



Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft im Bauwesen

Diskussionspapier

Motivation

Die Bauindustrie und das Baugewerbe sind für Deutschland ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. 12 % des BIP fließen in Baumaßnahmen (2023: 486 Mrd. €), die Bauwirtschaft erbringt 6 % der Bruttowertschöpfung und ist mit 2,65 Mio. (2023) Erwerbstätigen ein großer Arbeitgeber (1). Jedoch hat der Baubereich in der heutigen Form einen sehr hohen Rohstoffbedarf: In jedem Jahr werden in Deutschland mehr als 500 Mio. t Baurohstoffe in Gebäuden und Bauwerken eingesetzt, (2) alleine für die Zementherstellung 50 Mio. t.

Die Bauindustrie ist zudem ein großer Abfallverursacher und CO₂-Emittent. Bau- und Abbruchabfall verantworten mit rund 216 Mio. t im Jahr 2022 rund 54 % des Brutto-Abfallaufkommens in Deutschland (3), wobei wiederum ca. die Hälfte der anfallenden Massen den Fraktionen »Steine und Erden (Erdaushub)« zuzuordnen ist.

Zusätzlich sind Herstellung, Errichtung, Sanierung und Nutzung von Gebäuden für etwa 40 % der gesamten deutschen CO₂-Emissionen verantwortlich (4). Für die Erreichung des 1,5°C Ziels sind Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgas (THG) - Emissionen und des Primärrohstoffverbrauchs im Bausektor zwingend erforderlich. Da insbesondere die Bewirtschaftungsphase (Betrieb) von Gebäuden mit 75 % einen Großteil der CO₂-Emissionen des Handlungsfelds »Errichtung und Nutzung von Hochbauten« verantwortet ((4) vgl. Abbildung 1), sind Maßnahmen für die Ertüchtigung des Gebäudebestands und die Erhöhung der Sanierungsrate unerlässlich, wobei die dadurch bedingten CO₂-Emissionen und der Primärrohstoffeinsatz reguliert sein sollten.

In einer Kreislaufwirtschaft für das Bauwesen stammt ein großer Teil der Baumaterialien bestenfalls aus sekundären Rohstoffquellen wie dem sog. anthropogenen Lager, hier

rückgebautem Gebäudebestand, in dem viele der für Neubau oder Sanierung benötigten Materialien und Rohstoffe grundsätzlich bereits vorhanden sind – teils als Granulat, in Bruchstücken aber auch als fertige Baustoffe oder intakte Bauteile, die nach Prüfung und Aufarbeitung wieder funktionsgleich eingebaut werden können. Bislang erfolgt diese Nutzung und damit die Verlängerung der Lebensphasen von Bauteilen und Baumaterialien nicht systematisch. Um dieses Potenzial besser erschließen zu können, bedarf es regulatorischer und normativer Rahmenwerke zur Wiederverwendung sowie geeigneter Recyclingtechnologien für Baumaterialien.

Die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) (5), definiert den Begriff der Kreislaufwirtschaft im Sinne des EU-Aktionsplans und setzt über die »9R-Strategie« auf allen Stufen der Wertschöpfung an, um den Verbrauch natürlicher Ressourcen zu reduzieren und die Kreislaufrführung von Materialien zu unterstützen.

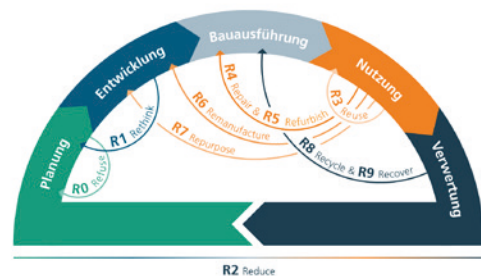


Abbildung 2: »9R-Strategie« auf allen Stufen der Wertschöpfung. © Fraunhofer IBP

Diese Begriffs-Erweiterung muss sowohl im Bewusstsein und Verständnis der Gesellschaft als auch in Regelwerken etabliert werden und liegt auch diesem Papier zugrunde.

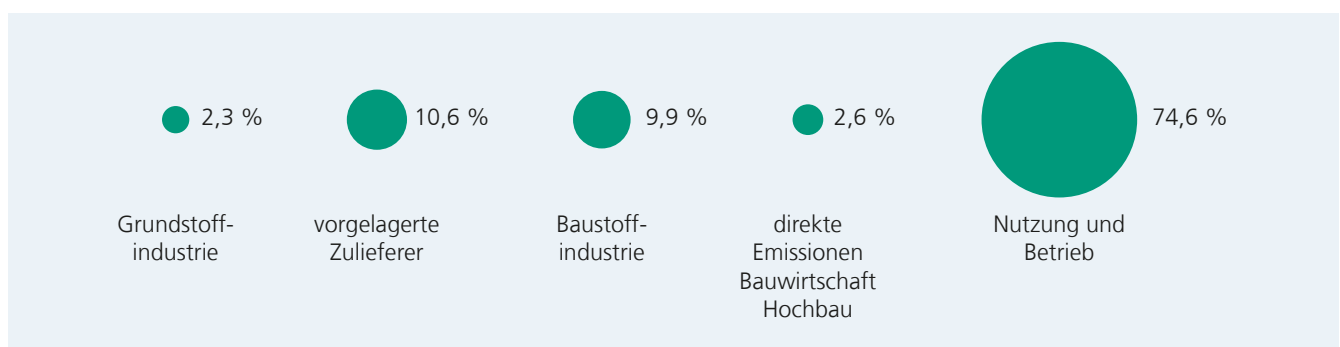


Abbildung 1: Anteile am gesamten THG-Fußabdruck des Handlungsfelds »Errichtung und Nutzung von Hochbauten« (398 Mio. t CO₂-Äq.) nach (4).

Gebäude

Ein wichtiges Teilziel zur Senkung der Auswirkungen der Gebäudewirtschaft für Klima und Umwelt ist die Reduktion des Rohstoffverbrauchs.

Aktuelle Nachhaltigkeitsanstrengungen fokussieren primär auf die Energieeffizienz von Gebäuden, denn die Wärmeerzeugung verantwortet mit einem Anteil von ca. 90 % den Löwenanteil der betrieblichen Emissionen (6). Doch nicht ausschließlich die Kohlenstoffemissionen im Betrieb sind für die Stellung der Bauwirtschaft innerhalb der Nachhaltigkeitsdebatte relevant: Aus dem in Abbildung 3 dargestellten Vergleich zwischen einem Neubau nach energetisch gesetzlichem Mindeststandard und einem Neubau in sehr effizienter Bauweise wird deutlich, dass die Gesamtauswirkungen mit zunehmend energieeffizienter Bauweise sinken, die Errichtung dieser Gebäude aber einen höheren THG-Ausstoß verursacht. Um den Rohstoffverbrauch von Gebäuden insgesamt signifikant zu senken, ist es daher notwendig auch in der Errichtung und Sanierung von Gebäuden einen geringeren Primärrohstoffverbrauch zu erzielen.

Eine Begutachtung der erhaltenswerten Bausubstanz vor Gebäuderückbau/Abbruch (auch genannt: Pre-Demolition Audit) berücksichtigt die verbaute »graue Energie« eines Gebäudes. Mit der DIN SPEC 91484 von September 2023 (7) wurde bereits eine öffentlich verfügbare Spezifikation entworfen, wonach Gebäude vor deren Rückbau systematisch erfasst und dokumentiert werden können. Die Richtlinie hilft, den Abbruch von Gebäuden datengestützt zu hinterfragen und eine mögliche Anschlussnutzung von Bauprodukten zu bewerten. Ergänzend zur Weiternutzung einzelner Bauteile und Materialien ist aus der Perspektive der Kreislaufwirtschaft auch Umbau und Sanierung gegenüber Abriss und Neubau zu bevorzugen.

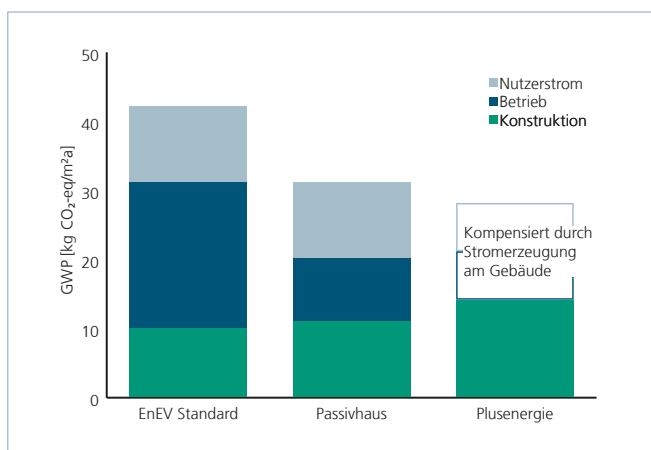


Abbildung 3: Umweltwirkung (Global Warming Potential) verschiedener Bauweisen am Beispiel Einfamilienhaus nach (8).

Material- und Ressourceneffizienz

Einerseits stellt die Vielfalt der im Bau verwendbaren Materialien eine Herausforderung für die Kreislaufwirtschaft dar, andererseits ergeben sich daraus auch Chancen zur Verbesserung der Material- und Ressourceneffizienz sowie für den Klimaschutz:

- Der verstärkte Einsatz von biobasierten Baustoffen bzw. Materialien aus CO₂-speichernden, nachwachsenden Rohstoffen hilft, die Treibhausgasemissionen signifikant zu verringern und oftmals auch den Energiebedarf für die Produktion zu senken. Das Spektrum biobasierter Materialien im Baubereich reicht vom Holz über industrielle Naturfasern (Flachs, Hanf, Jute, Mycel etc.), Agrofaser (Reststoffe aus der Landwirtschaft wie Gras und Stroh) und Bioharzen bis hin zu Bioverbundwerkstoffen.
- Intelligente Leichtbaukonzepte ermöglichen eine materialübergreifende Reduktion des Rohstoffeinsatzes. Dies hat besondere Relevanz für mineralische, zementhaltige Baustoffe wie Beton als weiterhin sehr häufig verwendeten Baustoff. Neuartige Materialzusammensetzungen (z. B. Polymerbetone) ermöglichen eine hohe Tragfähigkeit bei geringem Eigengewicht. Hybride Materialsysteme wie Holz-Beton verbinden die positiven Eigenschaften mehrerer Materialklassen. Innovative Fertigungsverfahren (z. B. 3D-Druck) gestatten eine architektonisch ansprechende Formsprache bei zeitgleich ressourcensparendem Materialeinsatz (z. B. Gradientenbeton). Die Herausforderung liegt auch bei Leichtbauweisen darin, diese Materialinnovationen kreislauffähig zu gestalten und deren Einsatz mit Blick auf zukünftige Weiternutzung zu planen. Entsprechende Bauten können eine sehr lange Lebensdauer haben und lassen bei modularer Bauweise Wiederverwendbarkeiten erwarten. Zudem sind Leichtbaukonstruktionen, unabhängig vom Material, durch ihr geringes Gewicht energiesparender und kostengünstiger zu transportieren.
- Um die Kreislaufführung praktisch umsetzbar zu machen, müssen auch für grundsätzlich kreislauffähige Materialien und Baustoffe künftig bereits beim Produktdesign bzw. im Entwurfsprozess Materialtrennung und -fühlung mitgedacht werden. Hier liefern modulare Konzepte mit vorgefertigten Bauelementen Vorteile, jedoch erfordern auch sie leistungsfähige sensitive Trenn-, Sortier- und Aufbereitungsverfahren am Lebensende des Bauwerks.



Abbildung 4: Kreislaufwirtschaft im Bauwesen am Beispiel von Holz. © Fraunhofer WKI, Corel Corporation

Kreislauffähigkeit

Ältere Bauwerke wurden teilweise ohne das heutige Wissen um die Notwendigkeit und Möglichkeiten von Rückbau und Wiederverwendung erbaut und sind in ihrer Bauweise nicht auf eine sortenreine Materialtrennung ausgelegt. Durch den kostengünstigen teilselektiven Abbruch und den Einsatz der Bauschutt-Fractionen im Straßenbau wird die Entwicklung von selektiven Trenntechniken und Technologien zur Erzeugung von qualitativ hochwertigen Materialfraktionen vernachlässigt. Verbaute Materialien sind zudem vereinzelt schadstoffbelastet und müssen aus dem Materialkreislauf ausgeschleust werden. Der erlaubte Schadstoffgehalt für die Verwendung als Sekundärmaterial liegt dabei nach Norm allerdings so niedrig, dass heutige Abbruch- und Recyclingverfahren diesen Richtwerten meist nicht Genüge leisten können.

Vielversprechende innovative Recyclingverfahren mit hohen Material-Rückgewinnungsraten und CO₂-Einsparpotenzialen brauchen daher Incentivierungen, um aus dem Labor- oder Technikmaßstab in einen industriellen Maßstab überführt zu werden. Die Verfahren reichen von dezentral einsetzbaren Trenntechniken, über die sortenreine Materialtrennung durch elektrodynamische Fragmentierung bis hin zur Pyrolyse, wobei kohlenstoffreiche Reststoffe bei der thermischen Behandlung von Abfällen unter Sauerstoffausschluss anfallen (bspw. zur Behandlung von teerhaltigem Straßenabbruch) und als potenzielle Kohlenstoffbasis für neue Bauchemikalien genutzt werden können. Ergänzend müssen Methoden zur Behandlung bzw. Neutralisierung von schadstoffbelasteten Materialien weiterentwickelt werden.

Produkte aus innovativen Behandlungsverfahren können als wertvolles Ausgangsmaterial für industrielle Produktionsprozesse genutzt oder als CO₂-Senke für klimaneutrale Baustoffe verwendet werden.

Digitalisierung

Die Nachverfolgbarkeit und spätere Verwertung von Bauteilen sind im Sinne einer konsequenten Kreislaufwirtschaft von großer Bedeutung. Um dies für künftige Bauten zu erreichen, müssen zunehmend das Building Information Modeling (BIM) und Digitale Zwillinge von Gebäuden genutzt werden. Diese ermöglichen die Dokumentation von materialspezifischen Informationen und die zielgerichtete Nutzung eines digitalen Gebäuderessourcenpasses. Darauf aufbauend sollte eine durchgängige, digitalisierte Informationskette über verarbeitete Materialien etabliert werden, etwa durch Produkt-Informationssysteme und Datenstandards zur Bestimmung von Baumaterialien, deren Zusammensetzung, Verarbeitungsschritte und Herkunft der Rohstoffe sowie den insgesamt damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen.

Um die generierten Daten für verschiedenste Anwendungen im Bauwesen effektiv nutzen zu können ist es notwendig, sie nach vorgegebenen, offenen Standards auf einer zentralen Plattform speichern zu können und einen gesicherten Zugriff und eine effiziente Nutzung der Daten für verschiedenste Anwendungen im Bauwesen zu ermöglichen.

Empfehlungen

Das Know-how für eine zirkuläre Wertschöpfung in der Baubranche muss verstärkt werden. Dazu werden zielgruppenorientierte Kommunikations- und Weiterbildungsmaßnahmen in allen Wertschöpfungsstufen der Branche empfohlen.

Gebäude

- Die »graue« Energie von Gebäuden (Primärenergie für Herstellung von Gebäuden inkl. Transport und Lagerung aller Materialien und Bauteile) ist bei der Strategie zur Erreichung der Klimaziele einzubeziehen. Ziel sollte der Erhalt des Bestands und damit die Schonung der Ressourcen sein.
- Auf die **Verringerung des Gesamtressourceneinsatzes** sollte sowohl mit Blick auf die Betriebsphase als auch bei der Herstellung und Sanierung von Gebäuden, fokussiert werden.
- Ansätze zur **Umnutzung von Gebäude-Typen** (Wohnungsbau, Gewerbe, u. w.) sollten mit angepassten Anforderungen an Wohngebäude und Städtebau sowie mit Förderinstrumenten unterstützt werden.
- Rückbau und anschließender Neubau müssen begründet und die rückgebauten Gebäude aktiv als Rohstofflager für Sanierung und Neubau genutzt werden. Um das Potenzial des **anthropogenen Materiallagers** zu nutzen, müssen Technologien zur Identifikation der darin enthaltenen Materialien und Bauteile sowie zu deren Aufbereitung gefördert und regionale Marktplatz-Strukturen dafür politisch motiviert werden.

Materialien- und Ressourceneffizienz

- Um mehr nachhaltige Materialien und Technologien für die Bauwirtschaft zu erschließen, sind kontinuierlich Impulse aus der Forschung erforderlich. Diese müssen durch geeignete **FuE-Fördermaßnahmen** forciert werden.
- Um den besonderen Hebel von **Leichtbautechnologien** für die Dekarbonisierung im Gebäudesektor umzusetzen, sollte eine entsprechend erfolgreiche, bedarfsorientierte FuE-Förderung wie zuletzt durch das Technologietransferprogramm Leichtbau des BMWK fortgesetzt werden.
- Der Einsatz von kreislauffähigen, rein mineralischen und **CO₂-bindenden Baumaterialien** sowie von geprüften Sekundärmaterialien (mit Rezyklat versetzte oder rezyklierte Materialien) und Sekundärbauteilen (Re-Use) sollte durch vereinfachte Vorschriften und Zulassungsverfahren unterstützt werden.
- Ein auf die zirkuläre Wertschöpfung hin **optimiertes Produktdesign** sollte auf nationaler und auf europäischer Ebene politisch motiviert, regulatorisch verankert und durch Marktanreize forciert werden. Bei der Sanierung und Erstellung von Gebäuden sollten verpflichtend zirkuläre Materialien berücksichtigt werden.

Kreislauffähigkeit

- Bei der Genehmigung und Zulassung von R-Materialien ist ein wissenschaftlich fundiertes und proaktives Vorgehen erforderlich. Produkte müssen mit einer höheren **Toleranz gegenüber rezyklatbedingten Effekten** ausgelegt und weiterentwickelt werden.
- Um die Kreislaufführung nachhaltiger, klimafreundlicher Materialien und Bauteile praktisch umsetzbar zu machen, müssen flexible, sensitive, robuste und dezentral einsetzbare **Trenn-, Sortier- und Aufbereitungsverfahren** auch für große Massendurchsätze entwickelt und zum Standard ausgereift werden.
- Es müssen **Analysemethoden und Verfahren** entwickelt werden, um baustoffimmanente, nutzungsbedingte und umweltbedingte Schadstoffe in verbauten Materialien zu identifizieren und aus dem Kreislauf auszuschleusen.
- Auf regulatorischer Seite sind **pragmatische Ansätze** notwendig, die Mensch und Umwelt vor Schadstoffgefahren schützen und gleichzeitig den Weg für die Wiederverwendung von Materialien bzw. Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen ebnen.

Digitalisierung

- Da Rückbau und Wiederverwertung oftmals nicht am gleichen Ort erfolgen, sind digitale und physische Anlaufstellen zur **Registrierung und Lagerung** von rückgebautem Material einzurichten.
- Ein digitaler **Gebäuderessourcenpass** ist mit Building Information Models und Digitalen Zwillingen zu verknüpfen, um alle Stakeholder über Baustoffe, CO₂-Impact und Zirkularität zu informieren.
- **Synergien mit Ökobilanzmodellen** können den Aufbau von Ressourcenpässen wesentlich vereinfachen und sollten genutzt werden (vgl. (9)).
- Für eine durchgängige digitale Informationskette mit sicheren und qualifizierten Daten bedarf es passender **Informationsarchitekturen**. Um die Entwicklung und Implementierung von Technologien zur Nachverfolgbarkeit, für Datenplattformen und Modellierungsvorgaben voranzutreiben, bedarf es der Förderung entsprechender Forschungsvorhaben.

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – Materials bündelt die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft. Materialforschung bei Fraunhofer umfasst die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien über deren Herstellungstechnologien im industrienahen Maßstab, die Charakterisierung der Materialeigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens im Bauteil. Der Verbund setzt sein Know-how schwerpunktmäßig in den volkswirtschaftlich bedeutenden Handlungsfeldern Mobilität und Transport, Umwelt und Energie, Gesundheit, Sicherheit sowie Bauen und Wohnen ein. Ziel ist es, mit maßgeschneiderten und nachhaltigen Werkstoff-, Bauteil- und Produktentwicklungen Innovationen für die Märkte von heute und morgen zu forcieren. Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – Materials beschäftigt etwa 4.100 Mitarbeitende.

Kontakt

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – Materials
www.materials.fraunhofer.de
info-verbund-materials@lbf.fraunhofer.de

Verbundvorsitzender
Prof. Dr. Peter Gumbsch

Stellv. Verbundvorsitzender
Prof. Dr. Bernd Mayer

Geschäftsführung
Dr. Ursula Eul
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt
Telefon +49 6151 705-262
Mobil: +49 172 611 4629

Quellen- und Literaturangaben

- (1) Statistisches Bundesamt. Erwerbstätige und Arbeitnehmer nach Wirtschaftsbereichen. [Online] 2024. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetigkeit/Tabellen/arbeitnehmer-wirtschaftsbereiche.html>.
- (2) Dechantsreiter, U. und Horst, P. Wiederverwendung von Bauteilen - Beitrag für Ressourceneffizienz und Klimaschutz. 2022.
- (3) Umweltbundesamt. Abfallaufkommen. [Online] 2. Oktober 2024. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#deutschlands-abfall>.
- (4) Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. Dezember 2020.
- (5) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Entwurf einer Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie. 2024.
- (6) Umweltbundesamt. Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. [Online] 2. April 2024. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme>.
- (7) DIN SPEC 91484:2023-09. September 2023.
- (8) Umweltbundesamt. Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus. 2019.
- (9) Deutscher Bundestag. Unterrichtung durch die Bundesregierung: Gemeinsamer Bericht über Forschungsergebnisse zu Methodiken zur ökobilanziellen Bewertung von Wohn- und Nichtwohngebäuden. Drucksache 20/8830.