

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>

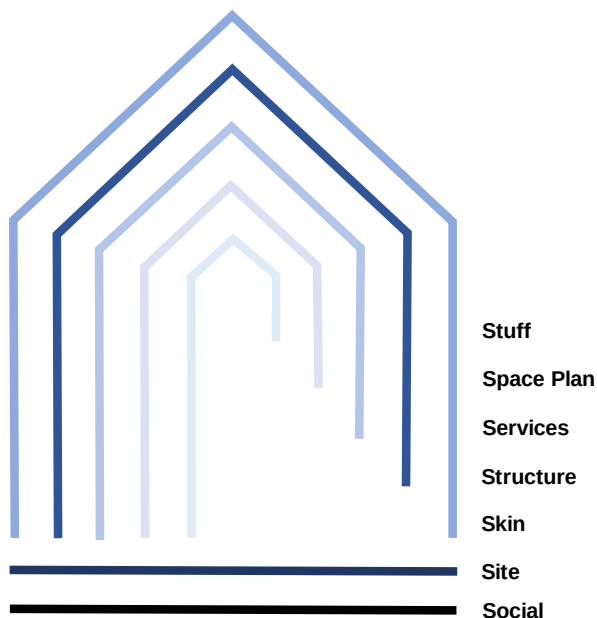
Das Gebäude als Schichtenmodell

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, der 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

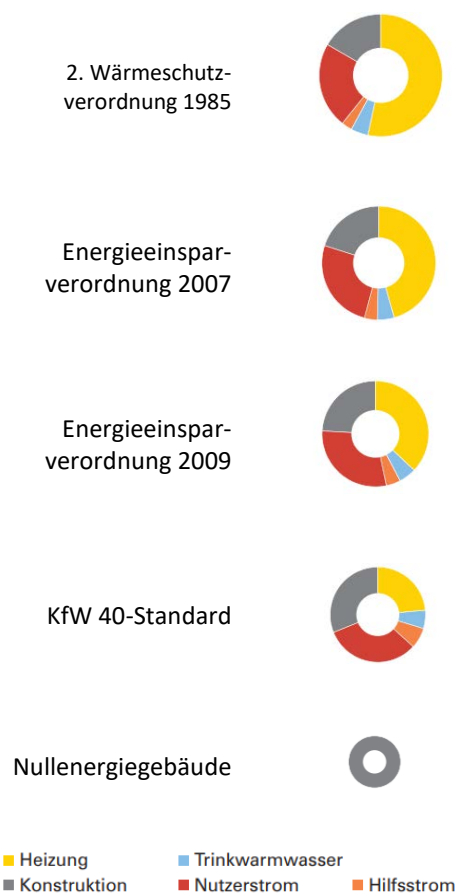
Z.B. wird beim Baustoff Mauerziegel der gesamte Energiebedarf vom Rohstoffabbau (Ton), über die Aufbereitung, Formgebung, Trocknung, das Brennen, den Vertrieb und die Lagerung bis hin zum Einbau im Gebäude zusammengerechnet.

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)

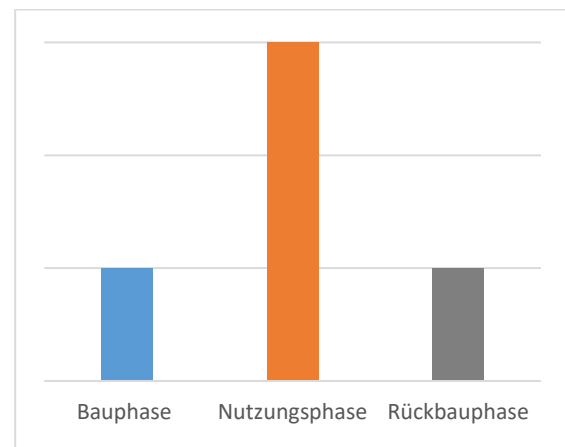
Je nach Bauweise, Nutzungsart, Lebensdauer und Rückbaubarkeit haben unterschiedliche Gebäude auch einen höchst unterschiedlichen Primärenergieverbrauch je Lebensphase. Z.B. wird bei Gebäuden mit einem hohen Energiebedarf und einer langen Lebensdauer immer noch die Nutzungsphase den größten Anteil haben.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



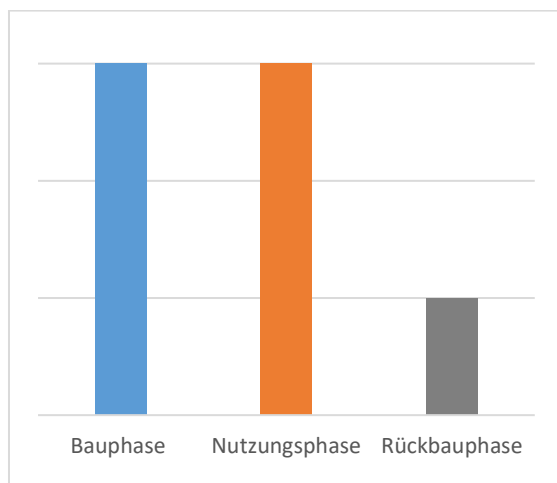
Exemplarischer Vergleich des Primärenergieinhalts von Hochenergiegebäuden

⁷ Zeumer 2016

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



Passivhaus-Wohnanlage Kaisermühlenstraße, Wien

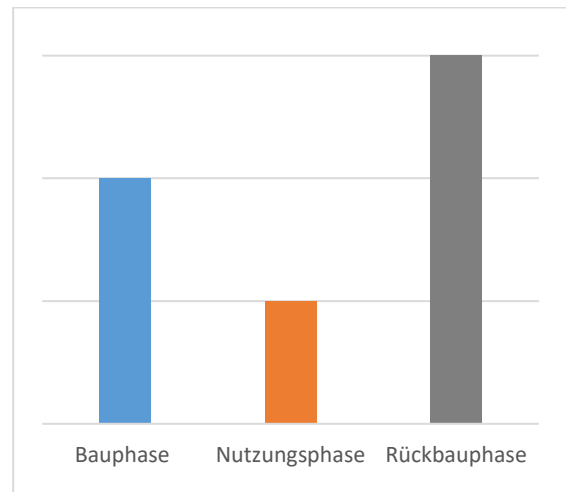


Exemplarischer Vergleich des Primärenergieinhalts von Gebäuden mit hoher Lebensdauer und geringem Energiebedarf

Temporäre Bauten (z.B. Messestände, Ausweichquartiere)



Ausweichquartier des österreichischen Parlaments, Wien

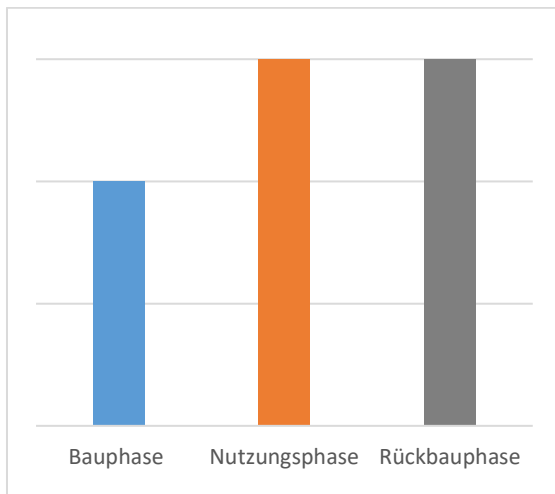


Exemplarischer Vergleich des Primärenergieinhalts temporärer Gebäude

- **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

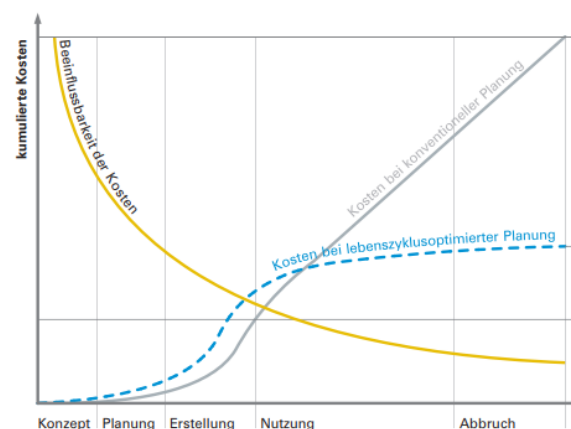
Entscheidend ist es, aus diesem Wissen die richtigen Rückschlüsse zu ziehen, d.h. schon in der Planung von Gebäuden die entscheidenden Lebensphase zu identifizieren - zumal in der Planungsphase die Einflussmöglichkeiten hinsichtlich möglicher Verbesserungen am Größten ist. Verbesserungen bedeuten in 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			
2	Gute Planung			
3	Materialaufwand minimieren			
4	Bevorzugung von nachwachsenden Rohstoffen			
5	Bevorzugung recyclingfähiger Materialien			
6	Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen			
7	Einstoffliche Bauweisen			
8	Lösbare Verbindungen und Konstruktionen			
9	Langlebige Bauteile und Materialien			
10	Flächeneffizienz			
11	Nutzungsflexibilität			
12	Reinigungs- und Instandhaltungsoptimierung			

	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

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 neu geplanten 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

⁸

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

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 [m^2], V = Volumen [m^3]). 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 m^3 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,

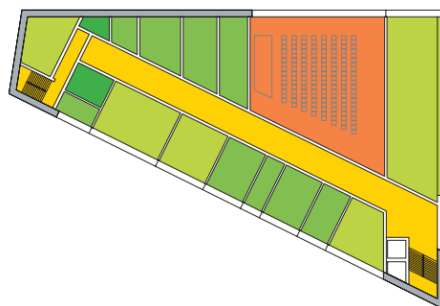
¹¹ Urban Mining Services Graz,

<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.

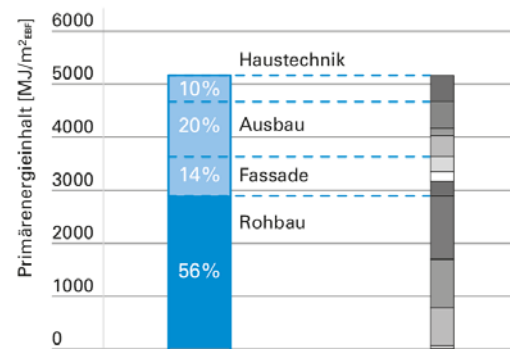


Belastungspotenzial

- 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:

- Außenwände
- Decke
- Stützen
- Untergeschoss
- Aushub

Fassade, Ausbau und Haustechnik:

- Haustechnik
- Ausbau
- Innenwände
- Dächer
- 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 kreislaforientierten 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 Neubaugstelle 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, Sanitäröbekten 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 wiedereingesetzt 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.

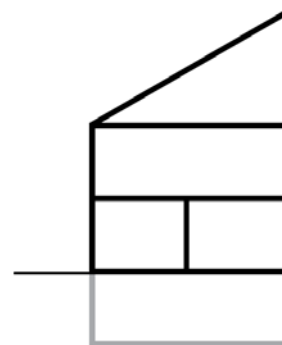
Bei einstofflichen Bauweisen wird also versucht, einen Kompromiss für diesen Konflikt zu finden. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit die bauphysikalischen Anforderungen von einem einzigen Material erfüllt werden können.

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.

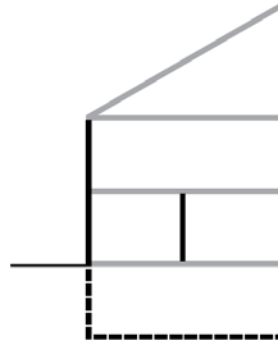
- Einstofflich möglich
- - - Mit Einschränkungen einstofflich möglich
- Nicht einstofflich möglich

Holz

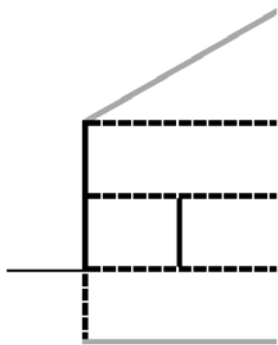


¹⁷ Dechantsreiter 2016

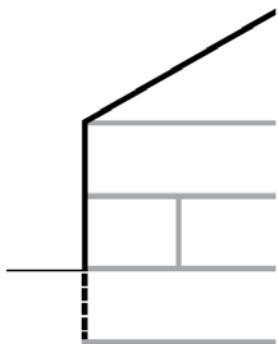
Lehm



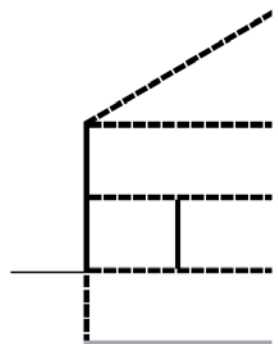
Ziegel



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)

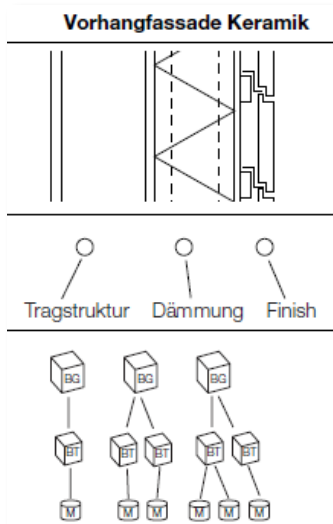
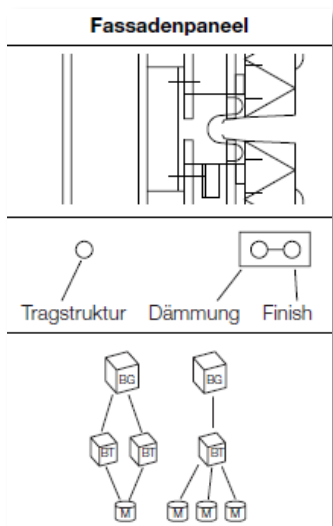
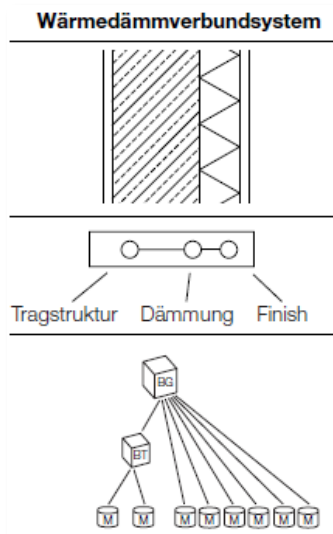
Kraft- bzw. Reibschluss: Verbindung durch Einwirkung einer Normalkraft und daraus resultierender Haftreibung (z. B. Schrauben, Nageln, Bolzen, Klemmen)

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.



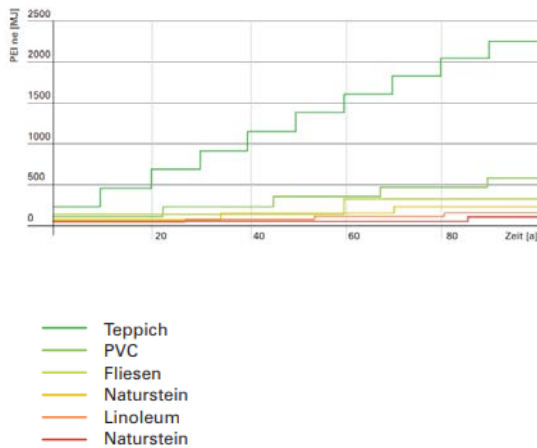
Funktionstrennung bei unterschiedlichen Außenwandkonstruktionen (BG=Baugruppe, BT=Bauteil, M=Material), adaptiert von (Hillebrandt et al.)

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.



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=ypEODEfkJxI>

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.

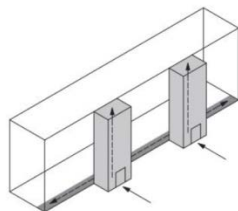
Solche Geschäftsmodelle werden als **Produkt-Dienstleistungen** bezeichnet. Neben den Leuchtmitteln gibt es im Baubereich hierfür schon zahlreiche andere Beispiele im Baubereich wo dieses Geschäftsmodell angewandt wird: Der Aufzughersteller Mitsubishi bietet vertikale Mobilität als Service an. Umso länger 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.

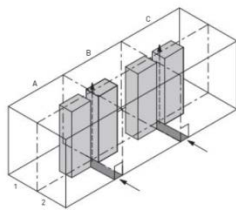
10 Flächeneffizienz

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

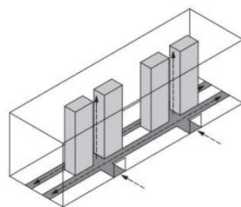
ökologische als auch ökonomische Vorteile. Zum einen gilt es, einen **möglichst hohen Anteil an Nutzflächen** zu erreichen. Dies sind all jene Anteile, die entsprechend der Zweckbestimmung des Gebäudes genutzt werden (je nach Gebäudenutzung z. B. Wohnungen, Büroflächen, Verkaufsflächen, Lagerflächen,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



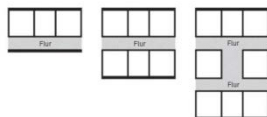
Einbündige Erschließung



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 langleblichsten. 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_Holzhochhaus_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.