



Hintergrundpapier Circular Economy im Gebäudesektor

Zirkuläre Maßnahmen im Bestand und Neubau zum Schutz von Klima- und Ökosystemen ergreifen

Einleitung

Der Gebäudesektor in Deutschland steht vor großen Herausforderungen. Einerseits gibt es in Deutschland einen Bedarf an Wohnungen, der laut Koalitionsvertrag unter anderem durch den Neubau von jährlich 400.000 Wohnungen gedeckt werden soll. Zugleich muss der Gebäudebestand aus Gründen der Energieeinsparungen weitreichend saniert werden.

Mit seinem hohen Ressourceneinsatz, Flächenbedarf, Energieverbrauch und seinen hohen Abfallmengen sowohl in der Herstellungs-, Bau- als auch in der Nutzungsphase kommt dem Gebäudesektor eine bedeutende Rolle im Klima- und Ressourcenschutz sowie im Schutz unserer Ökosysteme zu.

Zugleich stellt die Kreislaufwirtschaft einen zentralen Hebel dar, den Sektor nachhaltig umzugestalten und ein Wirtschaften innerhalb planetarer Grenzen zu ermöglichen. Berechnungen zeigen, dass eine Bauweise, die Klima- und Ressourcenschutz maßgeblich berücksichtigt, beispielsweise bei Mehrfamilienhäusern zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von etwa 37 Prozent gegenüber einer herkömmlichen Bauweise beiträgt.¹ Durch Renovierung und Bestandserhalt können sogar noch mehr Ressourcen eingespart werden.

Dieses WWF-Hintergrundpapier analysiert den aktuellen Stand des Gebäudesektors und präsentiert dann Stellschrauben einer Circular Economy^a (CE) im Gebäudesektor zum Schutz von Klima, Natur und Ressourcen vor. Daran knüpfen sich eine Reihe zentraler politischer Forderungen zur Transformation des Gebäudesektors, mit denen das Papier schließt.

Hintergrund

Der Gebäudesektor

Unter dem Begriff „Gebäudesektor“ werden alle Tätigkeiten zum Bau von Gebäuden vereint: vom Bau über den Aus- und Umbau bis hin zum Rückbau. Zudem betrifft er Vorleistungen wie Planung und Baustoffherstellung sowie Dienstleistungen und Logistik während der Bauphase, Nutzung und am Nutzungsende. Die Akteurslandschaft entlang der Wertschöpfungskette ist in Abbildung 1 dargestellt.

Im Gegensatz dazu umfasst der Bausektor neben Gebäuden auch andere Infrastruktur wie Brücken oder Straßen. Die speziellen Anforderungen und Circular-Economy-Ansätze dieser Infrastruktur werden in diesem Papier nicht behandelt.

^a Die Autor:innen nutzen die Begriffe „Kreislaufwirtschaft“ und „Circular Economy“ synonym. Der englische Begriff „Circular Economy“ wird eingesetzt, um den hierzulande zwar etablierten, aber stark abfallwirtschaftlich konnotierten Begriff der „Kreislaufwirtschaft“ in Bedeutung und Anspruch zu erweitern.

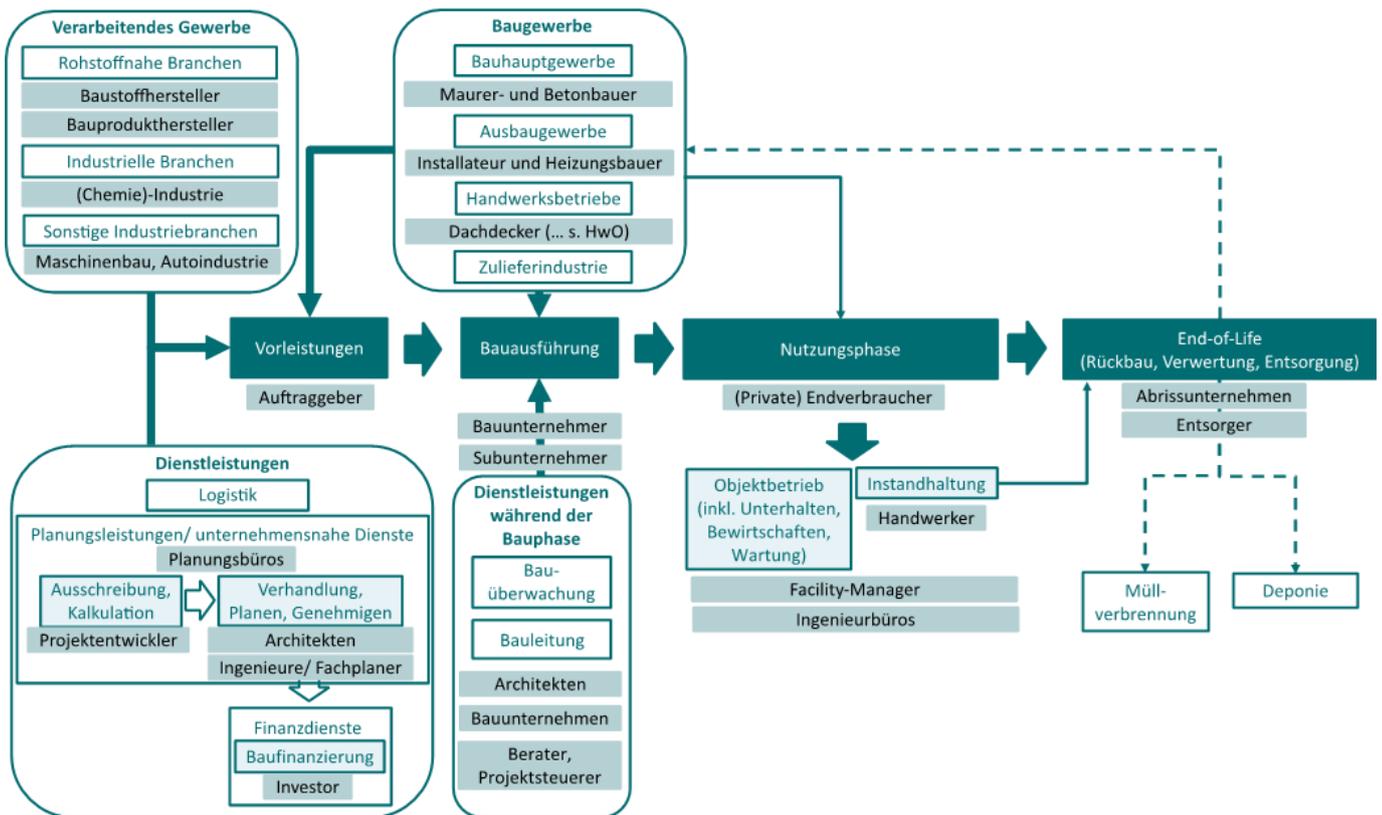


Abbildung 1 Wertschöpfungskette im Gebäudesektor inkl. involvierter Akteure²

Hoher Ressourceneinsatz

Neubauten und Bestandssanierungen sind ressourcenintensive Branchen. Für den Gebäudebau wird hauptsächlich Beton verwendet, für den Sand, Kies und Zement angemischt werden. Außerdem kommen Holz, Kunststoffe, Ziegel, Stahl und (mineralische) Dämmstoffe beim Bau zum Einsatz.

Europaweit werden 65 Prozent des Zements, 33 Prozent des Stahls, 25 Prozent des Aluminiums und 20 Prozent der Kunststoffe für den Gebäudebau verbraucht. Dabei hinterlassen Baumaterialien einen CO₂-Fußabdruck von rund 250 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr.^{3, 4} Auch Sand und Kies sind in großen Mengen für den Gebäudebau nötig. 262 Millionen Tonnen Bausand und -kies wurden 2020 in Deutschland abgebaut.⁵ Seit 2012 ist die Menge an abgebautem Kies um ca. zehn Prozent gestiegen.⁶ 95 Prozent des in Deutschland abgebauten Sandes werden von der Baubranche nachgefragt.⁷ Denn ein durchschnittliches Einfamilienhaus in Deutschland verbraucht für Beton und Glas mehr als 200 Tonnen Sand. In einem Krankenhaus stecken sogar 3.000 Tonnen Sand.⁸

Der Einsatz dieser Ressourcen führt deutschland- und weltweit zu Eingriffen in die letzten natürlichen Ökosysteme. Denn die Ressourcen sind begrenzt, und die Nachfrage wächst stetig, und viele Sandvorkommen liegen unter bebauter Fläche oder in Naturschutzgebieten.⁹ Bei Metallerzen ist die Lage noch kritischer. Hier importiert Deutschland nahezu 100 Prozent der Ressourcen aus dem Ausland. Ein Drittel des Stahls wird für den Bausektor verwendet. Die Folgen in den Abbaugebieten sind enorm und reichen von Abholzung über Erschöpfung von Wasserressourcen, Umweltvergiftungen bis hin zu Verschmutzungskatastrophen.¹⁰

Hoher Verbrauch von grauer Energie

Gebäude verbrauchen während ihres gesamten Lebenszyklus Energie. Die Nutzung und der Bau von Gebäuden setzen hierzulande etwa ein Drittel der gesamten Treibhausgasemissionen frei. In der Nutzung von Gebäuden geschieht dies vor allem durch das Heizen mit fossilen Energieträgern. Im Bau spielt die sogenannte graue Energie eine entscheidende Rolle beim Ausstoß der Emissionen.

Beispielsweise besteht bei einem neugebauten Gebäude mit KfW-Effizienzhausstandard 55^b die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs im Lebenszyklus des Gebäudes aus grauer Energie.¹¹ Der Anteil grauer Energie, der in einem Gebäude mit KfW-Effizienzhausstandard 55 steckt, ist so hoch wie der Verbrauch durch eine Familie in 50 Jahren ihres Wohnens.¹²

Definition

Als „graue Energie“ wird die Primärenergie bezeichnet, die für den Gebäudebau und Rückbau notwendig ist. Sie beinhaltet die Produktion von Baumaterialien sowie die Verarbeitung, den Transport, den Bau sowie den Rückbau des Gebäudes und die Entsorgung der Materialien.¹³ Die aus diesen Prozessen resultierenden Emissionen werden als „graue Emissionen“ bezeichnet.

Mit den steigenden Energiestandards im Gebäudebereich und dem Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland sinken die Emissionen in der Nutzungsphase der Gebäude kontinuierlich.¹⁴ Dadurch nimmt der Anteil der grauen Energie prozentual zu (vgl. Abbildung 2). Ihre Reduktion ist deshalb ein wichtiger Hebel im Klimaschutz. Dennoch bleiben graue Energie und Emissionen aktuell in Gesetzen wie dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) unberücksichtigt. Wenn aber der Gebäudesektor zum Klima- und Biodiversitätsschutz beitragen soll, müssen alle signifikanten Prozessemissionen in den Fokus genommen werden.

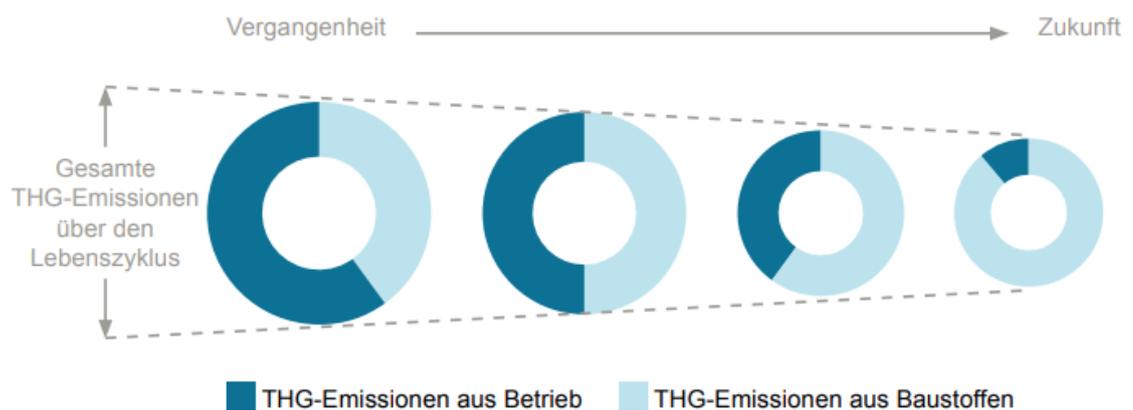


Abbildung 2: Projizierter Trend der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von Gebäuden hinsichtlich Umfang und Aufteilung¹⁵

^b Der KfW-Effizienzhausstandard 55 entspricht dem mittlerweile üblichen Baustandard beim Neubau von Wohngebäuden. Energieeffizientere und damit verbrauchsschonende Gebäude entsprechend dem Standard 40 oder 40+. Mehr zu den Effizienzhausstandards finden Sie hier: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/Energieeffizient-sanieren/Das-Effizienzhaus/?redirect=74560>.



Kein hochwertiges Recycling

Die Baubranche verursacht über die Hälfte des gesamten Abfallaufkommens in Deutschland. Im Jahr 2018 waren dies fast 231 Millionen Tonnen Bau- und Abbruchabfälle.¹⁶

Zwar erscheint die Weiterverwertungsquote mineralischer Abfälle auf den ersten Blick mit etwa 90 Prozent sehr hoch.¹⁷ Allerdings wird dabei auch die stoffliche Verwertung für Verfüllung oder Straßenuntergrundbau mitgezählt. In der Praxis bedeutet dies, dass Bauschutt zerkleinert und mit Bodenabfällen vermischt in Tagebaugruben oder unter Straßen „entsorgt“ wird.¹⁸ Auf diese Ressourcen kann die Kreislaufwirtschaft somit nicht zugreifen – insbesondere auch deshalb nicht, da sie nicht sortenrein trennbar sind. Prof. Dr. Anja Rosen kommt im *Atlas Recycling* zu dem Schluss, es handele sich „nicht um echtes Recycling, sondern um sogenanntes Downcycling, also um eine Verwertung mit geringerem Leistungsspektrum gegenüber dem Ausgangsmaterial“.¹⁹

Tatsächlich zeigen Berechnungen, dass der Bedarf an Gesteinen verschiedener Körnungen 2018 nur zu rund 13 Prozent aus Recyclingbaustoffen gedeckt werden konnte.²⁰

Deswegen gibt es im Recyclingbereich viel Forschung zur Frage, wie sich die Quote verbessern lässt, so zum Beispiel bei der Beton- und Zementherstellung. Stofflich kann so ein Teil des gebrochenen Betons hochwertig verwertet werden. Allerdings kann Recyclingbeton nicht ohne Zugabe von Zement hergestellt werden. Somit entstehen weiterhin hohe Emissionen bei der Herstellung.^{21 22}

Starke Flächennutzung und -versiegelung

Zwischen 2017 und 2020 wurden in Deutschland durchschnittlich 54 Hektar als Siedlungs- und Verkehrsflächen ausgewiesen – jeden Tag. Dies entspricht etwa 76 Fußballfeldern täglich.²³ Den größten Anteil hiervon beansprucht der Gebäudebau. So bestätigt das Statistische Bundesamt: „Die Zunahme der Flächen für Wohnbau, Industrie und Gewerbe [...] sowie öffentliche Einrichtungen für die Produktion von beziehungsweise die Versorgung mit Gütern und Dienstleistungen betrug aufgrund der starken Bautätigkeit [in 2019] im Innen- und Außenbereich von Gemeinden und Städten 33 Hektar pro Tag.“²⁴ Der Flächenverbrauch durch Gebäude in dieser Kategorie stieg im Jahr 2020 sogar nochmals deutlich auf 40 Hektar pro Tag an.²⁵

Eine Umwandlung von Freiflächen, vor allem von landwirtschaftlichen Flächen, in Siedlungs- und Verkehrsflächen hat verschiedene negative Auswirkungen:

- Der Flächenverbrauch führt zu einer weiteren **Zerschneidung und Fragmentierung von Natur- und Lebensräumen**, was den Erhalt der biologischen Vielfalt gefährdet und den genetischen Austausch von Populationen stark eindämmen kann.
- Durch eine Umwandlung in Siedlungs- und Verkehrsfläche wird die **ökologische Bedeutung von Böden in der Regel erheblich und oftmals irreversibel geschädigt**, da Filter-, Puffer- und Lebensraumfunktion nicht oder nur begrenzt erhalten werden.
- Werden Flächen versiegelt, hat das **negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt**: Die Grundwasserbildung wird verringert, der Wasserabfluss erhöht und



beschleunigt – mit entsprechenden Folgen wie beispielsweise Überschwemmungen.

- Auch mit Blick auf den **Klimawandel** darf ein zunehmender Flächenverbrauch nicht unterschätzt werden: Die negativen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und eine Überwärmung von Siedlungsgebieten stehen beispielsweise einer erfolgreichen Anpassung an den Klimawandel entgegen, gleichzeitig gehen Kohlenstoffsinken verloren.
- Nicht zuletzt führt eine wachsende Zersiedlung zu **mehr Verkehr und entsprechenden Schadstoffemissionen**.

Der durchschnittliche Flächenverbrauch in Deutschland wird zwar seit den 90er-Jahren immer weniger. Allerdings sollten bereits 2020 nur noch 30 Hektar pro Tag verbraucht werden. Dieses Ziel der Bundesregierung wurde deutlich verfehlt. Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie verfolgt nun das Ziel, den Flächenverbrauch bis 2030 wenigstens auf unter 30 Hektar pro Tag zu reduzieren. Expert:innengremien wie der Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE) und der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) fordern gar, den Verbrauch neuer Flächen bis 2050 auf null zu reduzieren.²⁶

Zunehmender Raumbedarf

Zusätzlich verstärkt wird der Klima-, Ressourcen- und Flächendruck durch den zunehmenden Raumbedarf in Deutschland. Zwischen 2011 und 2020 stieg die Zahl der Wohnungen in Deutschland um 2,2 Millionen. Gleichzeitig werden Wohnungen immer größer. Zwischen 1991 und 2020 stieg die durchschnittliche Wohnfläche in Deutschland von 34,9 Quadratmeter auf 47,7 Quadratmeter pro Kopf. Das sind 92 Quadratmeter pro Wohnung. Neben mehr Singlehaushalten leben besonders ältere Personen auf großer Fläche. So leben Einpersonenhaushalte im Schnitt auf 68 Quadratmeter Fläche, bei Haushalten mit drei oder mehr Personen sind es durchschnittlich nur 33 Quadratmeter.^{27 28} Auch die Bevölkerungswanderung spielt eine Rolle. Durch ungleiche Verteilung der Zu- und Abwanderung erhöht sich der Wohnungsdruck in Regionen wie Berlin oder Hamburg besonders stark, während die Bevölkerung in Sachsen-Anhalt oder Thüringen in den letzten Jahren abnahm.²⁹

Circular Economy als zentraler Hebel

Bei der Circular Economy geht es darum, Ressourceneinsatz zu vermeiden oder zu minimieren und die eingesetzten Materialien so lange wie möglich im Wirtschaftsprozess zu halten. Dabei sollen der Energieeinsatz und das Abfallaufkommen minimiert werden. Letztendlich geht es darum, mit Circular-Economy-Maßnahmen die Ökosysteme zu entlasten, deren Belastungsgrenzen zu respektieren und weniger Emissionen freizusetzen, als es innerhalb einer linearen Wirtschaftsweise möglich ist (vgl. Abbildung 3).

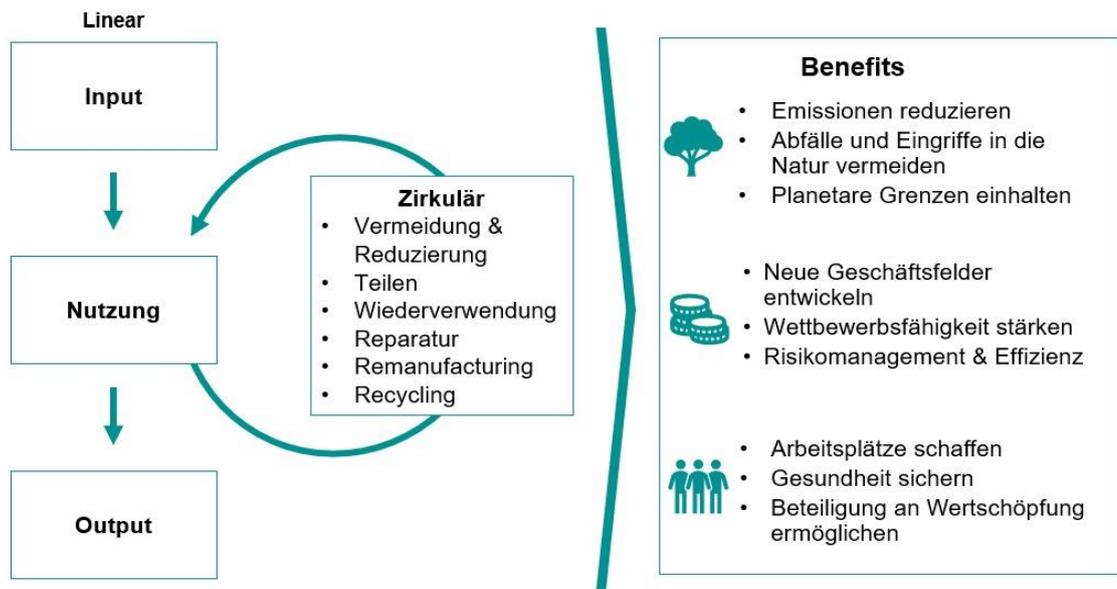


Abbildung 3: Aspekte und Vorteile der Circular Economy (eigene Darstellung)

Circular Economy im Gebäudesektor bedeutet:

- **Vermeidung & Reduzierung:** Gebäudebestand erhalten, sanieren, weiter- und umnutzen; Gebäude durch zirkuläres Design so konzipieren, dass sie von Anfang modular, langlebig, reparierbar und recycelbar sind
- **Teilen:** Gebäude durch alternative Nutzungsformen wie Co-Working intensiver nutzen
- **Wiederverwendung:** Gebäude für neue Nutzungsformen umfunktionieren, Gebäudeteile und Materialien wie Fenster oder Stützbalken in anderen Bauprojekten wiederverwenden
- **Reparatur:** Gebäude regelmäßig instand halten durch Reparaturen und (energetische) Sanierungen
- **Remanufacturing:** Gebäudekomponenten und Bauteile wie Bodenplatten wiederaufbereiten und zurück in den Umlauf bringen
- **Recycling:** beim Rückbau Baumaterialien sortenrein trennen und hochwertig recyceln

In den folgenden Absätzen wird beleuchtet, wie die Circular Economy aus Sicht des WWF im Gebäudesektor umgesetzt werden muss, um Klima und Natur zu schützen.



Erhalt von Gebäuden

Das Beste, was man tun kann, um Ressourcen und Emissionen zu sparen, ist, den Gebäudebestand zu erhalten. Über 28 Milliarden Tonnen Baumaterialien sind deutschlandweit in Gebäuden verbaut³⁰ – ein gewaltiges Rohstofflager, das auch die eingesetzte graue Energie speichert. Eine Veröffentlichung von Arup zeigt, dass durch Sanierung bis zu 70 Prozent der CO₂-Emissionen gegenüber einem Abriss und Neubau eingespart werden können. Gleichzeitig sinken die Kosten um bis zu 75 Prozent.³¹ Zusätzliche graue Energie, die durch Abriss und/oder Neubau entstehen würde, lässt sich durch Sanierungen oder Umbau vermeiden. Diese Vorgehensweise ist somit sowohl ökobilanziell³² als auch ökonomisch sinnvoller.

Abriss vermeiden

Um den Bestand zu erhalten, fordern einige Akteure die Einführung einer erweiterten Genehmigungspflicht für Abrissmaßnahmen, die zur Prüfung auf Sanierungsfähigkeit und zur Rücksicht auf soziale Belange verpflichtet.³³ Dem Bestandserhalt Vorrang zu geben, dann die Bestandserweiterung in Betracht zu ziehen und als letztes Mittel den Neubau zu erwägen – eine Vorgehensweise nach dieser Priorisierungslogik gewinnt im politischen Diskurs zunehmend an Bedeutung.³⁴

Gebäude um- und weinternutzen

Der Erhalt von Gebäuden lässt sich unter anderem durch Umnutzung sichern. Häufig wird das Potenzial der Umnutzung von Gebäuden unterschätzt, obwohl dafür die Möglichkeiten bestünden. Aktuell verlieren zum Beispiel Industriegebiete an Attraktivität. In Innenstädten stehen Geschäftsräume leer, auch weil flexibles Arbeiten aus dem Homeoffice an Popularität gewinnt. Eine Lösung, um diese Gebäude vor Abriss zu bewahren, besteht darin, leerstehende Büroräume als Co-Working-Spaces zu nutzen.

Aus der Praxis

So haben sich zum Beispiel alte Industriegebäude in Berlin-Mitte in einen großen Technologie- und Innovationspark verwandelt, in dem nun in Co-Working-Büros gearbeitet wird.³⁵

Leerstehender Wohnraum auf dem Land lässt sich durch Prämienprogramme reaktivieren. So zahlt das Land Baden-Württemberg Kommunen eine Prämie für die Wiedervermietung lange leerstehender Wohnungen.³⁶

Was möglich ist, zeigen beispielsweise auch alternative Wohnprojekte, die 2010 auf einem ehemaligen Spandauer Militärgebäude aus dem 19. Jahrhundert entstanden sind. Dabei handelt es sich um ein Wohnprojekt mit Büros, Ateliers, Werkstätten und Studios.³⁷

Auch der demografische Wandel hin zu einer immer älter werdenden Gesellschaft kann zu Ideen inspirieren. Im Quartiersprojekt „Ziekowkiez“ in Berlin wurden durch Modernisierungen 145 seniorengerechte und barrierearm ausgestattete Wohnungen mit zusätzlichen Dienstleistungen für ältere Bewohner:innen geschaffen. Ziel ist es, Wohnalternativen im Quartier zu schaffen und damit zugleich freiwerdende, größere Wohnungen Familien und größeren Hausständen anbieten zu können.³⁸



Gebäude sanieren

Zwei Drittel aller Wohngebäude in Deutschland wurden vor 1979, also vor der ersten Wärmeschutzverordnung, gebaut. Diese Gebäude verbrauchen im Schnitt fünf Mal mehr Energie als Gebäude, die ab der Jahrtausendwende errichtet wurden, und entsprechen bei Weitem nicht den heutigen Standards.³⁹ Dennoch muss ihnen nicht der Abriss drohen. Mit modernen energetischen Sanierungen lassen sich sehr gute Effizienzstandards erzielen und Emissionen vermeiden.

Bei energetischen Sanierungen werden typischerweise Außenwände, Dächer und Keller gedämmt, Fenster durch Wärmeschutzverglasung erneuert und Heizungen durch effizientere Modelle, wie zum Beispiel durch klimafreundliche Wärmepumpen, ausgetauscht.

Jedoch liegt die aktuelle Sanierungsrate in Deutschland bei gerade mal etwa einem Prozent.⁴⁰ Um den Gebäudebestand langfristig zu erhalten, attraktiver zu machen und den Energiestandard zu verbessern, muss die Sanierungsquote deutlich wachsen. Allein wegen der Klimaschutzziele im Gebäudebereich muss sich die jährliche Sanierungsrate bei Bestandsgebäuden nahezu verdoppeln.⁴¹ Etwa 75 Prozent der 22 Millionen Gebäude in Deutschland müssen klimaneutral saniert werden. Das entspricht 2.500 Gebäuden am Tag.⁴²

Um effizienter zu sanieren, verspricht das serielle Sanieren Kostenvorteile und eine schnellere Umsetzung. Statt auf der Baustelle Stück für Stück zu sanieren und zu dämmen, werden beim seriellen Sanieren gedämmte Dächer und Fassaden bei Herstellern vorgefertigt und anschließend außen an das Gebäude montiert. Zusätzlich wird das Gebäude mit einer Solaranlage versehen, die die installierte Wärmepumpe mit Strom versorgt. Auf diese Weise wird das Gebäude klimaneutral betrieben.⁴³ Laut Analysen könnten mithilfe serieller Sanierung rund eine halbe Million Gebäude in Deutschland „NetZero-Standard“^c erreichen. Gleichzeitig ist die serielle Sanierung ressourceneffizienter und damit emissionsärmer.⁴⁴ Auch hier sollte bei der Herstellung auf Rückbaubarkeit, Recyclingfähigkeit und nachwachsende Ressourcen geachtet werden.

Exkurs: Fossiles Heizen und Importabhängigkeit

Etwa zwei Drittel des Energieverbrauchs der Haushalte hierzulande belaufen sich allein auf die Nutzung der fossilen Energieträger Öl und Gas beim Heizen.⁴⁵ Fast gänzlich wird das dafür benötigte Öl und Gas importiert. Energieeffizientes Sanieren und der Umstieg auf erneuerbare (Heiz-)Systeme sind nicht nur gut für das Klima, sondern schmälern auch die Importabhängigkeit von fossilen Rohstoffen. Dadurch wird das Energiesystem resilienter.

^c „NetZero“ bedeutet, dass Gebäude im Schnitt selbst so viel Energie produzieren (etwa durch den Einsatz von erneuerbaren Systemen wie Solaranlagen), wie sie verbrauchen.



Neubau von Anfang an zirkulär konzipieren

Gebäude, die heute gebaut werden, stehen womöglich 50, 60 Jahre oder länger. Um schon jetzt dem potenziellen Standard für 2082 zu genügen, sollte ihnen ein Konzept zugrunde gelegt werden, das so nachhaltig und zirkulär wie möglich ist. Verschiedene Ansätze müssen hierbei beachtet werden.

Lebenszyklusanalysen und Lebenszykluskosten-Berechnungen

Essenziell für die zirkuläre Transformation sind Lebenszyklusanalysen durch Ökobilanzierungen der Gebäude. Denn eine Ökobilanzierung betrachtet den gesamten Lebenszyklus des Baustoffes vom Rohstoffanbau und -abbau, über Herstellung, Verarbeitung und Transport bis zur Entsorgung des eingebauten Fertigprodukts mitsamt den Biodiversitätseffekten. So bestätigt die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB): „Mit der Ökobilanz können für ein Produkt, eine Dienstleistung, ein Gebäude oder andere eingrenzbar Systemen sämtliche Ressourcenverbräuche und Emissionen von der Wiege bis zur Bahre, also für den gesamten Lebenszyklus oder Teile davon in aussagekräftige Umweltkennzahlen zusammengefasst werden.“⁴⁶

Planer:innen und Bauherr:innen erhalten auf diese Weise ein ganzheitliches Bild der Emissionen sowie des Energie- und Ressourcenverbrauchs ihres Gebäudes. Auf dieser Basis können sie informierte Entscheidungen treffen und die nachhaltigste Option wählen. Dadurch setzen sie hohe Standards, die lange erhalten bleiben und den Gebäudesektor nachhaltig transformieren.

Technisch umsetzbar und unter Planer:innen bekannt sind Ökobilanzierungsverfahren nach DIN-Normen, mit der kostenfreien Software eLCA sowie verlässlichen Datengrundlagen von ÖKOBAUDAT oder WECOBIS, bereits jetzt machbar.⁴⁷ Die Ampelkoalition hat im Koalitionsvertrag vereinbart, Grundlagen schaffen zu wollen, damit der Einsatz grauer Energie sowie die Lebenszykluskosten stärker in den Fokus rücken.

Rückbaubarkeit und Recyclingfähigkeit sicherstellen

Modulares und rückbaubares Bauen macht es möglich, dass Gebäudeteile und Materialien wiederverwendet werden können. Das setzt eine Gestaltung aus hochwertigem, gut recycelbarem Material voraus, bei der Langlebigkeit, Reparierbarkeit und sortenreine Trennbarkeit mitgedacht wurden. Zirkuläre Produkte ziehen beispielsweise Steck- und Schraublösungen einer Verklebung vor, sodass einzelne Teile an ihrem Nutzungsende leicht auseinandergenommen werden können. So wurden bei einem Recyclinghausprojekt in Hannover die Brettlagen des Massivholzbaus nicht verklebt, sondern mit Buchenholzschrauben verbunden.⁴⁸

Nicht weniger essenziell für die Kreislaufführung von Materialien ist ein Rückbaukonzept der Gebäude. Damit aus einem Abriss ein selektiver Rückbau und aus einem Gebäude ein regelrechtes Materiallager werden kann, muss der Rückbau von Anfang an mitgeplant werden. Man spricht hier von Design for Disassembly/Deconstruction.



Definition

Unter dem Begriff „Rückbau“ wird der selektive bzw. verwendungs-/verwertungsorientierte Abbruch verstanden, dessen Ziel es ist, die anfallenden Abfallfraktionen hochwertig zu verwerten. Gemeint ist dabei im Wesentlichen die möglichst sortenreine Erfassung der Stoffe beim Rückbau von Gebäuden und deren fachgerechte Entsorgung. Ein Rückbaukonzept schließt die vorbereitende Planung wie auch die Durchführung des Rückbaus ein.⁴⁹

Einsatz von Sekundärrohstoffen und -materialien

Damit rückgebautes Material in den Prozess der Wiederverwendung gelangt, müssen die Infrastruktur über Baustoffbörsen ausgeweitet und die Hersteller durch Produzentenverantwortung in die Pflicht genommen werden. Schließlich birgt die Wiederverwendung von Baumaterialien und Baustoffen großes Einsparungspotenzial bei Emissionen und Ressourcenverbrauch. Der Einsatz von Sekundärrohstoffen schont die Ressourcen und schützt so Ökosysteme. Deshalb kommt ihm in der Circular Economy eine so zentrale Rolle zu. Landesweit etablieren sich Baustoffbörsen wie das bauteilnetz Hannover. Hersteller sorgen auch mit eigenen Rücknahmesystemen dafür, dass die Materialien im Kreislauf bleiben.⁵⁰ Zu beachten sind dabei unter anderem der benötigte Energieeinsatz und die Transportwege.

Aus der Praxis

Demonstriert wird dies in Projekten wie der Gebäudeaufstockung der Halle 118 in Winterthur. Die Stahlträger der Aufstockung stützten vormals eine Verteilzentrale in Basel. Alte Granitfassaden wurden zu Plattenbelägen für Küchen, Toiletten und Balkone umfunktioni-ert. Darüber hinaus wurden zahlreiche Aluminiumfenster im Bau wiederverwendet. Alles in allem ließen sich 60 Prozent der THG-Emissionen und 500 Tonnen Primärrohstoffe im Vergleich zu neuen Bauprodukten einsparen.⁵¹

Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen

Ein starker Hebel, mit dem sich der ökologische Fußabdruck von Gebäuden verbessern lässt, steht mit der Substitution von Materialien wie Stahl und Beton zur Verfügung, in dem man also Material mit schlechter Ökobilanz durch klimaschonende Baustoffe, vorzugsweise regionale, nachwachsende Rohstoffe ersetzt. Der Einsatz solcher Materialien sollte jedoch nicht zu einem Wettbewerb oder zu Flächenkonflikten mit der Nahrungsmittelproduktion führen. Transportwege sollten kurz gehalten, der Energieverbrauch in der Herstellung und die Recyclingfähigkeit am Nutzungsende mitbetrachtet werden.

Fokus: Holz

Holz ist ein vortrefflicher Baustoff. Holz ist nachwachsend, benötigt meistens weniger Energie in der Herstellung von Bauprodukten und kann, wenn ohne Chemikalien und Pestizide behandelt und rückbaufähig verbaut, sehr gut stofflich wiederverwendbar und/oder recycelbar sein.^d Zudem kann im Holz gespeichertes CO₂ in Gebäuden lange verbaut werden. Auch deshalb

^d Weitere Informationen hier: [DGNB-Positionspapier-Holzbau.pdf](#)

Digitalisierung einsetzen

Transparenz in Bauvorhaben ist eine wichtige Grundlage für die Circular Economy in Gebäuden. Wer weiß, was wo wie verbaut wurde, baut für Erhalt und Wiederverwendung vor. Die Digitalisierung macht dies bereits jetzt möglich.

Informationstransparenz spielt sich auf mehreren Ebenen ab. Beim Building Information Modelling (BIM) wird zum Beispiel ein digitaler Zwilling oder ein Gebäudepass gespeichert, der sowohl Daten zur Gebäudekonstruktion als auch Informationen zu energetischen oder bauphysikalischen Eigenschaften in der Nutzungs- und Rückbauphase enthält.⁵⁴ Die Technologie ermöglicht eine effizientere Planung und Vernetzung der Daten über den gesamten Lebenszyklus der Gebäude bis hin zum Rückbau. Diese Informationen lassen sich in digitalen Katastern speichern und wären dann eine Basis für langfristiges Urban Mining in Deutschland.

Auf Produktebene sind Material- und Produktpässe geeignet, Informationen zur stofflichen Zusammensetzung, Herkunft, Herstellungsweise, Lebensdauer, Reparaturfähigkeit und zu Verwertungsoptionen von Baustoffen und -materialien zusammenfassend anzubieten. Damit erhalten Planer:innen und Bauherr:innen schon in einer frühen Arbeitsphase einen Überblick über den gesamten Impact der Bauprodukte und könnten so informierte Entscheidungen treffen. Durch Transparenz auf Produkt- und Gebäudeebene lassen sich auch graue Energie und graue Emissionen der Gebäude sichtbar machen.

Die Ampelkoalition hat die Einführung eines digitalen Gebäuderessourcenpasses angekündigt. Einige vielversprechende Ansätze zur Umsetzung von Gebäude- und Materialpässen existieren bereits und können in Deutschland gut umgesetzt werden.⁵⁵

Wirtschaftliche Vorteile

Neben der ökologischen Dringlichkeit gibt es auch wirtschaftliche Argumente für einen Wandel im Bausektor. Denn zirkuläre, recyclinggerechte Gebäude sind wirtschaftlich rentabel. Neben gesellschaftlichen Vorteilen durch Klima-, Ressourcen- und Biodiversitätsschutz haben sie sowohl für Bauherr:innen als auch für die gesamte Baubranche Vorteile.

Es stimmt, beim Bau – das zeigen Berechnungen⁵⁶ – sind kreislauffähige Gebäude bezogen auf den Einkaufspreis aktuell noch teurer. Denn recyclingfähige, langlebige Materialien sind meist hochwertiger und wegen geringerer Verkaufszahlen und Verfügbarkeit teurer. Die Vorteile kommen bei Renovierungen und Instandhaltung von recyclinggerechten und rückbaubaren Gebäuden zum Tragen. Verbindungen sind leicht lösbar, sodass Teile leichter ausgetauscht werden können. Hinzu kommt, dass recyclingfähiges Baumaterial hochwertiger und deswegen meist länger haltbar ist. Austausch und Reparaturen sind seltener nötig. Besonders groß ist die Kostenersparnis beim Rückbau. Statt teurer Entsorgung lassen sich die verarbeiteten Materialien der Gebäude leichter wiederverwenden, recyceln und sogar weiterverkaufen. Wenn man die Kosten aus dieser Lebenszyklussicht betrachten würde, wären kreislauffähige Gebäude sicherlich preislich konkurrenzfähig.

So bringt eine recyclinggerechte Konstruktion bei einem Einfamilienhaus eine Gesamtkostenersparnis von 22,1 Prozent gegenüber einer herkömmlichen Konstruktion bezogen auf den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes. Bei anderen Modellen wie einer Schule und einem Bürogebäude ist der Kostenvorteil sogar noch größer. Kostenersparnisse von 24,2, respektive 31,7 Prozent sind bei recyclinggerechter Bauweise möglich (vgl. Abbildung 5).

GESAMTKOSTEN NACH KONSTRUKTIONSTYP (€)

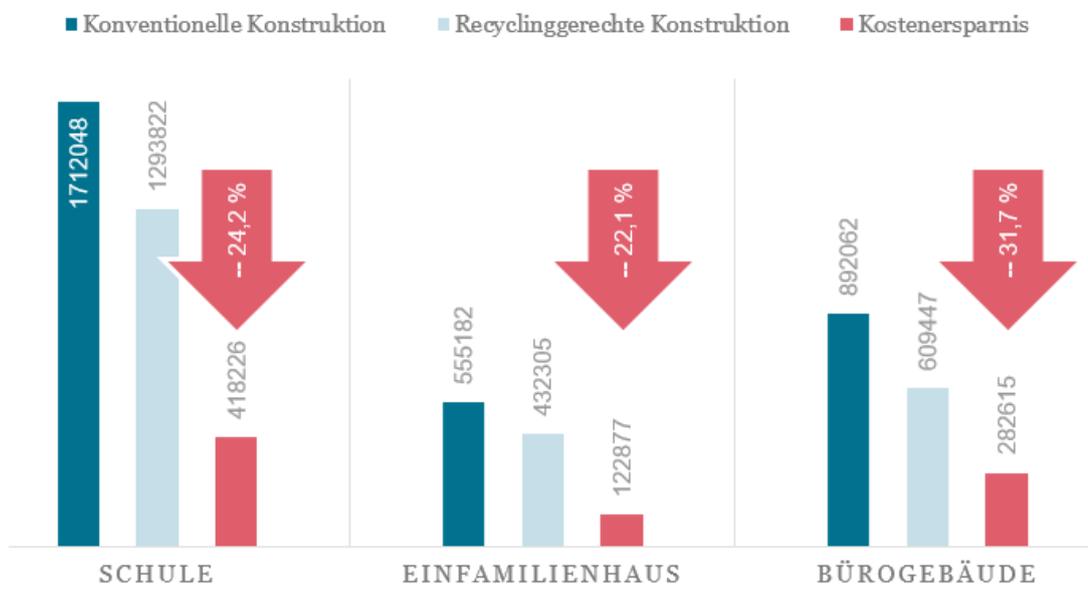


Abbildung 5: Kostensparnis durch recyclinggerechte Konstruktion⁵⁷

Zwar sollten Gebäude grundsätzlich immer so lange wie möglich erhalten werden. Trotzdem ziehen Städte, Kommunen und Immobilienunternehmen, wie die Grafik zeigt, mittel- und langfristig erheblichen Nutzen aus dem Rückbau recyclinggerechter Konstruktionen.

Wachsende politische Anforderungen

Ein Umbau des Gebäudesektors in eine Circular Economy ist sowohl klima- als auch aus ressourcentechnisch unumgänglich. Das Thema wurde seitens der politischen Entscheidungsträger:innen lange ignoriert. Mittlerweile gibt es erste rechtliche Rahmenbedingungen, die sich der Notwendigkeit einer Transformation des Sektors annehmen. Gleichzeitig werden jedoch wichtige Veränderungen noch nicht adressiert.

Die Ampelkoalition hat sich in ihrem Koalitionsvertrag ambitionierte, Klimaschutzpolitische Ziele gesetzt. Die Dekarbonisierung des Gebäudesektors ist eine der großen Aufgaben, die wir uns als Politik, Wirtschaft und Gesellschaft in den kommenden Jahren dringend stellen müssen. Laut Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) darf der gesamte Gebäudesektor^e im Jahr 2030 nur noch maximal 67 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr emittieren. Um dieses Ziel zu erreichen, muss der Gebäudesektor seine Gesamtemissionsmenge bis 2030 etwa halbieren.⁵⁸ Das KSG gibt verbindliche jährliche Minderungspfade des Sektors vor. Aktuelle Entwicklungen zeichnen kein positives Bild. Bereits 2020 hat der Gebäudebereich als einziger Sektor sein Reduktionsziel verfehlt und zwei Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente zu viel emittiert. Auch 2021 konnte der Gebäudesektor seine Klimaziele nicht einhalten.

^e Der Gebäudesektor im KSG bezieht sich auf die Verbrennung von Brennstoffen im Gebäudebereich. Emissionen, die in der Bauwirtschaft anfallen, werden dem Industriesektor zugeordnet.



Auch auf europäischer Ebene sorgt der European Green Deal^f dafür, dass sich die Politik mit Maßnahmen im Bau- und Gebäudesektor stärker beschäftigen muss. Der Circular Economy Action Plan^g sieht eine Renovierungswelle sowie eine überarbeitete Bauprodukteverordnung vor – mit verstärkter Rezyklatnutzung, digitalen Gebäude-Logbüchern, Lebenszyklusanalysen, Zielvorgaben für die stoffliche Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen sowie einer Verringerung der Bodenversiegelung. In der EU-Taxonomie^h werden nachhaltige Circular-Economy-Aktivitäten im Gebäudesektor für Finanzakteure definiert. Das EU-Rahmenwerk Level(s) für Nachhaltigkeitsperformance von Gebäuden muss schon jetzt in den EU-Staaten umgesetzt werden und soll mithilfe gemeinsamer Nachhaltigkeitsindikatoren wie CO₂-Emissionen, Materialverbrauch und Klimawandel, Gebäudeprojekte europaweit vergleichbar machen.⁵⁹ Und die vorliegende Novelle der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Directive on the energy performance of buildings; EPBD) sieht weitere Anforderungen vor. Das könnte Deutschland möglicherweise vor weitere Herausforderungen stellen, da das Land schon in der Vergangenheit mit der fristgerechten und korrekten Umsetzung des EPBD haderte.⁶⁰

Im gesamten Gebäudebereich – sowohl beim Heizen als auch beim Bau – mangelt es derzeit an einer ambitionierten Politik. Ziel muss es sein, die Dekarbonisierung des Gebäudesektors voranzutreiben und dabei wirksame Circular-Economy-Maßnahmen zu nutzen. Hier sind große Baustellen zu verzeichnen, die für die Transformation des Sektors sowohl auf dem Weg zur Klimaneutralität als auch beim ressourcensparenden Einsatz von Rohstoffen und bei der Abfallvermeidung in den kommenden Jahren dringend angepackt werden müssen.

Was die Politik jetzt tun sollte

Die Voraussetzungen für einen umfassenden systemischen Wandel zu Circular Economy im Gebäudesektor sind verbindliche politische Rahmenbedingungen. Diese zu schaffen, ist Aufgabe der politischen Entscheidungsträger:innen in Bund, Ländern und Kommunen. Gleichzeitig sollte die öffentliche Hand bei ihren eigenen Bauprojekten mit gutem Beispiel vorangehen.

Der WWF fordert von Bundes-, Landes- und Kommunalpolitiker:innen für eine Circular Economy im Gebäudesektor:

Die Erhaltung und Sanierung des Gebäudebestands.

- Etablierung einer bundesweiten Entscheidungskaskade zur Priorisierung des Bestandserhalts gemäß Deutschem Städtetag
- Einführung einer verpflichtenden Abrissgenehmigung für Bestandsgebäude in der Musterbauordnung
- Erhöhung der Sanierungsquote; insbesondere durch Förderung von Dachausbauten, Sanierung leerstehender Gebäude, Umbauten und serieller Sanierung. Laut einer Studie von Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut⁶¹ muss die Sanierungsrate seit 2018 jährlich 1,6 Prozent und ab 2030 auf 1,75 Prozent erhöht werden, um die Klimaziele der Bundesregierung einzuhalten.

^f Der „European Green Deal“ ist die zentrale Strategie der Europäischen Kommission, umfassende und politikfeldübergreifende Klimaschutzvorhaben auf EU-Ebene voranzutreiben.

^g Der „Circular Economy Action Plan“ ist ein Bestandteil des European Green Deals und zielt darauf ab, Produkte entlang des Lebenszyklus neu zu definieren, um Abfall zu vermeiden und Ressourcen in der Wirtschaft zu erhalten.

^h Die „EU-Taxonomie“ dient dem Zweck, ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten zu klassifizieren und Unternehmen sowie Investoren einen Rahmen für nachhaltige Investments zu liefern. Sie ist ein wichtiges Instrument bei der Umsetzung des European Green Deals.



- Einleitung einer umgehenden Rückbauoffensive von fossilen Heizsystemen unter Circular-Economy-Aspekten sowie Start eines beschleunigten Roll-outs von Wärmepumpen mit Sanierungen

Eine zirkulärere Konzeption des Neubaus von Beginn an.

- Umstellung des GEG von einer reinen Nutzungsphasen-Betrachtung hin zu einer Lebenszyklus-Betrachtung durch verpflichtende Ökobilanzierungen nach DIN ISO 14040 ff., DIN EN 15804 und 15978
- Verankerung verbindlicher Rezyklat- und Einsatzquoten von Sekundärrohstoffen im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess)
- Verpflichtung zur Nutzung von Holz aus regionalen, natürlich bewirtschafteten Laubmischwäldern mit FSC-Zertifizierung zum Bau und Verankerung dieses Prinzips in der im Koalitionsvertrag geplanten, nationalen Holzbau-, Leichtbau- und Rohstoffsicherungsstrategie
- Abbau baurechtlicher Hemmnisse beim Einsatz von Holz im Bauwesen (Musterbauordnung, einschließlich Brandschutz) durch Harmonisierung der Landesbauordnungen mit Blick auf brandschutztechnische Anforderungen
- Verpflichtung zur Vorlage eines Rückbaukonzepts als Voraussetzung zur Erteilung einer Baugenehmigung
- umgehende Festlegung des Neubaustandards auf mindestens KfW-40-Standard sowie die Durchsetzung des Standards auf Passivhaus-Niveau beziehungsweise des Plus-Energiegebäudes
- bundesweite verpflichtende Installation von Solaranlagen bei allen Neubauten, Umbauten und Dachsanierungen; Prüfung einer Solarpflicht im Bestand

Die Förderung der Wiederverwendung auf allen Ebenen des Gebäudesektors

- Förderung alternativer (Weiter-/Um-)Nutzungskonzepte zum Erhalt des Bestands
- Etablierung erweiterter Herstellerverantwortung für Bauprodukte/-stoffe und die Schaffung von Rücknahmesystemen für Hersteller
- Förderung von Baustoffbörsen
- Etablierung fester und deutschlandweit anerkannter Standards für ökologische und zirkuläre Baumaterialien und -produkte und Abbau von Barrieren

Die Nutzung von öffentlichen Gebäuden und Beschaffung als zentrale Hebel.

- Einführung einer obligatorischen zirkulären Beschaffung inkl. Lebenszykluskosten-Berechnung für öffentliche Bauvorhaben der Behörden des Landes, der Städte und Gemeinden
- Erstellung von Modernisierungsfahrplänen für öffentliche Gebäude
- Einführung einer höheren Förderquote für energetische Sanierungen im öffentlichen Wohnungsbau
- ein verpflichtender EH40+-Standard für öffentliche Neubauten als Vorbild;
- unmissverständliche politische und verbindliche Vorgaben für Green Public Procurement, ähnlich der Verwaltungsvorschrift für die Anwendung von Umweltschutzanforderungen bei der Beschaffung von Liefer-, Bau- und Dienstleistungen im Land Berlin
- Ergänzung der EU-Beschaffungskriterien wie z. B. für Planung, Bau und Management von Bürogebäuden mit Circular-Economy-Kriterien und Entwicklung von Hilfsmitteln für ausschreibende Organisationen in den Leitfäden für nachhaltiges Bauen und ressourcen-effiziente Beschaffung

Quellenverzeichnis

- ¹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2019, *Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus*, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdaten-bank/fkz_3715_41_111_energieaufwand_gebaeudekonzepte_bf.pdf
- ² Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie nach Primär-Versorgungs-Einheiten o. J. (unveröffentlicht); Albert 2020; IW Consult GmbH 2008; Oesterreich, Teuteberg 2017; Streck, St. 2010; Schneider o. J.; Zentralverband Deutsches Baugewerbe [ZDB] 2009.
- ³ Material Economics, 2018, *The Circular Economy - a Powerful Force for Climate Mitigation - Executive Summary*, <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy>
- ⁴ Verein Deutscher Zementwerke, 2020, *Zementindustrie im Überblick 2020/2021*, https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissenschaft/publikationen/zementindustrie/vdz-zementindustrie_im_Ueberblick_2020_2021.pdf
- ⁵ Umweltbundesamt, 2022a, *Flächenverbrauch für Rohstoffabbau*, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaechen-bo-den-land-oekosysteme/flaechenverbrauch-fuer-rohstoffabbau#inlandische-rohstoffentnahme>
- ⁶ bvse-Fachverband Mineralik - Recycling und Verwertung, 2020, *Kies – Versorgungsengepässe nehmen zu*, <https://www.bvse.de/gut-informiert-mineralik/nachrichten-mineralik/5729-kies-versorgungsengepaesse-nehmen-zu.html>
- ⁷ Grimm, R., 2018, *Kies und Sand für die Bauindustrie*, <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/grundstoffe-des-bauens/kies-und-sand-fuer-die-bauindustrie-abbau-einsatzbereiche-sandknappheit-sandimporte/>
- ⁸ Wiehn, T., 2021, „Sandabbau in Deutschland – wieviel Sand brauchen wir wirklich?“, <https://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/Sandabbau-in-Deutschland-100.html>
- ⁹ WWF Deutschland, 2021, „Ein begehrter Rohstoff: Sand“, <https://www.wwf.de/themen-projekte/wwf-projektregionen-in-asien/ein-begehrter-rohstoff-sand>
- ¹⁰ WWF Deutschland, 2019a, „Deutsche Rohstoffimporte: Die Gier nach Eisen und Aluminium“, <https://www.wwf.de/themen-projekte/waelder/mining/mining-auswirkungen-des-deutschen-rohstoffbooms>
- ¹¹ BAUWENDE, 2020, *Die graue Energie: Der entscheidende Hebel für Klimaschutz beim Bauen*, https://bauwende.de/wp-content/uploads/2020/10/BAUWENDE-Factsheet-Graue-Energie-2020_2.pdf
- ¹² ARD, 2022, „mal angenommen: Klimaneutrale Häuser? Was dann?“, https://open.spotify.com/episode/7u2tBG5qefWl-peznY2nk8b?si=Ymn7zx75SzOzj4QBSy1Idw&utm_source=copy-link
- ¹³ Baunetz Wissen, o. D., „Graue Energie“, <https://www.baunetzwissen.de/glossar/g/graue-energie-664290>
- ¹⁴ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2014, *Sanierungsbedarf im Gebäudebestand*, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/sanierungsbedarf-im-gebäudebestand.pdf?__blob=publicationFile&v=33s
- ¹⁵ WWF Deutschland, 2019b, *Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie*, https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Klimaschutz_in_der_Beton-_und_Zementindustrie_WEB.pdf
- ¹⁶ Statistisches Bundesamt, 2021a, „Abfallaufkommen in Deutschland im Jahr 2019 weiter auf hohem Niveau“, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/06/PD21_261_321.html
- ¹⁷ Kreislaufwirtschaft Bau, 2021, *Mineralische Bauabfälle Monitoring 2018*, <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-12.pdf>
- ¹⁸ Hillebrandt, A. et al., 2021, *Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource (Detail Atlas)*, 2. Aufl., München, Deutschland: DETAIL
- ¹⁹ Hillebrandt, A. et al., 2021, a. a. O., S. 19
- ²⁰ Kreislaufwirtschaft Bau, 2021, a. a. O.
- ²¹ Hillebrandt, A. et al., 2021, a. a. O.
- ²² WWF Deutschland, 2019b, a. a. O.
- ²³ Statistisches Bundesamt, 2022, „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche in ha pro Tag“, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/anstieg-suv2.html>
- ²⁴ Statistisches Bundesamt, 2021b, „Siedlungs- und Verkehrsfläche wächst jeden Tag um 52 Hektar“, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/04/PD21_209_412.html
- ²⁵ Statistisches Bundesamt, 2022, a. a. O.
- ²⁶ Umweltbundesamt, 2022b, „Flächensparen – Böden und Landschaften erhalten“, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten#flaechenverbrauch-in-deutschland-und-strategie-zum-flaechensparen>
- ²⁷ Umweltbundesamt, 2021a, „Wohnfläche“, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche#entwicklung-von-bevolkerung-und-wohnungsbestand-in-bundeslaendern-unterschiedlich>
- ²⁸ Statista, 2021, „Wohnfläche je Einwohner in Wohnungen in Deutschland von 1991 bis 2020“, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36495/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-in-deutschland-von-1989-bis-2004/>
- ²⁹ Umweltbundesamt, 2021a, a. a. O.
- ³⁰ Umweltbundesamt, 2016, „Das anthropogene Lager“, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/das-anthropogene-lager#status-quo-bestand-dynamik-und-eigenschaften>
- ³¹ Arup, 2020, *Transform & Reuse: Low Carbon Futures for Existing Buildings*, <https://www.arup.com/perspectives/publications/promotional-materials/section/transform-and-reuse-low-carbon-futures-for-existing-buildings>
- ³² Bauen im Bestand, 2021, „Die Ökobilanz spricht für die Sanierung“, <https://www.bauenimbestand24.de/die-oeko-bilanz-spricht-fuer-die-sanierung-09092021>
- ³³ Architects for Future, 2021, *Klimaneutrales bzw. klimapositives Bauen: Vorschläge für eine Muster(um)bauordnung*, <https://drive.google.com/drive/folders/1F1FECQCFndKnYe4QmXrCDmmjTBNzfPZo>
- ³⁴ Deutscher Städtetag, 2021, *Nachhaltiges und suffizientes Bauen in den Städten*, <https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Weitere-Publikationen/2021/handreichung-nachhaltiges-suffizientes-bauen.pdf>
- ³⁵ Unicorn, o. D., „AEG 2, Mitte“, <https://www.unicorn.de/spaces/aeg2/>
- ³⁶ Landsiedlung Baden-Württemberg, o. D., „Prämie für die Aktivierung von leerstehendem Wohnraum – Wiedervermietungsprämie“, <https://www.wohnraumoffensive-bw.de/wiedervermietungspraemie-1>

- ³⁷ denk-mal EISWERDER13, 2022, „Projekt – Fakten / Daten“, <https://www.eiswerder13.org/Projekt - Fakten / Daten>
- ³⁸ Vonovia, 2018, „Mobil zu Hause: Neuer Nachbarschaftstreff im Ziekowkiez“, https://presse.vonovia.de/de-de/aktuelles/180629_johanniter-servicebuero-berlin
- ³⁹ Deutsche Energie-Agentur, o. D.a, „Keine Energiewende ohne Wärmewende“, <https://www.dena.de/themen-projekte/energieeffizienz/gebaeude/>
- ⁴⁰ Deutsche Energie-Agentur, 2019, *Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand, dena-GEBÄUDEREPORT KOMPAKT 2019*, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-GEBAEUDEREPORT_KOMPAKT_2019.pdf
- ⁴¹ Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2021, *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann*, https://www.abora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/KNDE_2045_Langfassung/Klimaneutrales_Deutschland_2045_Langfassung.pdf
- ⁴² Deutsche Energie-Agentur, o. D.b, „Seriell sanieren: schnell, günstig, hochwertig“, <https://www.dena.de/themen-projekte/energieeffizienz/gebaeude/bauen-und-sanieren/>
- ⁴³ Ebd.
- ⁴⁴ Deutsche Energie-Agentur, 2020, *Das Energiesprong-Prinzip*, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena-FACTSHEET_Das_Energiesprong-Prinzip.pdf [verlinkt nicht, pdf auch nicht richtig: „Stand 2020“ steht dort am Rand]
- ⁴⁵ Umweltbundesamt, 2022c, „Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren“, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#entwicklung-des-endenergieverbrauchs-nach-sektoren-und-energietragern>
- ⁴⁶ Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, 2018, *Leitfaden zum Einsatz der Ökobilanzierung*, S. 4, https://static.dgnb.de/fileadmin/archiv/de/dgnb_system/service/reports/DGNB-LCA-Leitfaden.pdf?m=1581496840&
- ⁴⁷ BAUWENDE, o. D., *Die Graue Energie in das GEG mit einbeziehen!*, <https://bauwende.de/graueenergieinsgeg>
- ⁴⁸ Maier-Solgg, F., 2020, „Recyclinghaus in Hannover von Cityförster“, in: *Deutsches Architektenblatt*, <https://www.dabonline.de/2020/08/28/recyclinghaus-in-hannover-von-cityfoerster-baustoffe-baumaterialien/#a81178>
- ⁴⁹ Umweltbundesamt, 2021b, *Prüfung möglicher Ansätze zur Stärkung des Recyclings, zur Schaffung von Anreizen zur Verwendung recycelbarer Materialien und zur verursachergerechten Zuordnung von Entsorgungskosten im Bereich der Bauprodukte*, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_01_11_texte_05-2021_bauprodukte_recycling.pdf
- ⁵⁰ Klimaforum Bau, 2021, „DERIX-Gruppe macht Rücknahme gebrauchter Bauteile zum Standard“, <https://klimaforum-bau.de/news/derix-gruppe-macht-ruecknahme-gebrauchter-bauteile-zum-standard/>
- ⁵¹ Baubüro in situ, 2022, „K.118 – Kopfbau Halle 118 Winterthur“, <https://www.insitu.ch/projekte/196-k-118>
- ⁵² Umweltbundesamt, 2017, *BIOMASSEKASKADEN Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis*, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-06-13_texte_53-2017_biokaskaden_kurzfassung.pdf
- ⁵³ Höglmeier, 2015, aus nova-institut, 2017, „Kaskadennutzung auch bei Holz positiv“, <https://renewable-carbon.eu/news/kaskadennutzung-auch-bei-holz-positiv/>
- ⁵⁴ Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, o. D., *Digital Twin*, https://www.bau.fraunhofer.de/content/dam/bau/de/documents/Presse/WeitereInfosBAU2019/Infolyer_Digital%20Twin.pdf
- ⁵⁵ Umweltbundesamt, 2022d, *Kartierung des anthropogenen Lagers IV: Erarbeitung eines Gebäudepass- und Gebäudekatasterkonzepts zur regionalisierten Erfassung des Materialhaushaltes mit dem Ziel der Optimierung des Recyclings*, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_05-2022_kartierung_des_anthropogenen_lagers_iv_o.pdf
- ⁵⁶ Hillebrandt, A. et al., 2021, a. a. O., 126 ff.
- ⁵⁷ Eigene Darstellung nach Hillebrandt, A. et al., 2021, a. a. O., S. 126ff.
- ⁵⁸ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2021, „Das neue Klimaschutzgesetz - Jahresemissionsmengen nach Bereichen bis 2030“, https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Bilder_Sharepics/mehrklimaschutz/sectorziele_emissionen.pdf
- ⁵⁹ Europäische Kommission, o. D., „Level(s) European framework for sustainable buildings“, https://ec.europa.eu/environment/levels_de
- ⁶⁰ Buildings Performance Institute Europe, 2021, *NEARLY ZERO: A REVIEW OF EU MEMBER STATE IMPLEMENTATION OF NEW BUILD REQUIREMENTS*, https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2021/06/Nearly-zero_EU-Member-State-Review-062021_Final.pdf.pdf
- ⁶¹ Prognos et al., 2021, a. a. O.