine stoffliche Verwertung verhindern. Gerade bei hochwertigen Parkett- oder Landhausdielenböden stellt dies geradezu eine Wertvernichtung dar.

Im Rahmen der Schad- und Störstofferkundung eines Gebäudes können werthaltige Komponenten identifiziert werden, die sich für einen Wiedereinsatz eignen. Der Zustand des Parkettbodens kann damit bei einer Begehung dokumentiert werden. Ist er in gutem Zustand, können die mit dem Abbruch Beauftragten mit der Planung einer Wiederverwendung beginnen.

Schritte im verwertungsorientierten Rückbau, um eine **Wiederverwendung** von Parkettböden **zu ermöglichen** umfassen:

a. Definition des Zeitrahmens

Wie lange sollen bzw. können die vorhandenen Materialien und Bauteile im Gebäude gelagert werden?

Anmerkung: Das Zeitfenster von der Freigabe bis zum Abbruch ist meist kurz!

b. Einbeziehung von Stakeholdern

Mit den ProjektentwicklerInnen und ArchitektInnen wird überlegt ob das Parkett z. B. bei Sanierung/Umbau vor Ort wieder eingebaut werden kann, um die Ressourceneffizienz zu erhöhen und den Charakter des Gebäudes zu wahren.

Anmerkung: Verschiedene Akteure müssen meist erst vom Nutzen einer Wiederverwendung überzeugt werden!

c. Angebot und Nachfrage

Um Lagerkosten zu vermeiden, müssen rasch Käufer für die Bauteile und Materialien gefunden werden.

Bedenke: Dies stellt die Zuständigen oft vor eine zeitliche und logistische Herausforderung!

d. Informationsmanagement und Qualitätssicherung

Eine umfassende Dokumentation des Produkts muss vorliegen. Produktdatenblätter, technische und chemische Analysen und Angaben zum Einbau erleichtern die Demontage von Bauteilen wesentlich (Wie ist der Parkettboden verlegt worden? Nägel, Schrauben, Klick-System, verklebt...). → siehe Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

e. Einbindung von Akteuren in der Wertschöpfungskette

Wer war der ursprüngliche Hersteller/Verkäufer des Produkts? Besteht die Möglichkeit, bei der Parkettsanierung zu kooperieren? Eine solche Kooperation kann eine Chance für den Produzenten bieten, das restliche Gebäude mit neuen Böden auszustatten. *Zur erfolgreichen Umsetzung sind neue Wege und Kooperationen nötig und bieten Chancen für verschieden Akteure entlang der Wertschöpfungskette!*

Beispiel Verwertungsorientierter Rückbau

Das Start-Up **BauKarussell** hat es sich zum Ziel gesetzt, die **Wiederverwendung von Bauteilen in den standardmäßigen Rückbau von Gebäuden zu integrieren**.²⁵ Bei den Pilotprojekten mit Abbruchgebäuden wurde deutlich ersichtlich, dass die Produktplanung und -gestaltung der Anfangsphase (Verbindungstechnik, qualitative Ausführung, Trennbarkeit...) die nachfolgenden, vor allem die letzte Phase wesentlich beeinflusst.

Beispiel Polystyrolplatten – Gefährlicher Abfall oder Wertstoff?

Polystyrolplatten zur Wärmedämmung, die vor dem Jahr 2000 produziert worden sind, enthalten mit hoher Wahrscheinlichkeit FCKWs (Fluorchlorkohlenwasserstoffe); im Jahre 2000 wurde der Einsatz von FCKWs verboten.

²⁵ <http://www.pulswerk.at/baukarussell.htm>

Der FCKW-Gehalt ist ausschlaggebend, ob die Dämmplatten als gefährlicher Abfall gelten und damit entsorgt werden müssen oder eine andere Verwendung finden können z. B. als Wärmedämmung am Dach.

Gelten sie als gefährlicher Abfall, müssen sie besonders vorsichtig behandelt werden, weil das Treibhauspotential von FCKWs etwa tausendfach höher ist als das von CO₂. Um Emissionen zu vermeiden, dürfen die Platten nicht brechen, müssen sorgfältig gelagert und anschließend fachkundig thermisch behandelt werden, um die Eliminierung der FCKWs sicherzustellen.

Wenngleich die Gesamtmasse an eingesetzten FCKWs niedrig ist, ist sie doch bedenklich, da sie umweltschädigend ist. Weil die Dämmplatten eine so geringe Masse haben, werden sie beim Abbruch oft nicht vorsichtig genug behandelt: Sie brechen, werden zerschnitten und fallen gelassen.

Schritte, um einen sorgsamen Umgang zu gewährleisten und gleichzeitig Möglichkeiten zur Wiederverwendung auszuloten, umfassen:

- Bei der **Schad- und Störstofferkundung** vor Beginn der Abbrucharbeiten, sollte geprüft werden, ob die Platten FCKWs enthalten. Dies dient vor allem der Abschätzung der Abbruchkosten. Gleichzeitig werden auch die Pflichten im Umgang mit den Abfällen mit dem Abbruchunternehmen geklärt.
- **Produktinformation**: Enthalten die Platten keine FCKWs, muss zur Wiederverwendung eine umfassende Dokumentation vorliegen, z.B. Produktdatenblatt, ggf. technische Analyse des Materials.
- Über **Haftung und Gewährleistung** sollte eine Vereinbarung getroffen werden.

Beispiel Büromöbel

Der erste operative Schritt eines Abbruchs ist die Räumung, die in der Regel ebenfalls vom Abbruchunternehmen durchgeführt wird. Das

Abbruchunternehmen hat für solche spezifischen Aufgaben oft eigene Vertragspartner, weswegen der Projektentwickler die operative Arbeit nicht so einfach überblicken kann. Das Wiederverwendungs- und Recyclingpotential wird dabei meistens nicht ausgeschöpft.

Büromöbel werden allgemein in kurzen, regelmäßigen Abständen von ein paar Jahren ausgetauscht. Folglich sind sie oft in gutem Zustand, in hoher Qualität und in einheitlichem Stil verfügbar und somit für den Second-Hand-Markt geeignet.

Ein wesentlicher Schritt, um eine Wiederverwendung von gebrauchten Büromöbeln zu ermöglichen stellt die Einbindung verschiedener Akteure entlang der Wertschöpfungskette dar, vor allem beim Übergang von Produkt – Abfall – Abfallende – wiederverwendetes Produkt.

Serviceorientierte Geschäftsmodelle (z. B. Vermieten von Möbeln) stellen neue Anforderungen an die Produktgestaltung hinsichtlich **Langlebigkeit und Robustheit**. Nachdem die Produkte im Besitz des Herstellers verbleiben, hat dieser großes Interesse daran, diese langlebig, service- und wartungsarm zu gestalten bzw. diese wiederkehrenden Leistungen so einfach und ökonomisch wie möglich durchzuführen. Wertschöpfung wird nicht über die verkaufte Stückzahl, sondern über den zur Verfügung gestellten Nutzen des Mobiliars generiert. Die Serviceleistungen können vom Hersteller selbst oder von anderen Anbietern durchgeführt werden. Die Produzentenverantwortung kann so weit gehen, dass der Produzent seine Produkte am Lebensende zurücknimmt, wiederaufbereitet und auf den Markt bringt.

Eine **verlängerte Nutzungsdauer** stellt bei rohstoff- und herstellungsintensiven Produkten wie Parkettboden, Möbeln oder Betonelementen ein **wichtiges Kriterium zur Reduktion des Ressourcenverbrauches und der Umweltauswirkungen** dar.

Bilanz ziehen: Textaufgaben zur Reflexion

Textaufgabe 1: Zum Text „Böser Beton“ (Philip Pramer, in: Der Standard, 03.05.2019)²⁶



- a. Beschreibt, wie Zement zum weltweiten Klimawandel beiträgt.
- b. Erklärt, warum man die Zementproduktion nicht klimaneutral gestalten kann.
- c. Ordnet die im Text genannten Möglichkeiten zur Verringerung der CO₂-Emissionen den Methoden des ReSOLVE-Frameworks der Ellen MacArthur-Foundation (siehe Modul 1, Seite 11) zu. Wo könnten eurer Meinung nach Schwierigkeiten bei der Umsetzung dieser Maßnahmen auftreten?
- d. Illustriert die verschiedenen möglichen Lebenswege eines Zementsacks und führt die jeweils beteiligten Akteure an.
- e. Zeigt die Möglichkeiten auf, die die Akteure zur Umsetzung der Maßnahmen aus Punkt d haben.

Textaufgabe 2: Zum Text „Der Kampf der Armen in der Megacity“ (Katrin Gänslar, in: Der Standard, 03.05.2019)²⁷



- a. Erklärt, von welchem knappen Gut im Artikel die Rede ist und warum es so begehrt ist!
- b. Erläutert das soziale Problem, das der Artikel behandelt und nennt seine Gründe und die Lösungen, die vorgeschlagen werden.
- c. Illustriert den sozialen Lebenszyklus des Verkaufszentrums für Arzneimittel (vorletzter Absatz). Bezieht dabei das im Artikel beschriebene gesellschaftliche Problem mit ein, sowie seine Gründe und Lösungsvorschläge.

Textaufgabe 3: Zum Text „Der Stein des Anstoßes“ (Julia Schilly, in: Der Standard, 14.05.2011)²⁸



- a. Erläutert die Gründe, warum ein so hoher Anteil der Natursteine in Österreich importiert wird.
- b. Ordnet die sozialen Probleme, mit denen die ArbeiterInnen in Steinbrüchen in Indien und China konfrontiert sind, folgenden Bereichen zu:
 - soziale Leistungen und soziale Sicherheit
 - KonsumentIn: Gesundheit, Sicherheit, Datenschutz, Verantwortlichkeit am Ende des Lebenszyklus...
 - Lokale Gemeinschaft: Zugang zu materiellen Ressourcen, z.B. Grundbesitz, sichere und gesunde Lebensbedingungen, Versammlungsfreiheit...
 - Gesellschaft: öffentliche Zielsetzungen und Gesetze in Bezug auf nachhaltige Entwicklungen, Vermeidung bewaffneter Konflikte, Korruption...
 - andere Akteure der Wertschöpfungskette: fairer Wettbewerb, soziale Verantwortung (z.B. Code of Conduct in der Branche), Berücksichtigung geistigen Eigentums...
- c. Nennt die Herausforderungen und Möglichkeiten, die mit der Lösung einhergehen, die heimischen Verbrauchern vorgeschlagen wird.

²⁶ <https://derstandard.at/2000102411187/Boeser-Beton-Warum-Zement-der-geheime-Klimakiller-ist>

²⁷ <https://derstandard.at/2000102403944/Der-Kampf-der-Armen-in-der-Megacity-Lagos>

²⁸ <https://derstandard.at/1304552103277/Umstrittene-Naturstein-Importe-Der-Stein-des-Anstosses>, 14.5.2011

Literaturverzeichnis

Alvarez, S.; Carballo-Penela, A.; Mateo-Mantecón I. and Rubio, A. (2016): Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats analysis of carbon footprint indicator and derived recommendations. In: Journal of Cleaner Production 121, 238-247.

Badr, Amani; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas; Zeumer, Martin (2018): Nachhaltigkeit gestalten. Leitfaden für Architekten, Innenarchitekten, Landschaftsarchitekten, Stadtplaner, Fachingenieure, Bauherren und Interessierte, Bayrische Architektenkammer

Bau EPD GmbH (2015): Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD GmbH für die Erstellung von EPDs, http://www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2015/08/EPD-AT_Referenznutzungsdauern-20150810.pdf, [Abgerufen am 11.03.2020].

BGBl. II Nr. 181/2015, Änderung BGBl. II Nr. 290/2016: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Pflichten bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen (Recycling-Baustoffverordnung – RBV

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2016): Produktbezogene Klimaschutzstrategien: Product Carbon Footprint verstehen, anwenden und nutzen. <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/produkte-und-konsum/product-carbon-footprint/> [Abgerufen am 18.06.2019].

DGNB (2018): Leitfaden zum Einsatz der Ökobilanzierung, DGNB Leitfaden, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Februar 2018

ECO DESIGN Kit <https://www.ecodesignkit.de/home-willkommen/> [Abgerufen am 11.04.2019]

Europäische Kommission (2018): Construction and Demolition Waste. Verfügbar in: http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm (Abgerufen am 11.06.2019).

Hirner, H. (2012): CO₂-Fußabdruck. <https://www.austrian-standards.at/ueber-standards/nutzen-von-standards/nutzen-in-der-wirtschaft/co2-fussabdruck/> [Abgerufen am 18.06.2019].

Kolb, B. (2019): Beton-Ökobilanz. In: Forum Nachhaltiges Bauen, <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Beton> [Abgerufen am 18.06.2019].

Life Cycle Initiative (2018): What is Life Cycle Thinking? Verfügbar in: <https://www.lifecycleinitiative.org/start-ing-life-cycle-thinking/what-is-life-cycle-thinking/> [Abgerufen am 11.04.2019].

Linden, W. und Marquardt, I. (Hrsg.) (2018): Ökologisches Baustoff-Lexikon. Bauprodukte, Chemikalien, Schadstoffe, Ökologie, Innenraum. 4. Auflage. Berlin: VDE Verlag.

Melzer, H. (2015): Recycling und Entsorgungseigenschaften von Dämmstoffen. Verfügbar in: <http://www.nachhaltiges-bauen.jetzt/recycling-und-entsorgungseigenschaften-von-daemmstoffen/> [Abgerufen am 14.06.2019].

Schneider, P.; Pfoh, S. und Grimm, F. (s.a.): Leitfaden 01. Ökologische Kenndaten Baustoffe und Bauteile. Projektplattform Energie des Bayerischen Bauindustrieverbandes e.V. in Kooperation mit der TU München. [Abgerufen am 11.06.2019].

Abbildungsverzeichnis

https://www.google.com/search?as_st=y&tbm=isch&hl=de&as_q=abbruch+abfall&as_epq=&as_oq=&as_eq=&cr=&as_sitesearch=&safe=images&tbs=sur:fc#imgrc=xJIQG72nNEtcZM:https://pxhere.com/de/photo/680904

Icons:

Freepik (2019): www.flaticon.com [Abgerufen am 15.05.2019]

Anhang mit Abbildungen

Abb. 3: Periodisch anfallende Entscheidungen im Lebenszyklus eines Gebäudes, ÖGNB

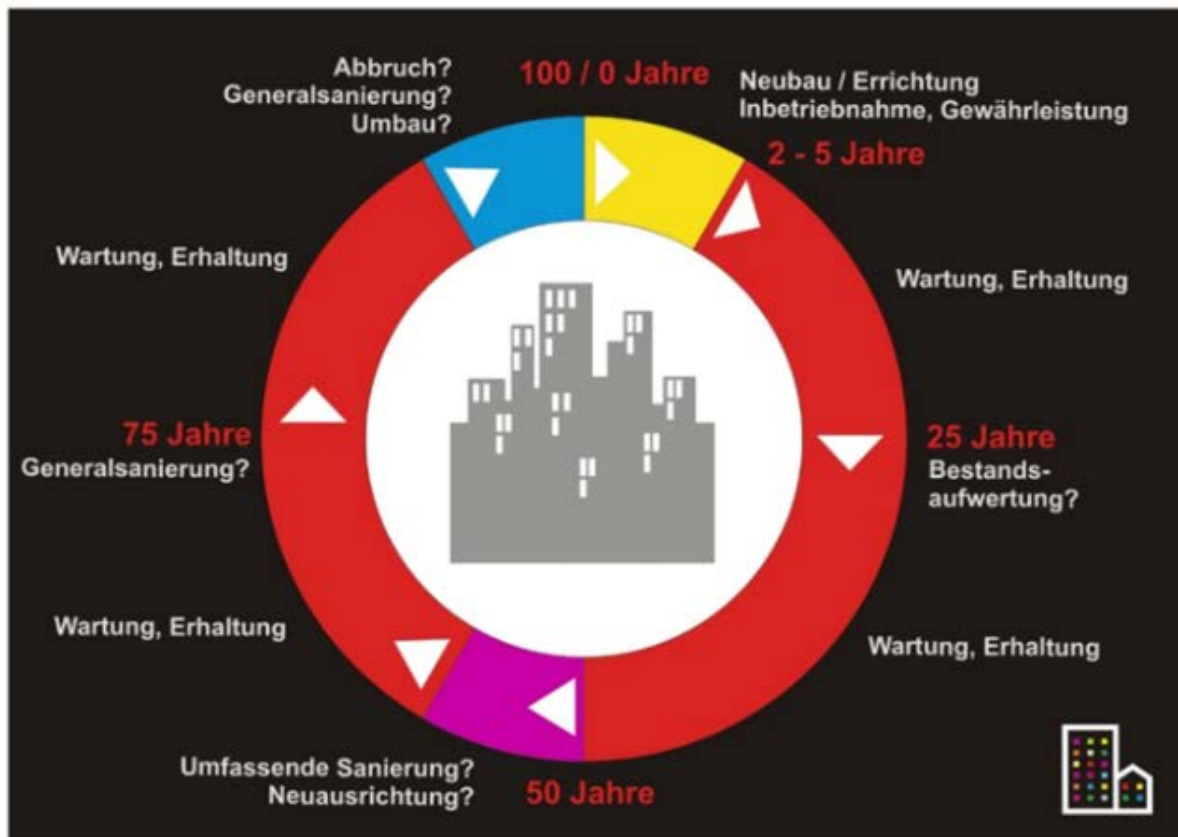
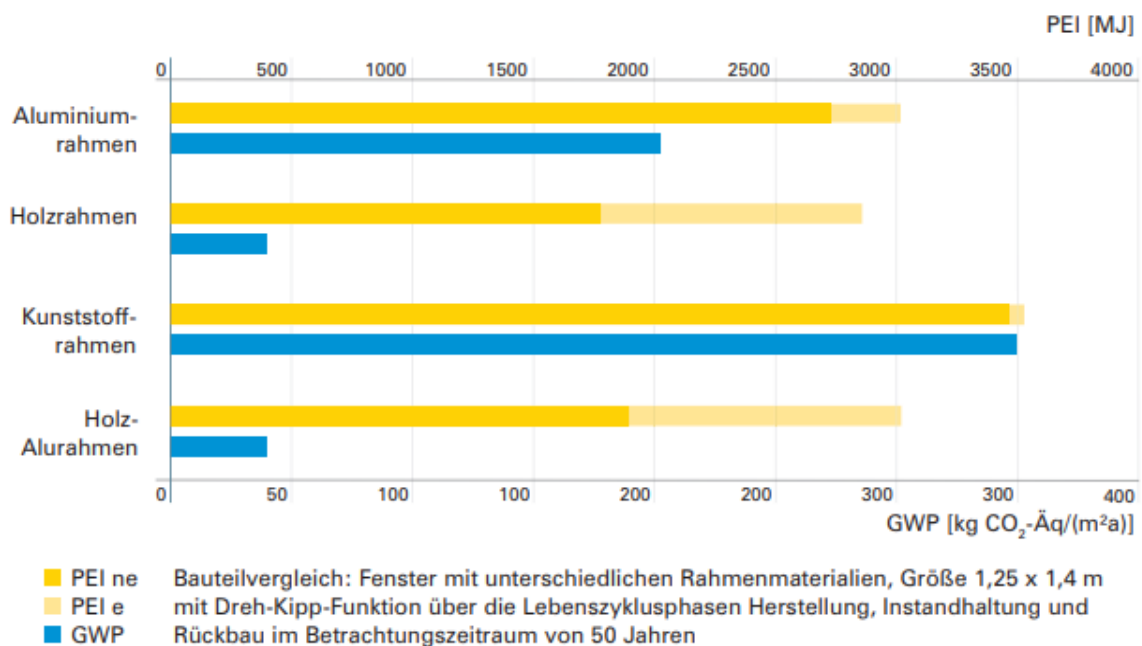


Abb. 5: PEI Vergleich von Dreh-Kipp-Fenstern²⁹



²⁹ Badr A. et al. 2018

Abb. 6: PEI Vergleich unterschiedlicher Gebäude³⁰

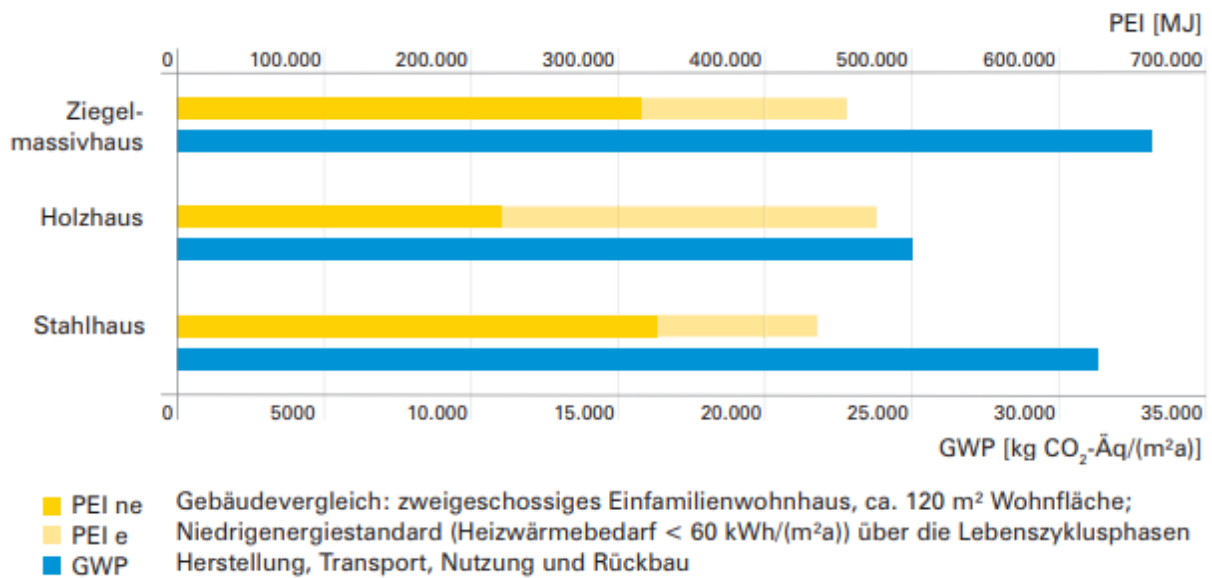
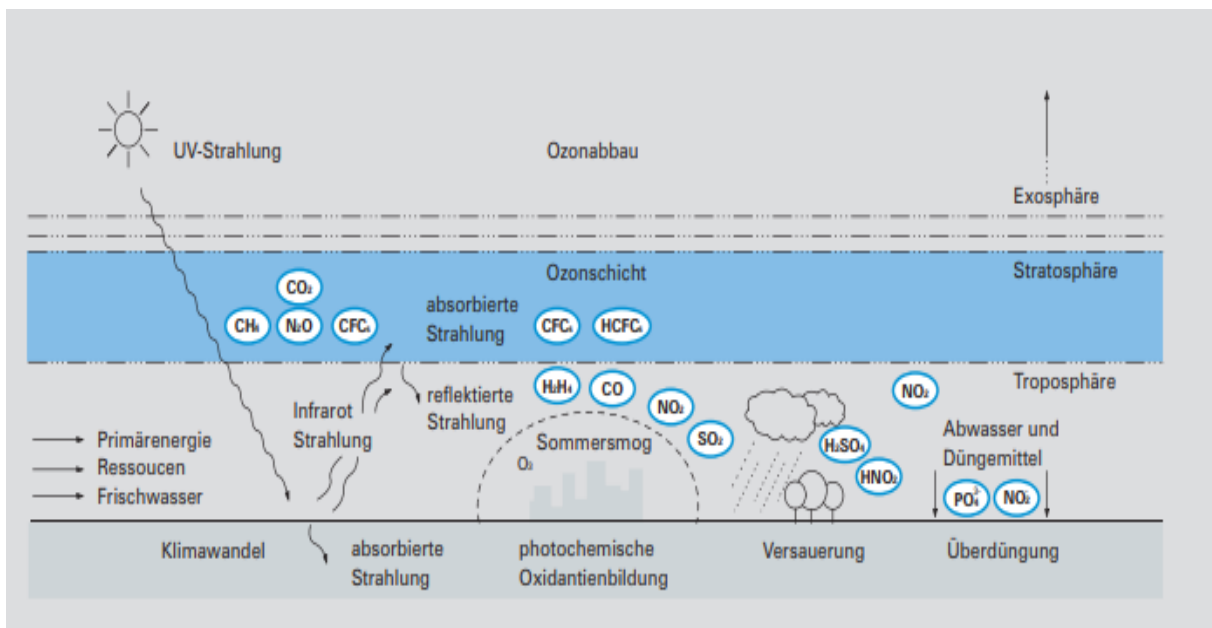


Abb. 7: Schematische Darstellung der zentralen Wirkungskategorien in einer Ökobilanz³¹



³⁰ Badr A. et al. 2018

³¹ Badr A. et al. 2018

Abb. 8: Identifizierung von Hotspots mit Hilfe von Ökobilanz-Daten, hier: CO₂-Äquivalente³²

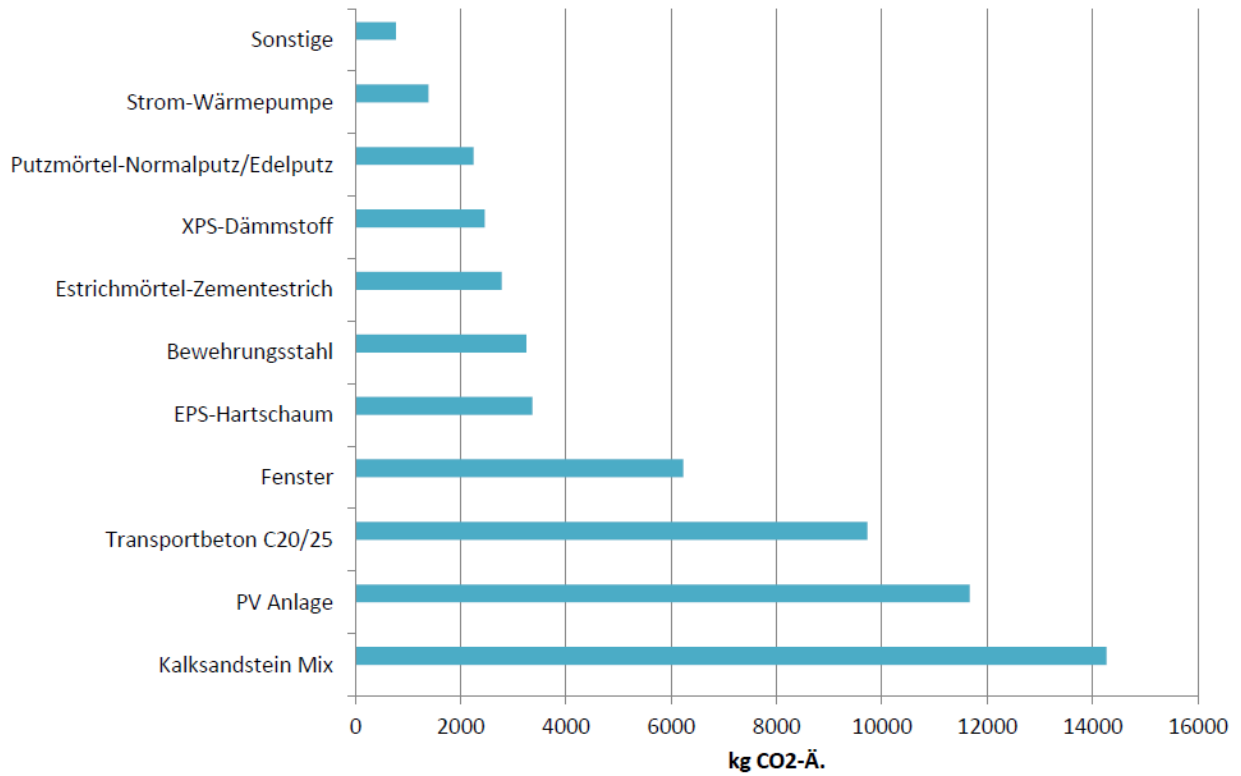
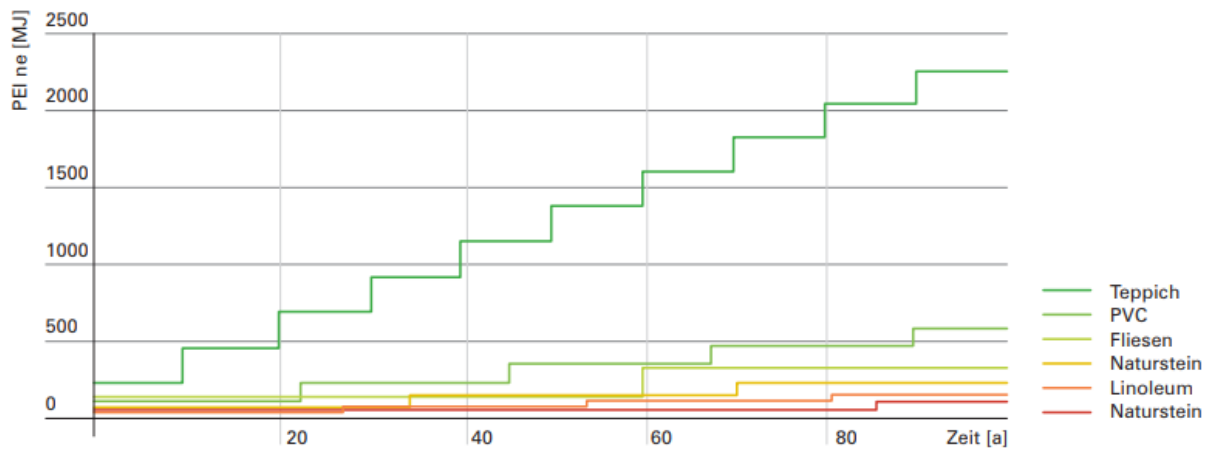


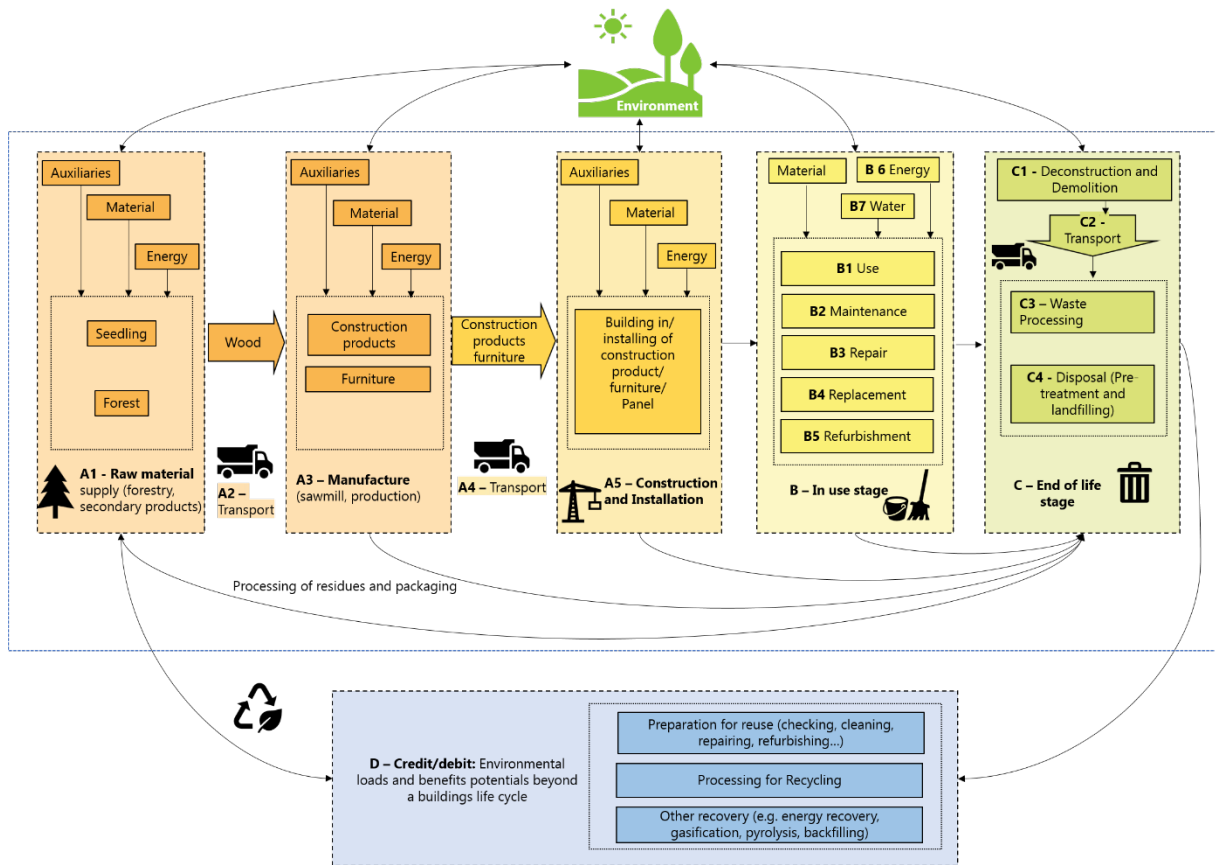
Abb. 9: Dauerhaftigkeit unterschiedlicher Bodenbeläge im Vergleich³³



³² Quelle: Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, Johannes Gantner, in DGNB, 2018

³³ Badr A. et al. 2018

Abb. 11: Darstellung des Lebensweges eines exemplarischen Holzproduktes³⁴



³⁴ Österreichisches Ökologie-Institut, 2019

Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich

Modul 1: Einführung in die Kreislaufwirtschaft

Modul 2: Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens

Modul 3: Tool zur Bewertung der Kreislauffähigkeit
von Gebäuden

Modul 4: Betrachtung der Umweltauswirkungen
entlang des Lebenszyklus

**Modul 5: Abbildung der Kreislauffähigkeit auf
Produkt- und Gebäudeebene**

Einleitung

Der Baubereich ist für zwei Drittel des Abfallaufkommens und die Hälfte des Ressourcenverbrauches in Österreich verantwortlich. Um in Zukunft mit den begrenzten, zur Verfügung stehenden Ressourcen in wirtschaftlicher und umweltverträglicher Weise umgehen und Potentiale in hohem Maße nutzen zu können, ist ein Umdenken in Richtung Kreislaufwirtschaft und nachhaltiger Gebäudegestaltung unabdingbar.

Vorliegendes Modul ist Teil der im Projekt AbBau - Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich ausgearbeiteten Materialien. Die Unterlagen bestehen aus vier theoretischen Modulen und einem praktischen Modul (Tool zur kreislauffähigen Gestaltung von Gebäuden), die zur freien und flexiblen Verwendung für HTLs im Bereich Bau und Produktdesign vorliegen. Die Anwendung ist fächerübergreifend und für kooperative Lernformen möglich, es können individuelle Schwerpunkte gesetzt werden. Möglich ist die Integration der Lehrmaterialien beispielsweise in Fächern wie Baukonstruktionstechnik, Hochbautechnologie oder die Anwendung im Bau- oder Designlabor.

Die Lehrmodule leisten einen Beitrag zur Integration vielschichtiger Aspekte rund um Kreislaufwirtschaft in die berufliche Aus- und Weiterbildung und können auch von Unternehmen genutzt werden.

Projektleitung: TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign

Kooperation: Österreichisches Ökologie-Institut

Wien, März 2020

Die Ausarbeitung wurde durch die Abfallvermeidungsförderung der Sammel- und Verwertungssysteme für Verpackungen finanziert.

Modul 5: Abbildung der Kreislauffähigkeit auf Produkt- und Gebäudeebene

Zusammenfassung Modul 5

Im vorliegenden Modul werden bestehende Instrumente der Umweltkommunikation auf Produktebene wie Umweltgütesiegel und Umweltproduktdeklarationen (EPD) vorgestellt und thematisiert, inwieweit Ressourcenschonung und Kreislauffähigkeit als Kriterien in den jeweiligen Instrumenten enthalten sind. Auf Gebäudeebene werden gängige Bewertungs- und Zertifizierungssysteme überblicksartig dargestellt und aktuelle Bestrebungen zur Erweiterung der Bewertungskriterien in Richtung Kreislauffähigkeit von Gebäuden in Österreich diskutiert. Internationale Entwicklungen von Indikatoren und Methoden zur Abbildung und Optimierung der Kreislauffähigkeit und praktische Übungen runden das Modul ab.

Lernziele

- Informationsgehalt und Vergleichbarkeit von Umweltgütesiegel und Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration, EPD) für Bauprodukte kennen und verstehen
- Verschiedene Gebäudezertifizierungssysteme und deren Kriterien v. a. in Bezug auf Abfallvermeidung und Ressourcenschonung kennen lernen
- Indikatoren zur Quantifizierung der Kreislauffähigkeit und des Abfallvermeidungspotentials und deren Abbildung in den Zertifizierungssystemen kennen und anwenden
- Praktisches Ausprobieren von Methoden zur Abbildung und Optimierung der Kreislauffähigkeit von Produkten

Inhalt

Einleitung - Worum geht's?	4
1. Arten von produktbezogener Umweltinformation	4
Typ I Umweltzeichen für Bauprodukte	5
Typ III Umweltdeklarationen für Bauprodukte	6
2. Gebäudebewertungssysteme.....	8
3. Quantifizierung von Kreislauffähigkeit und des Abfallvermeidungspotentials.....	12
4. Praktische Übungen zur Ermittlung der Kreislauffähigkeit	144
Beispiel 1: Methoden und Indikatoren zur Bewertung der Kreislauffähigkeit	144
Material Circularity Indicator	144
Circular Economy Toolkit	155
Beispiel 2: Gebäudezertifizierung und Kreislauffähigkeit von Gebäuden	177
Baubook und eco2soft - Gebäuderechner	177
Total Quality Building	19
Literaturverzeichnis.....	20

Einleitung - Worum geht's?

Um bestimmte Umweltvorteile zu kommunizieren, gibt es im Baubereich eine Vielzahl an Instrumenten der Umweltkommunikation. Unterschieden werden kann hier zwischen der (Bau-)produkt- und der Gebäudeebene. Bei Produkten spricht man von **Umweltgütesiegeln oder Umweltproduktdeklarationen**. Auf der Gebäudeebene spricht man von **Gebäudezertifizierungssystemen**.

Das vorliegende Modul soll einen **Überblick über die wichtigsten Instrumente** geben und dabei helfen, **die Informationen bezüglich Ressourceneinsparung richtig einordnen** zu können. Dabei geht es unter anderem um Fragen wie:

- Welche Arten von produktbezogenen Instrumenten zur Umweltkommunikation gibt es?
- Welche Aussagekraft haben diese?
- Nach welchen Kriterien wird bewertet?
- Welche sind die entscheidenden Kriterien, um bei einer Gebäudezertifizierung gut abzuschneiden?
- Welche Rolle spielen Kriterien der Ressourceneffizienz in den Bewertungssystemen?

1. Arten von produktbezogener Umweltinformation

Es gibt drei verschiedene Arten der Umweltinformation, die auf verschiedenste Produkte und Dienstleistungen angewendet werden können. Die verschiedenen Instrumente der Umweltinformation sind normiert. Folgende Arten werden unterschieden:

• Typ I Umweltkennzeichen – ISO 14024

sind Umweltzeichen, die von unabhängigen Drittorganisationen an Produkte aufgrund besonderer Eigenschaften vergeben werden. Produkte mit einem Umweltzeichen des Typ I weisen eine verbesserte Umweltperformance als vergleichbare Produkte auf, die kein Umweltgütesiegel tragen.

• Typ II Selbstdeklarationen – ISO 14021

sind vom Hersteller selbst erstellte Kennzeichnungen von Produkten und werden nicht extern überprüft.

• Typ III Produktdeklaration basierend auf Ökobilanz-Ergebnissen – ISO 14025

beinhalten eine ausführliche Beschreibung der Umweltleistung basierend auf einer Ökobilanz, ohne jedoch einen Vergleich zu anderen Produkten und eine Wertung zu leisten. Eine Verifizierung einer unabhängigen Organisation ist vorgesehen. Die folgende Tabelle zeigt die Unterschiede der Informationstypen auf:

Typ I	Typ II	Typ III
Hauptzielgruppe		
KonsumentIn	KonsumentIn, Unternehmen	Unternehmen Öffentlichkeit
Art der Kommunikation		
Umweltzeichen	Text und Symbol	Ökobilanzergebnisse
Betrachtungsbereich		
Gesamter Lebensweg	Einzelne Umweltwirkungen	Ausgewählte Phasen bis gesamten Lebensweg
Vorteile		
- einfach identifizierbar	- marktorientiert	- detaillierte Informationen
- Zertifizierung durch Drittinstanz	- flexibel anpassbar	- hohe Glaubwürdigkeit durch wissenschaftliche Daten
- Produktspez. Anforderungen		
Nachteile		
- keine Detailinfos	- geringe Glaubwürdigkeit	- komplexe Resultate
- keine Kommunikation der unternehmensspez. Anstrengungen	- keine Lebenszyklusbetrachtung	- schwerer verständlich
Typische Anwendungen		
- geringe Funktionalität	- Für verschiedenste Produkte anwendbar	- komplexe Produktfunktionalität
- niedrigpreisige Produkte		- hochpreisige Produkte
z.B. Haushaltsgeräte, Konsumartikel, etc.		- lange Lebens- und Nutzungsdauer

Tab. 1: Arten, Eigenschaften und Anwendungsgebiete unterschiedlicher Instrumente der produktbezogenen Umweltkommunikation


Typ I Umweltzeichen für Bauprodukte


Nachdem Typ II-Selbstdeklarationen aufgrund der fehlenden Unabhängigkeit nur wenig aussagekräftig sind, werden in weiterer Folge nur Typ I und Typ III und deren Anwendungsgebiete diskutiert. **Typ I-Umweltzeichen sind** vor allem für die Ebene der **Bauprodukte** relevant. **Typ III-Deklarationen** werden zwar auch für verschiedene Bauprodukte vergeben, sind aber **vor allem für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken** wichtig. Dabei wird der Einsatz von Bauprodukten innerhalb des Gesamtsystems „Gebäude“ analysiert.


Typ I-Deklarationen zeichnen Produkte aus, die bestimmte vordefinierte Eigenschaften erfüllen. Die Prüfkriterien werden von der vergebenden Institution für bestimmte Produktgruppen festgesetzt und überprüft („third party verified“). Die Vergabekriterien für die jeweiligen Produktgruppen sind den Umweltzeichenrichtlinien zu entnehmen.

Die folgende Übersicht zeigt vier empfehlenswerte und weit verbreitete Typ I - Deklarationen für Bauprodukte.

Blauer Engel	
	<p>Vergeben in Deutschland von:</p> <p>Umweltbundesamt / RAL Deutsches Institut für Gütesicherung</p>
Produktgruppen	
<p>Bitumenanstriche, Bodenbeläge, Bodenverlegetwerkstoffe, Dämmstoffe, Holz und Holzwerkstoffe, Lack/Lasuren, Mauer- und Dachsteine, Tapeten, Wandfarben, Wärmedämmputzsysteme, Zemente/Putze/Mörtel</p>	

Natureplus	
	<p>Vergeben in Deutschland von:</p> <p>Natureplus e.V.</p>
Produktgruppen	
<p>Dämmstoffe, Lacke, Lasuren, Wandfarben, Holz und Holzwerkstoffe, Bodenbeläge, Zemente/Putze/Mörtel, Mauer-/Dachsteine</p>	

Österreichisches Umweltzeichen	
	<p>Vergeben in Österreich von:</p> <p>Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)</p>
Produktgruppen	
<p>Bauprodukte aus Kunststoff, Fußbodenbeläge, Dämmplatten, Holz, Holzwerkstoffe, Lacke, Lasuren, Mineralische und nachwachsende Wärmedämmstoffe, Wandfarben</p>	

FSC	
	<p>Weltweit vergeben von:</p> <p>Forest Stewardship Council A.C.</p>
Produktgruppen	
<p>Holz und Holzwerkstoffe</p>	

Abhängig vom Umweltgütesiegel werden die Bauprodukte auf folgende Umweltkriterien untersucht:

1. **Vermeidung von umwelt- und gesundheitsschädlichen Inhaltsstoffen** (z. B. krebserregende, giftige, umweltgefährdende Chemikalien)
2. **Emissionsgrenzwerte für bestimmte Schadstoffe** (Vermeidung bedenklicher Schadstoffe wie Asbest, Weichmacher in Kunststoffen)
3. **Verbot bestimmter Inhaltsstoffe** (z. B. halogenierte organische Verbindungen)
4. **Soziale Verantwortung** (z. B. angemessene Bezahlung aller Akteure in der Wertschöpfungskette)
5. **Ressourcenschonende Rohstoffgewinnung** und Vermeidung von Materialien auf Basis von Erdöl
6. **Rohstoffe aus nachhaltiger Bewirtschaftung** (v. a. relevant bei Holz)
7. **Umwelt- und ressourcenschonende Produktion** (z.B. durch vorhandenes Abfallwirtschaftskonzept des Unternehmens)
8. **Umweltschonende Verpackung** (recyclinggerecht, Verbot bestimmter Stoffe)
9. **Langlebigkeit** (durch lange Nutzungsdauer und Reparierbarkeit)

Die vom österreichischen Bundesministerium für Klimaschutz (BMK) betriebene Webseite www.bewusstkaufen.at stellt die verschiedenen Umweltzeichen und die danach zertifizierten Produkte vor und bietet somit die Möglichkeit, sich einen guten Überblick über die Prüfkriterien von Produkten und Zeichen zu verschaffen.

Typ III Umweltdeklarationen für Bauprodukte

Die Umweltauswirkungen von Produkten können in Form einer Typ-III-Umweltdeklaration, einer sogenannten **Umweltproduktdeklaration** (kurz **EPD** Environmental Product Declaration), vermittelt werden. EPDs sind in der Norm **ISO 14025** geregelt und fassen von Dritten verifizierte Umweltkennzahlen, die auf **Ökobilanzierungen gemäß ISO 14040** basieren, transparent zusammen. **Für Bauprodukte existiert ein europäischer Standard**, der gemeinsame Regeln zur Erstellung von EPDs für die jeweilige Bauprodukte Kategorie festlegt (*EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*).

Besonders im B2B¹-Bereich kommt EPDs eine hohe Bedeutung zu.

So können EPDs teilweise dazu genutzt werden, um die Anforderungen der Bauproduktenverordnung (BauPVo, Verordnung EU 305/2011) zu erfüllen, weshalb ihnen im Baubereich eine hohe Relevanz zukommt.

Zu den wichtigsten Organisationen und Unternehmen, die EPDs erstellen, verifizieren und verwalten, gehören:

The International EPD System
 <p>THE INTERNATIONAL EPD® SYSTEM</p>
Kurzbeschreibung
<ul style="list-style-type: none"> - International anerkanntes, öffentliches EPD-Vergabesystem - Verschiedene Produktgruppen - öffentliche Online-Datenbank mit 1100 EPDs

¹ Business to Business, also Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen

EPDs der Bau EPD GmbH

Kurzbeschreibung
<ul style="list-style-type: none"> - vergeben in Österreich - ausschließlich Bauprodukte - bisher kleine Datenbank für den österreichischen Markt

EPDs des Instituts Bauen und Umwelt für Bauprodukte

Kurzbeschreibung
<ul style="list-style-type: none"> - vergeben in Deutschland - ausschließlich Bauprodukte - wichtigste Datenbank im Bausektor mit über 1700 EPDs für Bauprodukte²

Product Category Rules (PCR): Es gibt viele Faktoren, die die Ersteller einer EPD zu Beginn festlegen müssen, um die Umweltauswirkungen von Produkten zu berechnen. Da jeder Ersteller andere Faktoren wählt, können die Produkte einer Produktgruppe (z.B.: Dämmstoffe) auch mit vorhandener EPD meist nicht verglichen werden. Aus diesem Grund werden mittlerweile Product Category Rules für verschiedene Produktgruppen entwickelt, die einheitliche Vorgaben zur Berechnung von EPDs angeben und die charakteristischen Umweltwirkungen der jeweiligen Produktgruppen repräsentativ

abbilden. **PCRs** definieren die verschiedenen Produktgruppen und ihre charakteristischen Umweltwirkungen. Falls für ein Bauprodukt noch keine passende Produktgruppe inklusive PCRs existieren, kann ein Produktgruppenforum, das sich aus ExpertInnen und ProduzentInnen zusammensetzt, unter Mitwirken der interessierten Öffentlichkeit eine solche ins Leben rufen. Siehe dazu auch: <http://www.bau-epd.at/de/startseite/der-weg-zur-epd/>

Beim Vergleich von EPDs gibt es ähnliche Einschränkungen wie beim Vergleich von Ökobilanzen, die sich aus den unterschiedlich abgebildeten Produktsystemen ergeben. Systemgrenzen, Berechnungsmethoden und Referenzgrößen können sich unterscheiden. Wenn EPDs als Entscheidungsgrundlage für Fragen in Architektur, Design, Bauingenieurswesen etc. herangezogen werden, muss man ihren Inhalt, ihre Anwendungsmöglichkeiten und Einschränkungen verstehen, um sie korrekt interpretieren zu können.

Werden EPDs verglichen, sollte der Vergleich auf dem Beitrag der einzelnen Produkte zur Gesamtleistung des Gebäudes basieren, d. h. auf seiner Verwendung. Zum Beispiel sollten verschiedene Wärmedämmsysteme nicht für sich alleine, sondern im gesamten Wandaufbau und als Teil eines Fassadensystems verglichen werden. Dabei sollte, wenn möglich, der gesamte Lebenszyklus des Produktes betrachtet werden. Um falsche Schlüsse zu vermeiden, muss gewährleistet sein, dass die zu vergleichenden Produkte ...

- ...die gleiche **funktionelle Einheit** haben.
- ...die gleiche **Funktion** erfüllen.
- ...äquivalente **Systemgrenzen** haben.
- ...identische **Ausschlusskriterien** für nicht betrachtete Inputs & Outputs haben und
- dass für den Produktvergleich eine vergleichbare **Methode für die Wirkungsschätzung** verwendet worden ist.

² Einsehbar unter: <https://ibu-epd.com/veroeffentlichte-epds/>

→ Siehe auch Modul 4 Betrachtung der Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus.

Tipp: Video des Instituts Bauen und Umwelt e.V. „Was ist eine EPD? Umwelt-Produktdeklaration im Detail“ <https://youtu.be/UJDEFxH-GIhE>

ISO 14025 schreibt eine Prüfung von EPDs durch unabhängige Dritte vor, d. h. unabhängige GutachterInnen überprüfen das Ziel, die Eingangsdaten, die Ergebnisse usw. Weiterführende Informationen zur Vergleichbarkeit und Zuverlässigkeit von EPDs finden sich in ISO 14025:2006 (alle Branchen) und EN 15804 (Baubranche).

Unterschied Umweltgütesiegel und Umweltproduktdeklarationen

Umweltgütesiegel zeichnen Produkte aus, die im Branchenvergleich hinsichtlich ihrer Umweltperformance besser abschneiden, also die weniger negative Umweltauswirkungen im Vergleich zu gleichartigen Produkten verursachen.

Umweltproduktdeklarationen (EPDs) informieren über die ermittelten Umweltauswirkungen auf Basis einer Ökobilanz und stellen per se keine positive Auszeichnung dar. Vergleichbar sind die Ergebnisse einer EPD, wenn der gewählte Untersuchungsrahmen für das Produkt gleich ist, z. B. von der Wiege bis zur Bahre (Rohstoffgewinnung bis nach Gebrauch) und dieselben PCRs zugrunde liegen.

2. Gebäudebewertungssysteme

In Stadtentwicklungs- und Immobilienprojekten spielen Gebäudebewertungs- und -zertifizierungssysteme eine große Rolle, zum Beispiel bei Ausschreibungen oder Gewährung öffentlicher Subventionen. Die Umweltauswirkungen einzelner Bauprodukte tragen zur gesamten Umweltperformance von Gebäuden bei und sind somit integraler Bestandteil von Zertifizierungssystemen. Bei den Bewertungssystemen liegt der Hauptfokus jedoch hauptsächlich auf der Energieeffizienz von Gebäuden während ihrer Nutzungsphase. Mittlerweile ist jedoch ein Trend hin zur ganzheitlichen Betrachtung erkennbar, die auch die Bewertung von vorhandener Infrastruktur, Wohnkomfort und Ressourceneffizienz miteinschließt.

Kreislauffähigkeit ist in den etablierten Gebäudezertifizierungssystemen als Bewertungskriterium zurzeit nur in einzelne Teilbereiche integriert, z. B. in Form des Anteils von verbauten Recyclingmaterialien und nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRos). Im Zentrum der Betrachtung liegen derzeit die Vermeidung schädlicher Inhaltsstoffe und die Energieeffizienz in der Nutzungsphase.



Murmelgruppen: Mit welchen Fragen kann man testen, inwieweit die Schonung von Ressourcen in einem Gebäude-Zertifizierungssystem geprüft wird?

- Berücksichtigt das Zertifizierungssystem Produkte, die z. B. die Kreislauffähigkeit des Gebäudes unterstützen?
- Berücksichtigt das Zertifizierungssystem, wie das Produktdesign der Komponenten dazu beiträgt, Ressourcenflüsse zu vermindern, zu verlangsamen und zu schließen?
- Wie wird die Kreislauffähigkeit des Gebäudes untersucht?

Jetzt seid ihr dran: Welche Fragen würdet ihr stellen?

Nachhaltigkeit von Gebäuden

Nachhaltige Gebäudestandards sind in der Baubranche etabliert und fördern die Optimierung des Energieverbrauchs, die Verbesserung der Umweltauswirkungen von Gebäuden, die Qualität der Innengestaltung und die optimale Nutzung von Gebäuden. Sie alle betrachten die Aspekte Energie, Material, Wasser und Boden, Innenraum und Betrieb. Unterschiede zwischen den Zertifizierungssystemen ergeben sich aus der Methode der Datenaggregation und ihrer Gewichtung. Das Konzept vom „Green Building“ wurde zum „Sustainable Building“ weiterentwickelt, was bedeutet, dass auch soziale und ökonomische Kriterien in manche Zertifizierungssysteme einfließen, wie z. B. das Vorhandensein von Infrastruktur wie Kindergärten oder Schulen oder die Kostenentwicklung in der Nutzungsphase. Im Folgenden werden die international am weitesten verbreiteten und die für Österreich relevanten Zertifizierungssysteme vorgestellt.

BREEAM[®]

Das erste Zertifizierungssystem, das die Nachhaltigkeit von Gebäuden beurteilt, wurde mit **BREEAM** 1990 ins Leben gerufen. Ihr Gründer ist die BRE Group mit Ursprung im Vereinigten Königreich. Das weltweit verwendete Zertifizierungssystem BREEAM international ist für verschiedene Gebäudetypen verfügbar. Die Nachhaltigkeit von Gebäuden wird anhand von zehn Kategorien bewertet, die jeweils in Unterpunkte mit spezifischen Zielen und Anforderungen untergliedert sind.³ Ausgewählte Kategorien sind z. B. Health and Wellbeing, Energy, Water, Materials, Waste, Land Use and Ecology, Pollution.

Mitte der 90er wurde von zwei Kanadiern basierend auf BREEAM die **Green Building Challenge** ins Leben gerufen, eine globale Plattform für die Weiterentwicklung von Gebäudebewertungssystemen. Diese Plattform zog die Entwicklung zahlreicher nationaler

Gebäudebewertungssysteme nach sich, zum Beispiel das US-Amerikanische System LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

LEED ist das weltweit am weitesten verbreitete Zertifizierungssystem und kann für Neubauten sowie für Sanierungen verwendet werden. Es ist dem Green Building Council der USA unterstellt⁴.



Die Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

(ÖGNB) hat ein Optimierungsinstrument namens **Total Quality Building (TQB)** entwickelt, das sowohl für die Design- und Planungsphase als auch für die Qualitätssicherung während der Errichtung und für die Validierung von Nachhaltigkeitskriterien nach der Übergabe geeignet ist. Die Ergebnisse werden in einem Zertifikat dokumentiert und machen die nachhaltigen- und umweltbezogene Qualität eines Gebäudes sichtbar und vergleichbar. Das System beinhaltet fünf Kategorien:

- Standort & Ausstattung
- Wirtschaft & technische Qualität
- Energie & Versorgung
- Gesundheit & Komfort
- Ressourceneffizienz

Gebäudedaten		
A	Standort & Ausstattung	200 0
B	Wirtschaft & techn. Qualität	200 0
B.1	Wirtschaftlichkeit im Lebenszyklus <small>[mehr Informationen]</small>	100 0
B.2	Baustellenabwicklung <small>[mehr Informationen]</small>	30 0
B.3	Flexibilität und Dauerhaftigkeit <small>[mehr Informationen]</small>	40 0
B.4	Brandschutz	30 0
C	Energie & Versorgung	200 0
D	Gesundheit & Komfort	200 0
E	Ressourceneffizienz	200 0
E.1	Vermeidung kritischer Stoffe	50 0
E.2	Regionalität, Recyclinganteil, Zertifizierte Produkte	50 0
E.3	Umwelteffizienz des Gesamtgebäudes	60 0
E.4	Entsorgung	60 0

Abb. 1: Bewertungskategorien TQB - Total Quality Building Standards zur Gebäudebewertung⁵

³ <https://www.ibo.at/gebaeudebewertung/breem/>

⁴ <https://new.usgbc.org/leed>

⁵ <https://www.oegnb.net/de/tqbtest.htm>

In jeder der fünf Kategorien sind jeweils 200 Punkte zu erreichen. Als eigene Kategorie wird die Ressourceneffizienz gleich wie die anderen Kategorien gewichtet. Ein Entsorgungsindikator berücksichtigt den Primärenergieinhalt an nicht-erneuerbaren Ressourcen (PEI n.e.), das Treibhauspotential (GWP) und das Versauerungspotential (AP) der verbauten Materialien. Die Lebensdauer eines Gebäudes wird mit 100 Jahren festgelegt.

monitor aspern – ein eigen entwickeltes Bewertungstool für diesen neuen Stadtteil in Wien
<https://monitor.aspern-seestadt.at/>



Für die Gebäudebewertung in der Seestadt Aspern wurde ein eigenes System entwickelt, das sämtliche Qualitätskriterien der ÖGNB beinhaltet und gleichzeitig vereinfacht wurde, was die Nachweisebringung zur Erfüllung der Kriterien entlang der einzelnen Entwicklungs- und Umsetzungsphasen vereinfacht.

Foto: Bernhard Siquans, <https://monitor.aspern-seestadt.at/>



Es internationale Bestrebungen, **Kriterien zur Abbildung von Ressourcenschonung und Kreislauffähigkeit in die Bewertung von Gebäuden zu etablieren**. Der starke Fokus auf Energieeffizienz verschiebt sich damit etwas in Richtung Ressourcenschonung. Im Bereich der thermischen Sanierung und Senkung des Energiebedarfs von Gebäuden wurden bereits große Erfolge erzielt, nun soll die Entwicklung in Richtung Ressourcenschonung, Abfallvermeidung und Langlebigkeit von Komponenten und Gebäuden forciert und damit ein **langfristiger Beitrag zum Klimaschutz** und zur **Sicherung des Rohstoffbedarfs** erreicht werden.

Aktuelle Entwicklungen



Der Fokus des österreichischen klimaaktiv Gebäudestandards liegt derzeit auf Energieeffizienz und Klimarelevanz (die Erfüllung der Kriterien ermöglicht 500 von 1000 Punkten). Kriterien zur Bewertung der Kreislauf- und Rückbaufähigkeit von Gebäuden werden in einer überarbeiteten Version integriert und sollen im Jahr 2020 vorliegen. Derzeit sind für die Baustoffe und die Konstruktion maximal 150 Punkte erreichbar, die Gewichtung wird sich in der überarbeiteten Version etwas in Richtung Rückbaufähigkeit verschieben.

Die Schwerpunkte der gängigen Systeme zur Gebäudebewertung und -zertifizierung sind verschieden und Kriterien werden unterschiedlichen Kategorien zugeordnet. Dadurch ist eine genaue Vergleichbarkeit schwer möglich. Aufgrund der Dynamik der Systeme und vielschichtigen Bestrebungen zur Weiterentwicklung der Bewertungskriterien in Richtung Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft sind aktuelle Entwicklungen den facheinschlägigen Publikationen und den Webpages der jeweiligen Bewertungs- und Zertifizierungssystemen zu entnehmen.

Die Nachhaltigkeit von Büro- und Wohngebäuden entlang ihres Lebenszyklus kann mithilfe der zentralen Nachhaltigkeitsindikatoren des europäischen Bewertungssystems **Level(s)**⁶ ermittelt werden. Im Gegensatz zu anderen Zertifizierungssystemen ist die Optimierung der Kreislauffähigkeit eines der sechs Hauptziele von Level(s).

Die Kriterien des DGNB Zertifizierungssystems der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen wurde bereits um Kriterien zur Abbildung der Kreislauffähigkeit weiterentwickelt, das Österreichische Pendant ÖGNI zieht nach.⁷

⁸ Die Rückbau- und Kreislauffähigkeit wurde in

⁶ Siehe dazu den Level(s)-Folder: [http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Level\(s\)_factsheet-DE-web.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Level(s)_factsheet-DE-web.pdf)

⁷ <https://www.dgnb-system.de/de/system/>

⁸ DGNB 2019, Circular Economy Report 2019

der Bau- und Zertifizierungsbranche als notwendig und zukunftssträchtig erkannt.

Erstrebenswert ist eine vertiefende Weiterentwicklung der Zertifizierungssysteme in Richtung Kreislaufwirtschaft, wo ein reduzierter Ressourcenverbrauch, Möglichkeiten der Verlängerung der Nutzungsdauer und Alternativen zur Entsorgung der Komponenten am Ende der Nutzungsdauer berücksichtigt werden. Die Rückbaufähigkeit und Wiederverwendbarkeit stellen hier ein zentrale Kriterien dar, welche durch die Gestaltung des Gebäudes, der Baustoffwahl, das Produktdesign und der Verbindungstechnik wesentlich beeinflusst wird. Das im Zuge dieses Projektes entwickelte **Excel Tool mit Checklisten zur kreislauffähigen Gebäudekonstruktion** liefert hier inhaltlichen sowie methodischen Input zur Bewertung und Abbildung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden. (→ siehe Modul 3 Lerntool zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden)

Das Tool ermöglicht die Bewertung von Gebäuden hinsichtlich Ihrer Kreislauffähigkeit und gibt Hinweise zur Optimierung. Das Tool kann sowohl für Gebäude in der Planungsphase als auch für die Bewertung bestehender Gebäude verwendet werden. Es fasst die wichtigsten Erkenntnisse aus der Fachliteratur zur Thematik des ressourceneffizienten Bauens zusammen und zeigt Best-Practice-Beispiele aus der Baupraxis auf. Aus Modul 2 wurden vor allem die Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens und das Schichtenmodell von Gebäuden aufgegriffen.

Für den Kreislaufgedanken im Baubereich ist es entscheidend, dass Gebäude nicht als unveränderbare monolithische Blocke verstanden werden. Vielmehr bestehen Gebäude aus Schichten, die sich in ihrer Funktion unterscheiden und unterschiedliche Lebensdauern haben. Unterschieden wird dabei zwischen den folgenden Schichten:

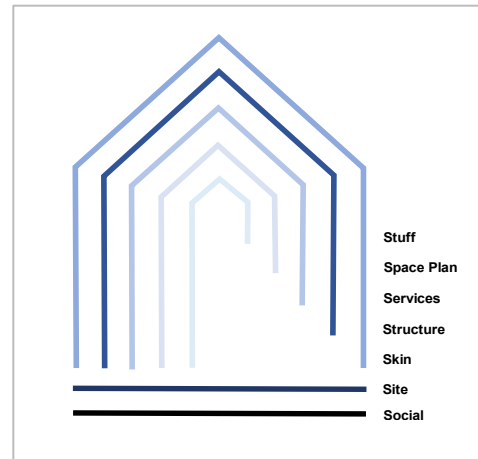


Abb. 2: Schichtenmodell eines Gebäudes

Mittels Durcharbeitens der Bewertungsfragen, Ermittlung deren Priorität und Erfüllungsgrad erhält man eine Einschätzung hinsichtlich der Kreislauffähigkeit als Ergebnis.

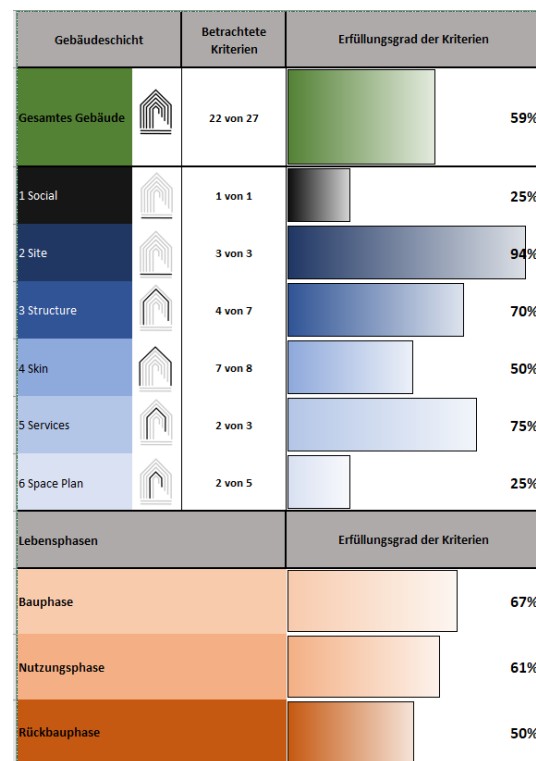


Abb. 3: Beispielhaftes Ergebnis im entwickelten Tool zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden

Ziel ist es durch eine nachvollziehbare Methodik, Gebäude und deren Ressourcenverbrauch verständlich zu machen, um selbstständig die entscheidenden Stellhebel für Verbesserungen zu identifizieren. (→ siehe Modul 2 Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens)

3. Quantifizierung von Kreislauffähigkeit und des Abfallvermeidungspotentials

Zur Beurteilung der Kreislauffähigkeit wählen Institutionen und Wissenschaftler verschiedene Herangehensweisen. Eine ist die Betrachtung der Produkte und Komponenten und dafür sind unterschiedliche Methoden und Indikatoren in Entwicklung, ausgewählte werden hier thematisiert (Tabelle 2 und Kap. 4). Dabei ist zu beachten, dass die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) nicht per se ein Tool für die Evaluierung der Kreislauffähigkeit eines Produktes ist, sondern die potenziellen Umweltauswirkungen eines Produktes ermittelt (*→ siehe dazu auch Modul 4 Betrachtung der Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus*). Nachdem Kreislaufwirtschaft jedoch zu einem wichtigen Thema in der Branche wurde, haben LCA-Consultingunternehmen begonnen Kreislaufwirtschaftsindikatoren in ihre Programme zu integrieren. Beispielsweise hat der Material Circularity Indicator (MCI) in die Bilanzierungsprogramme GaBi und SimaPro Eingang gefunden.



Abb. 4: MCI – Material Circularity Indicator (Ellen MacArthur Foundation, 2017)

Der MCI wurde in Kooperation mit der Ellen McArthur Foundation und dem britischen Unternehmen Granta Design 2015 entwickelt, in Kooperation mit internationalen Unternehmen angewandt und 2019 überarbeitet.

Die Berechnung des MCI auf Produktebene erfolgt unter Berücksichtigung⁹:

- des Einsatzes an Primärmaterialien (V virgin material),
- des Abfalles der direkt zugeordnet und nicht rückgewonnen wird (W waste),
- eines Nutzungsfaktors (X) zur Ermittlung der Länge und Intensität der Nutzung und
- der Ermittlung der Linearität mittels eines linear flow index (LFI), der den Grad der Kreislauffähigkeit angibt

Material Circularity Indicator (MCI) zielt auf die **Reduktion der Materialflüsse eines Produktes ab und basiert auf sechs Prinzipien:**

- i) Einsatz nachwachsender Rohstoffe
- ii) Einsatz von Sekundärmaterialien – Wiederverwendung und Recycling
- iii) Verlängerung der Nutzungsdauer – Wiederverwendung von Teilen/Erhöhung der Langlebigkeit/Rücknahme und Wiederaufbereitung
- iv) Wiederverwendung und Recycling nach Lebensende des Produktes
- v) Intensivierung der Nutzung des Produktes durch Teilen, Angebot an Services oder Nutzen/Performance
- vi) Sicherstellung der Verfügbarkeit natürlicher Materialien, Vermeidung von Kontamination

Zur intensiveren Auseinandersetzung mit Circular Economy und Circular Design werden die Unterlagen der Ellen McArthur Foundation empfohlen.¹⁰

Zum Ausprobieren ist eine Excel Version zur Ermittlung des Material Circularity Indicators verfügbar (siehe auch nächstes Kapitel).¹¹

⁹ EllenMacArthur Foundation, 2019

¹⁰<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/learn/schools-colleges-resources>

¹¹<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/ce100/co-projects/material-circularity-indicator>

Tab. 2: Kreislaufwirtschaftsindikatoren und ihre Charakteristika im Vergleich zur Lebenszyklusanalyse

Charakteristika	Lebenszyklusanalyse (LCA)	Circular Economy Toolkit (CET)	Material Circular Indicator (MCI)
Beschreibung	Evaluiert mögliche Umweltauswirkungen von Produkten entlang ihres Lebenszyklus (von der Rohstoffgewinnung bis zum Nutzungsende).	Identifiziert und schätzt das Verbesserungspotenzial von Produkten hinsichtlich ihrer Kreislauffähigkeit und bietet Empfehlungen für jeden Schritt des Lebenszyklus.	Methode zur Abschätzung der Kreislauffähigkeit von Produkten und Dienstleistungen, erlaubt den Vergleich von Produkten mit industriellen Standards.
Anwendung	Kommerzielle Berechnungstools (z.B. GaBi, SimaPro) und Datenbanken wie ecoinvent.	Dynamische Website	Excel-Tabelle
Benötigte Daten	Material- und Energieinputs; Prozesse und Abfall aus jedem Teils des Produktsystems.	33 Fragen mit sieben Unterkategorien zu den Lebenszyklusphasen des Produktes müssen beantwortet werden.	Anteile primärer, rezyklierter und wiederverwendeter Materialien, Angaben zur Nutzung des Produktes (Verwendung, Verwendungsintensität, Langlebigkeit, Wartung und Reparatur) und Verbleib am Nutzungsende (Verwertung oder Beseitigung) sowie die Effizienz der Verwertung.
Ergebnisse	Wirkungsabschätzung: Auswirkungen des Produkts auf die Wirkungskategorien (z. B.: Klimawandel, Ozonabbau)	Verbesserungspotenzial innerhalb der sieben Unterkategorien (hoch, mittel oder niedrig)	Der MCI ist ein Einzelwert zwischen 0 und 1 (höhere Werte bedeuten eine höhere Kreislauffähigkeit)
Weiterführende Informationen	ISO 14040:2006 und ISO 14044:2006	Circular Economy Toolkit, 2013	Ellen McArthur Foundation, 2019

4. Praktische Übungen zur Ermittlung der Kreislauffähigkeit

Beispiel 1: Methoden und Indikatoren zur Bewertung der Kreislauffähigkeit

Material Circularity Indicator

Die in Kapitel 3 beschriebenen sechs Prinzipien zur Abbildung der Kreislauffähigkeit werden mit Hilfe eines Excel Tools zum so genannten Material Circularity Indicator (MCI) aggregiert. Ein ermittelter MCI von 1 bedeutet, das Produkt ist zur Gänze kreislauffähig, d. h. die Materialien können wiederverwertet (Recycled) oder das Produkt kann gesamt oder in Teilen wiederverwendet (Reused) werden. Die Lebensdauer (Lifespan) und die Intensität der Nutzung des Produktes (functional units) im Vergleich zum Industriedurchschnitt haben ebenfalls Einfluss auf das Endergebnis.

Abb. 5: Eingabemaske des Material Circularity Indicator - MCI¹²

Untenstehende Abbildungen zeigen beispielhaft die Beurteilung der Kreislauffähigkeit eines Tablets mittels MCI. Als praktische Aufgabe soll ein Beispiel zu einem Bauprodukt erstellt werden.

	Baseline tablet	Redesigned tablet
Bill of materials	<ul style="list-style-type: none"> Plastic casing Front glass cover Electronic components 	<ul style="list-style-type: none"> Aluminium casing Front glass cover Electronic components
Mass	0.68 kg	0.74 kg
Feedstock materials	100% virgin materials 0% recycled materials 0% reused components	58.3% virgin materials 0% recycled materials 41.7% reused components
Destination after use	100% to landfill 0% to recycling 0% to reuse	58.3% to landfill 0% to recycling 41.7% to reuse

	Baseline tablet	Redesigned tablet
Material Circularity Indicator	0.10	0.46
Carbon footprint (CO₂eq)	20.0 kg	19.6 kg
REACH Article 33 obligations	Highest risk substance 1.3% by weight	Highest risk substance 0.53% by weight
Average annual price variation over the past 5 years	±30% of average price	±30% of average price
Material supply risk - conflict materials	22 parts containing elements with high risk	22 parts containing elements with high risk

Abb. 6: Vergleich Ausgangsszenario und Re-Design eines Tablets inkl. ermittelten MCI (rechts)¹³

Zum Einstieg: Vergleich der Ergebnisse des ermittelten MCI eines Tablets



Diskutiert, ob sich eurer Meinung nach die Kreislauffähigkeit des Tablets aus obigen Abbildungen signifikant verbessert hat. Was glaubt ihr, hatte den größten Einfluss zur Änderung des MCI von 0,10 zu 0,46?

¹² <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/ce100/co-projects/material-circularity-indicator>

¹³ EllenMacArthur Foundation and Granta Design, 2019

Circular Economy Toolkit

Das **Circular Economy Toolkit** (CET) stellt ein Hilfsmittel zur Ermittlung von Handlungsmöglichkeiten in Richtung Kreislaufwirtschaft für Unternehmen dar. Mit einem einfachen Bewertungstool kann die Verbesserung der Kreislauffähigkeit von Produkten abgeschätzt werden. Dazu müssen Fragen zu den Lebenszyklusphasen des gewählten Produktes beantwortet werden. Die folgende Abbildung zeigt die vereinfachte Beurteilung des Verbesserungspotentials der Kreislauffähigkeit am Beispiel eines Parkettbodens.

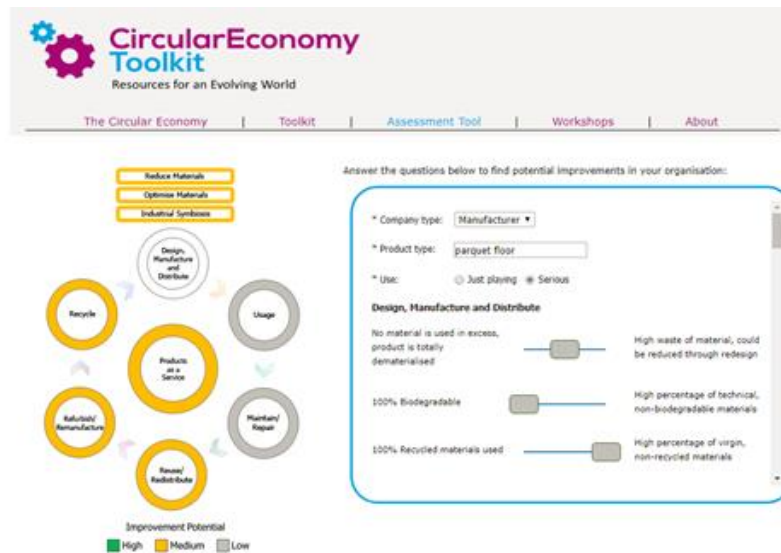


Abb. 7: Verbesserungspotential der Kreislauffähigkeit eines Parkettbodens, CET Assessment Tool¹⁴

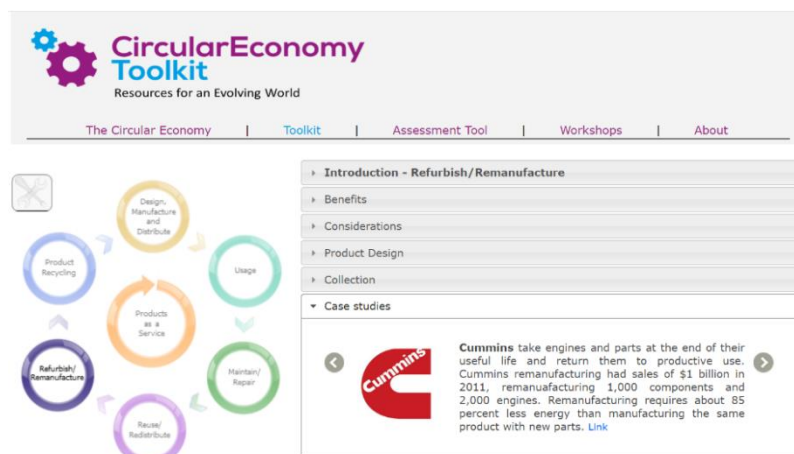


Abb. 8: Informationen zu Verbesserungsmöglichkeiten entlang des Lebenszyklus, CET Toolkit¹⁵

Unter dem Reiter „Toolkit“ werden die Verbesserungsmöglichkeiten für die einzelnen Lebensphasen eines Produktes erklärt. Dabei wird sich auf das Produktdesign bezogen, um konkrete Ansatzpunkte für die Verbesserung zu finden. Das Circular Economy Toolkit kann in den Unterricht integriert und von den Schülern und Schülerinnen in einer praktischen Übung angewendet werden. Als Beispielprodukte eignen sich Produkte, die bekannt sind oder von denen zugängliche Informationen vorhanden sind, um die Fragen beantworten zu können.

¹⁴ <http://circulareconomytoolkit.org/>

¹⁵ <http://circulareconomytoolkit.org/>

Aufgabe 1: Anwendung MCI und Circular Economy Toolkit am Beispiel eines Bauproduktes



Wählt EPDs von zwei Bauprodukten aus, z. B. über die Datenbanken von The International EPD System¹⁶ oder Bau-EDP¹⁷, oder verwendet die Feinsteinzeug-Fliese aus Modul 4. EPDs sind hilfreich, da sie detaillierte Produktinformationen enthalten und somit bei der Beantwortung der Fragen und Abschätzung der Bewertung hinsichtlich der Kreislauffähigkeit in den Tools helfen. Es können auch andere relevante Produkte ausgewählt werden.

- Illustriert den möglichen Lebenszyklus eurer Produkte. Überlegt euch dabei, was am Lebensende alles passieren könnte.
- Probiert das Circular Economy Toolkit an euren Produkten aus und berechnet den Material Circularity Indicator. Für den MCI muss zuerst das Excel-File auf der Homepage der Ellen McArthur Foundation/EMF heruntergeladen werden¹⁸. Das CET ist online auszufüllen¹⁹.
- Beschreibt, was ihr an den beiden Tools mögt und was nicht. Was war einfach, was schwierig auszufüllen? Analysiert die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Bewertung der beiden Tools. Wo seid ihr bei der Auswertung auf Probleme gestoßen?
- Diskutiert, wie aussagekräftig die Bewertung der Produkte mit den beiden Tools ist!
- Überlegt Verbesserungsmöglichkeiten für die gewählten Produkte. Wie kann der Ressourcenverbrauch gesenkt und die Kreislauffähigkeit der Produkte erhöht werden?

¹⁶ <https://www.environdec.com/EPD-Search/>

¹⁷ <http://www.bau-epd.at/de/alle-EPD/>

¹⁸ MCI Product-Level: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/circularity-indicators>

¹⁹ Circular Economy Toolkit: <http://circulareconomytoolkit.org/Assessmenttool.html>

Beispiel 2: Gebäudezertifizierung und Kreislauffähigkeit von Gebäuden

Baubook und eco2soft - Gebäuderechner

In der Testversion von eco2soft²⁰ können die Bilanzierungsergebnisse von Beispielgebäuden in Österreich verglichen werden. Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Ökobilanz eines verbauten Plattenfundaments, die nachfolgende jene des gesamten Beispielgebäudes. Der **Ökoindikator OI3**, der auf Kennwerten der IBO-Baustoffdatenbank basiert, bewertet die ökologische Qualität von Materialien anhand der Umweltindikatoren **Primärenergieinhalt nicht-erneuerbarer Ressourcen (PEI n. e.)**, **Treibhauspotenzial (GWP)** und **Versauerungspotenzial (AP)** (s. Abb. 9 und 10)²¹. Der Oekoindex OI3 kann für Baustoffe, Konstruktionen und gesamte Gebäude berechnet werden, die Software eco2soft unterstützt dabei. Nähere Informationen sind der Webpage des IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie und den begleitenden Dokumenten zum OI3 und Baubook zu entnehmen.²²

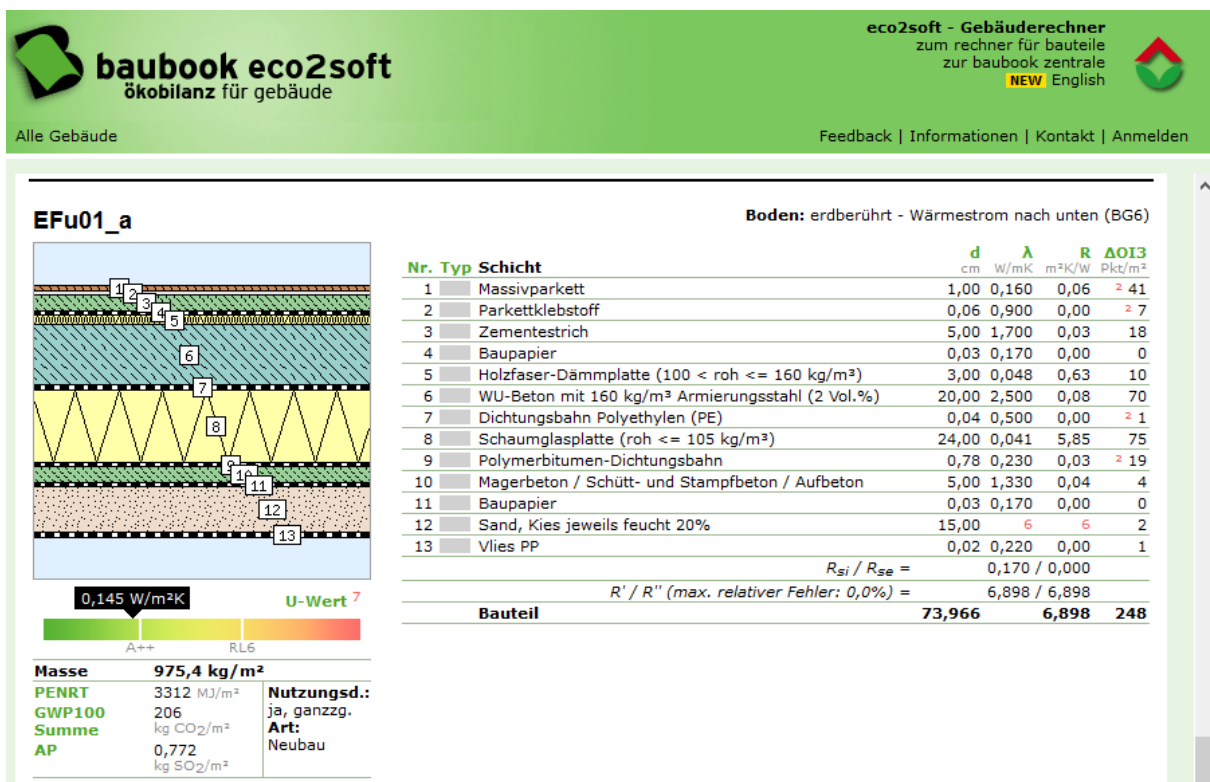


Abb. 9: Beispielhafte LCA eines unterseitig gedämmten Plattenfundaments (Nassestrich)

Aufgabe 2: Schaut euch eco2soft an.

Geht dazu auf folgende Seite: <https://www.baubook.info/eco2soft/>



- Wählt ein Beispielgebäude aus und analysiert, wo seine Schwachstellen in Bezug auf Rückbaufähigkeit und Langlebigkeit liegen könnten.
- Wie schneidet das Gebäude hinsichtlich des Ressourcenverbrauches und des Abfallvermeidungspotentiales ab?
- Wie könnten die Ergebnisse verbessert werden?

Vergleicht die Ergebnisse der Analyse und eure Erkenntnisse zu zweit oder in der Gruppe. Diskutiert in der Klasse, wie einfach oder schwierig es ist, Ressourcenschonung und Abfallvermeidung abzubilden.

²⁰ <https://www.baubook.info/eco2soft/>

²¹ https://www.baubook.info/Download/e2s/OI3_Berechnungsleitfaden_V3_de.pdf

²² <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekoindex-oi3/>

Neubau
BGF: 158,24 m²
BZF (OI3): 158,24 m²
lc: 1,45 m

Test- und Studierendenversion, nicht für kommerzielle Zwecke

➔ Anmelden und kostenpflichtige Vollversion bestellen



Opake und transparente Bauteile

		ΔOI3		PENRT GWP100 S		AP
		BG6, BZF pro m ² Bt		MJ kg CO ₂ equ. kg SO ₂ equ.		
Menge	Bauteil			pro m ² BZF (OI3)		
212,20 m ²	AWI03_a	102	76	1.643	-4	0,36
79,12 m ²	DAI05_a	73	146	1.123	16	0,25
21,00 m ²	Dreifach_Ar_Holz_Passiv	34	258	358	19	0,14
59,75 m ²	EAm04_a1m_a	81	213	1.206	62	0,23
30,25 m ²	EAm04_b1m_a	57	299	836	45	0,16
79,12 m ²	EFu01_a	124	248	1.656	103	0,39
79,12 m ²	GDI01_a	62	124	835	14	0,24
134,86 m ²	IWI01_a	23	27	318	7	0,08
79,12 m ²	KDI01_a	60	120	868	10	0,22
Summe				8.844	272	2,07



Haustechnik

		ΔOI3		PENRT GWP100 S		AP
		BG6, BZF pro m ² Bt		MJ kg CO ₂ equ. kg SO ₂ equ.		
Menge	Bauteil			pro m ² BZF (OI3)		
Summe				0,00	0,00	0,00

Test- und Studierendenversion, nicht für kommerzielle Zwecke

➔ Anmelden und kostenpflichtige Vollversion bestellen



Gebäude gesamt

		OI3		PENRT GWP100 S		AP
		BG6, BZF		MJ kg CO ₂ equ. kg SO ₂ equ.		
				pro m ² BZF (OI3)		
		616		8.844	272	2,07

Abb. 10: Beispielhafte LCA eines Gebäudes mit eco2soft

Aufgabe 3: Schaut euch den Baubook-Gebäuderechner an.

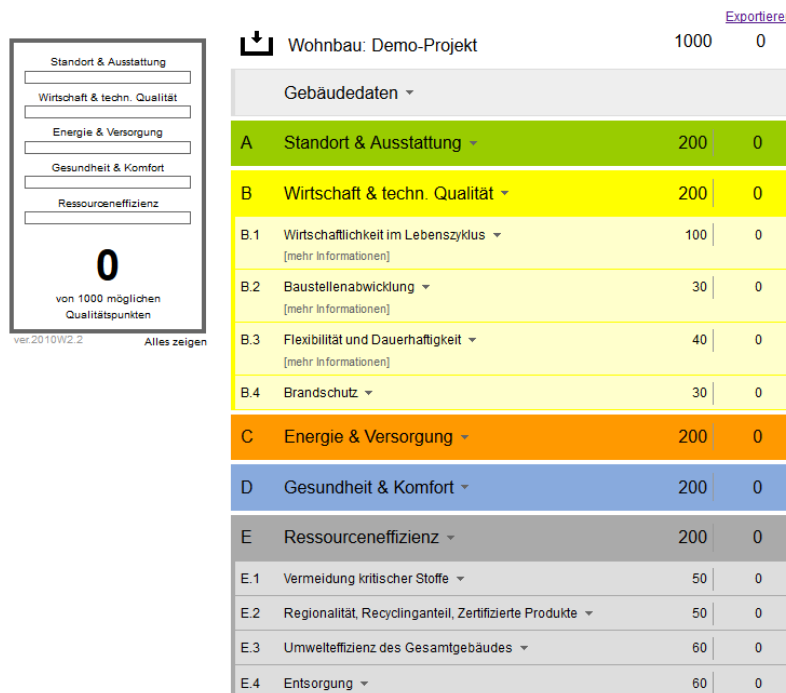
Geht dazu auf folgende Seite: <https://www.baubook.info/BTR/>



- Wählt zwei Bauprodukte aus, die den gleichen Zweck erfüllen. Definiert ihre Funktion und funktionelle Einheit (→ siehe auch Modul 4 Betrachtung der Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus).
- Beschreibt die Umweltauswirkungen der beiden Bauprodukte.
- Diskutiert, in welchen Situationen ihr euch für das eine und in welchen für das andere Produkt entscheiden würdet.

Total Quality Building

Der **Entsorgungsindikator EI** wurde vom IBO für die einheitliche Beurteilung der Entsorgungseigenschaften von Bau- und Werkstoffen auf Gebäudeebene erstellt. In der semiquantitativen Methode werden der aktuelle Entsorgungsweg einer Bauteilkomponente bzw. das Verwertungspotenzial, das bei Verbesserung der Rahmenbedingungen bis zum angenommenen Zeitpunkt der Entsorgung des Bauprodukts aus wirtschaftlicher und technischer Sicht möglich wäre, auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet. Je höher der Aufwand für den Rückbau und die Verwertung und je negativer die Auswirkungen der Entsorgung auf die Umwelt sind, umso schlechter die Einstufung auf Baustoffebene (ähnlich einer fünfteiligen Notenskala). Der Entsorgungsindikator spielt eine wesentliche Rolle in den Gebäude-Bewertungsprogrammen klimaaktiv Bauen und Sanieren und Total Quality Building (TQB).²³



Wohnbau: Demo-Projekt		1000	0
Gebäudedaten ▾			
A	Standort & Ausstattung ▾	200	0
B	Wirtschaft & techn. Qualität ▾	200	0
B.1	Wirtschaftlichkeit im Lebenszyklus ▾ <small>[mehr Informationen]</small>	100	0
B.2	Baustellenabwicklung ▾ <small>[mehr Informationen]</small>	30	0
B.3	Flexibilität und Dauerhaftigkeit ▾ <small>[mehr Informationen]</small>	40	0
B.4	Brandschutz ▾	30	0
C	Energie & Versorgung ▾	200	0
D	Gesundheit & Komfort ▾	200	0
E	Ressourceneffizienz ▾	200	0
E.1	Vermeidung kritischer Stoffe ▾	50	0
E.2	Regionalität, Recyclinganteil, Zertifizierte Produkte ▾	50	0
E.3	Umwelteffizienz des Gesamtgebäudes ▾	60	0
E.4	Entsorgung ▾	60	0

Abb. 11: Kategorien zur Bewertung der Ressourceneffizienz im TQB/ÖGNB-Tool

Aufgabe 4: Schaut euch die Testversion des TQB-Tools an (siehe obige Abbildung).

Geht dazu auf folgende Seite: <https://www.oegnb.net/tqbttest.htm>



- In welchen Kategorien sind Ressourcenschonung bzw. Abfallvermeidung erfasst?
- Wählt zwei fiktive/reale Gebäude aus, und führt eine Testbewertung durch. Welche der beiden Alternativen schneidet in der Kategorie Ressourceneffizienz besser ab? (Bitte beachtet, dass ihr eure Ergebnisse in der Testversion nicht speichern könnt, ihr könnt aber Screenshots machen.)
- Interpretation der Ergebnisse und Optimierung: Warum hat das Gebäude diese Bewertung erreicht? Wie kann diese erhöht werden?
- Bei der ÖGNB/klimaaktiv Gebäudezertifizierung wird die Lebensdauer mit 100 Jahren veranschlagt. Wie beeinflusst eine lange Lebensdauer das Bewertungsergebnis?

²³ <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/ei-entsorgungsindikator/>

Literaturverzeichnis

BAU-EPD (2019): Die Bau EPD GmbH. Verfügbar unter: <http://www.bau-epd.at/de/startseite/> [Abgerufen am 16.05.2019].

BauPVo, Verordnung EU 305/2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates

EllenMacArthur Foundation and Granta Design (2019), Circularity Indicators, An Approach to Measuring Circularity, Methodology. Verfügbar in: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Circularity-Indicators-Methodology.pdf> [Abgerufen am 31.03.2020]

DGNB 2019, Circular Economy Report 2019, Circular Economy - Kreisläufe schließen, heißt zukunftsfähig sein, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Report 2019. Verfügbar unter https://www.ogni.at/wp-content/uploads/%C3%96GNI_Report_Circular-Economy_Final_website.pdf

14024:2018 - Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Umweltkennzeichnung Typ I - Grundsätze und Verfahren (ISO)

ISO 14021:2016 - Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Umweltbezogene Anbietererklärungen (Umweltkennzeichnung Typ II)

ISO 14025:2006 - Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren

EN 15804 (Baubranche): Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte

Weiterführende Informationen zu Umweltgütesiegeln und Umweltdeklarationen

WKO (2014): Umweltinformationen für Produkte und Dienstleistungen, Freiwillige Instrumente und Kennzeichnungssysteme, Wirtschaftskammer Österreich, Wien. Verfügbar in: https://www.wko.at/service/umwelt-energie/Umweltinfo_screen.pdf [Abgerufen am 31.03.2020]

Österreichisches Umweltzeichen: <https://www.umweltzeichen.at/de/produkte/bau>

Blauer Engel: <https://www.blauer-engel.de/de>

[Internationaler Verein für zukunftsfähiges Bauen und Wohnen - natureplus e.V.:](https://www.natureplus.org/) <https://www.natureplus.org/>

[International EPD System](https://www.environdec.com/) <https://www.environdec.com/>