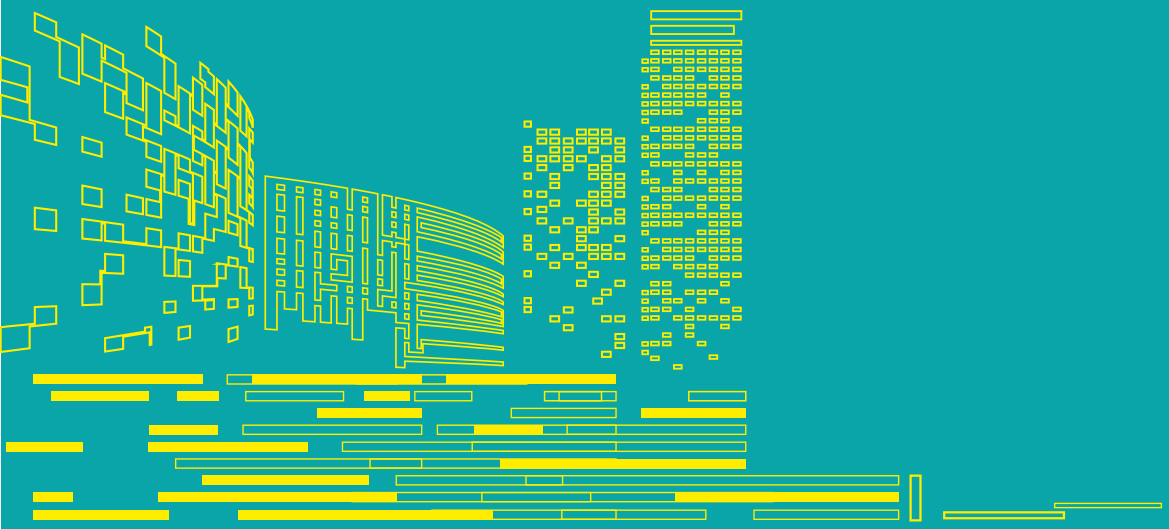
CEWI

RESSOURCENEFFIZIENT
KLIMANEUTRAL



Gebäude

Chancen und Risiken im Gebäudesektor für die Umsetzung einer klimaneutralen und ressourceneffizienten zirkulären Wirtschaft

Vorstudie im Rahmen des Verbundvorhabens Circular Economy als Innovationsmotor für eine klimaneutrale und ressourceneffiziente Wirtschaft (CEWI)

Nadine Braun, Lucie Hopfensack, Marina Fecke und Dr. Henning Wilts

Mai 2021

Stiftung 2° Deutsche Unternehmer für Klimaschutz

Wuppertal Institut

WWF

Gefördert durch:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
CE	Circular Economy

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Bewertung der Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Schließung der Stoffkreisläufe 18
Tabelle 2: Bewertung der Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz 20
Tabelle 3: Bewertung der Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Verlängerung der Lebensdauer und effizientere Nutzung der Produkte 23
Tabelle 4: Bewertung der Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Substitution von Rohstoffen und Materialien 26

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Vorgehensweise 8
Abbildung 2: Zuordnung der Strategien verschiedener CE-Modelle zu den in der Vorstudie zugrunde liegenden Ansätzen 8
Abbildung 3: Bewertungskriterien bzgl. Klimaneutralität, Ressourceneffizienz und allgemeiner Hindernisse 9
Abbildung 4: Bewertungskriterien bzgl. Entwicklungsstand und Potenzialen für Geschäftsmodelle 10
Abbildung 5: Schematische Darstellung – Phase 2: Analyse und Phase 3: Ergebnis 10
Abbildung 6: Die Wertschöpfungskette eines Gebäudes 11
Abbildung 7: Rechtliche Rahmenbedingungen für eine CE und den Klimaschutz 12
Abbildung 8: CE-Ansätze und deren Leitsätze 15
Abbildung 9: Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Schließung der Stoffkreisläufe 16
Abbildung 10: Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatzes Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz 19
Abbildung 11: Maßnahmen-Cluster des CE-Ansatzes Verlängerung der Lebensdauer und effizientere Nutzung der Produkte 21
Abbildung 12: Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Substitution von Rohstoffen und Materialien 24
Abbildung 13: Wertschöpfungskette eines Gebäudes inklusive ausgewählter Handlungsfelder 27
Abbildung 14: Nächste Schritte im Projektverlauf von CEWI 29
Abbildung 15: Mögliche Fragestellungen zu den ausgewählten Handlungsfeldern 29

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 2

TABELLENVERZEICHNIS 3

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 4

1 KURZER HINTERGRUND UND PROJEKTVORSTELLUNG 6

1.1 Einleitung 6

1.2 Status Quo 6

1.3 CEWI als Innovationsmotor 6

2 DER GEBÄUDESEKTOR 11

2.1 Sektor und Wertschöpfung 11

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen 12

2.3 Notwendigkeit für Klimaschutz und Ressourceneffizienz im Sektor 13

2.4 Herausforderungen für die Entwicklung eines nachhaltigen Gebäudesektors 14

3 CE-ANSÄTZE IM GEBÄUDESEKTOR 15

3.1 Schließung der Stoffkreisläufe 15

3.2 Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz 18

3.3 Verlängerung der Lebensdauer und effizientere Nutzung der Produkte 20

3.4 Substitution von Rohstoffen und Materialien 23

4 HANDLUNGSFELDER FÜR DAS PROJEKT CEWI 27

5 LITERATURVERZEICHNIS 30

1 KURZER HINTERGRUND UND PROJEKTVORSTELLUNG

1.1 Einleitung

Diese Kurzstudie ist Teil des Verbundvorhabens „Circular Economy als Innovationsmotor für eine klimaneutrale und ressourceneffiziente Wirtschaft (CEWI)"[1] der *Stiftung 2°*, dem *WWF Deutschland* und dem *Wuppertal Institut* und hat zum Ziel, die Potenziale des Gebäudesektors und der dazugehörigen Wertschöpfung im Hinblick auf die Umsetzung von zirkulären Ansätzen zu analysieren und den Beitrag zur Ressourceneinsparung und dem Klimaschutz zu bewerten. Das Ergebnis dieser Kurzstudie leitet sich aus einem intensiven Bewertungsprozess verschiedener Maßnahmen-Cluster ab und besteht aus sechs Handlungsfeldern, die ein Potenzial für den Ausbau von Klimaneutralität und Ressourceneffizienz im Gebäudesektor aufweisen. Diese Handlungsfelder bilden die Grundlage für den weiteren Projektverlauf von CEWI, in dem Industrieakteure in Workshops gemeinsam Pilotprojekte modellieren werden.

1.2 Status Quo

Der nachhaltige Umgang mit natürlichen Ressourcen und die Begrenzung des Klimawandels auf deutlich unter 2 Grad Celsius stellen gegenwärtig die größten Herausforderungen in Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik dar. Die globale Ressourcennutzung steigt weiterhin dramatisch an: Zwischen 1970 und 2017 ist der Verbrauch um mehr als das Dreifache gestiegen.[2] Für die Zukunft wird ein weiterer Anstieg prognostiziert, insbesondere bedingt durch die stetige Zunahme der globalen Bevölkerung und der gleichzeitig unveränderten Konsummuster. Die globale Ressourcengewinnung hat sich während der letzten 50 Jahre exponentiell beschleunigt.[3] Allein im Jahr 2017 betrug die Menge der globalen Materialgewinnung 92 Milliarden Tonnen und damit "mehr als die dreifache Menge, die 1970 verbraucht wurde".[4] In diesem Zusammenhang wird eine steigende Anzahl an Umweltproblemen sowie deren zunehmende Komplexität beobachtet. Dazu gehören neben dem Ressourcenverbrauch Problematiken wie Klimawandel, Biodiversitätsverlust und Landnutzungsänderungen.

Als Lösungsansatz wird eine Entkopplung des Ressourcenverbrauchs von der wirtschaftlichen Entwicklung beziehungsweise von der Entwicklung des Wohlstands angesehen.[5] Eine Strategie zur Erreichung dieses Ziels ist beispielsweise die Steigerung der Ressourceneffizienz.[6] Ein erweiterter Ansatz dieser Strategie ist die Circular Economy (folgend CE), welche sich in den letzten Jahren immer stärker etabliert hat.

Die überwiegend lineare Wirtschaftsweise und das damit verbundene enorme Abfallaufkommen stellen Volkswirtschaften weltweit vor massive Herausforderungen, weshalb der Übergang in eine CE stärker forciert wird als jemals zuvor. Mit dem „Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen für Deutschland" – genannt ProgRess – wurde das Thema auf politischer Ebene in Deutschland verankert.

---

[1] Weitere Informationen über das Verbundvorhaben finden Sie unter https://www.cewi-projekt.de

[2] Bringezu u.a. 2017.

[3] Steffen u.a. 2015.

[4] Bringezu u.a. 2017.

[5] Schmidt-Bleek u.a. 1998.

[6] Greiff; Faulstich 2018.

Eine Leitlinie adressiert in dem Programm das Ziel die „Wirtschafts- und Produktionsweisen in Deutschland schrittweise von Primärrohstoffen unabhängiger zu machen, die Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln und auszubauen“.[7] Allgemein wird das Konzept der CE als eine wesentliche Strategie angesehen den Rohstoff- und Ressourcenverbrauch wirksam zu senken. Neben dem Recycling sollen Materialien vor allem länger im Wirtschaftszyklus gehalten werden, unter anderem durch Reparatur sowie Wieder- und Weiterverwendung.

Die Politik hat auf europäischer Ebene mit dem Green Deal und auf nationaler Ebene mit Gesetzen wie dem Kreislaufwirtschaftsgesetz oder dem Abfallvermeidungsprogramm damit begonnen, die Rahmenbedingungen für eine Kreislaufwirtschaft zu schaffen. Diese ermöglichen jedoch bislang noch keine umfassende Transformation des Systems, da sie teilweise noch die Umsetzung von konkreten Maßnahmen hemmen. Beispielsweise erschwert das derzeitige Steuersystem der Europäischen Union die Entstehung von zirkulären Geschäftsmodellen, da Subventionen für die Rohstoff- und Verarbeitungssektoren bereitgestellt werden, die den Einsatz von Primärrohstoffen begünstigen.[8] Um den Anreiz zur Förderung einer CE für Unternehmen zu setzen, gilt es den Fokus der Besteuerung auf Naturkapital zu richten. Die Richtlinien müssen europaweit einheitlich etabliert werden, damit es nicht zu Wettbewerbsnachteilen kommt.[9] Darüber hinaus existieren weitere sektorspezifische Herausforderungen, welche in Kapitel 2.4 näher betrachtet werden.

1.3 CEWI als Innovationsmotor

Für Wirtschaftsakteure bietet die CE verschiedene Vorteile. Auf der einen Seite verweist die *Ellen MacArthur Foundation* beispielweise auf die enormen Kosteneinsparpotenziale, die sich aus innovativen Lösungen zur Abfallvermeidung, Wiederverwendung von Materialien und Neugestaltung von Prozessen ergeben können.[10] Zusätzlich lassen sich in Europa laut einer Studie von *Material Economics* CO_2-Emissionsreduktionen von etwa 56 Prozent bis zum Jahr 2050 durch die Umsetzung von kreislaufwirtschaftlichen Ansätzen erreichen.[11] Andere Studien schätzen dieses Potenzial sogar noch höher ein: *Stuchtey* (2016) geht davon aus, dass die CO_2-Emissionen bis 2050 zwischen 23 und 60 Prozent gegenüber den aktuellen Entwicklungen reduziert werden können.[12] Das Themengebiet der CE ist dabei sehr facettenreich und weitläufig. Es erstreckt sich von der Analyse und Optimierung von Stoffkreisläufen und Materialinputs über diverse Prozessoptimierungs- und Monitoringmaßnahmen im Kontext der Digitalisierung bis hin zur Um- oder Neugestaltung einzelner Produkte, Produktionsprozesse sowie vollständiger Geschäftsmodelle. Aus diesem Grund variieren die Themenschwerpunkte, Anwendungsfelder und Umsetzungsstrategien stark in Abhängigkeit von der jeweiligen Branche.

Vorgehen und Methodik bei CEWI

Zunächst wurde ein Definitionsrahmen für den Automobilsektor gesetzt, eine Übersicht zu bestehenden Aktivitäten erstellt und darauf basierend Handlungsfelder abgeleitet, die einen möglichst hohen Impact in Bezug auf Klimaneutralität und Ressourceneffizienz besitzen. Die nachfolgende Abbildung stellt die Vorgehensweise zusammenfassend dar.

---

[7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2015.

[8] OECD 2019.

[9] Wijkman; Skånberg; Berglund 2015.

[10] Ellen MacArthur Foundation 2016.

[11] Material Economics 2018.

[12] Stuchtey 2016.

Abbildung 1: Vorgehensweise

Phase 1: Vorbereitung bildet die Grundlage für die Analyse in *Phase 2*, die in der Kurzstudie den Hauptbestandteil bildet und als Basis für die *Phase 3: Ergebnis* und dem weiteren Projektverlauf dient.

In der Wissenschaft und Praxis gibt es derzeitig verschiedene Definition und Modelle einer CE, deren Zielsetzungen und zugrunde liegenden Philosophien voneinander abweichen und von denen sich bisher keine „final“ durchgesetzt hat. In **Schritt I** wurden aus diesem Grund das 9R-Modell, das Butterfly Diagramm, das ReSOLVE-Modell und die Material Economics-Modellierung inklusive der enthaltenen Strategien betrachtet. Auf Basis dieser Betrachtung wurden vier CE-Ansätze abgeleitet, welche zum einen die Themen der Modelle abdecken und zum anderen das Verständnis einer CE für CEWI übersichtlich präsentieren. Die für CEWI abgeleiteten CE-Ansätze sind: Schließung der Stoffkreisläufe, Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz, Verlängerung der Lebensdauer und effizientere Nutzung der Produkte sowie Substitution von Rohstoffen und Materialien. Diese sollen dazu beitragen, relevante Handlungsfelder abzuleiten und Unternehmen dabei zu unterstützen, mögliche Maßnahmen in ihrem Handlungsspielraum identifizieren und erstellen zu können.
Für jeden der vier Ansätze wurde zudem ein Leitsatz definiert. Abbildung 2 stellt die im ersten Schritt für CEWI abgeleiteten CE-Ansätze und den dazugehörigen Leitsatz dar. Zudem werden die Strategien der betrachteten CE-Modelle den Ansätzen zugeordnet.

	1| Schließung der Stoffkreisläufe	2| Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz	3| Verlängerung der Lebensdauer & effizientere Nutzung der Produkte	4| Substitution von Rohstoffen und Materialien
Leitsatz	**Rohstoffe/Materialien so lange wie möglich nutzen**	**So wenig Rohstoffe/ Materialien wie möglich einsetzen**	**Produkte so lange wie möglich (intensiv) nutzen**	**Negative Auswirkungen von Rohstoffen/ Materialien/Produkten reduzieren/vermeiden**
CE-Modellierung von Material Economics	Material Recirculation	Product Materials Efficiency	Circular Business Models	
9R-Modell	Recycle (Recover)	Reduce	Refuse, Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Rethink	Reduce, Refuse
Butterfly Diagramm	Recycle	Optimize	Share, Maintain/Prolong, Reuse/Redistribute, Refurbish/Remanufacture	Extraction of biochemical Feedstock
ReSOLVE Framework	Loop		Share, (Loop)	Exchange, Regenerate

Abbildung 2: Zuordnung der Strategien verschiedener CE-Modelle zu den in der Vorstudie zugrunde liegenden Ansätzen[13]

[13] Material Economics 2018; Buchberger u.a. 2019; Tambovceva; Titko o. J.; Ellen MacArthur Foundation 2015; McKinsey 2016.

In **Schritt II** der ersten Phase findet eine Recherche zu bestehenden Maßnahmen für die einzelnen CE-Ansätze statt. Im Mittelpunkt stehen an dieser Stelle vor allem unternehmerische Aktivitäten, welche sich den zuvor definierten CE-Ansätzen zuordnen lassen und sich in unterschiedlichen Umsetzungsstadien (z. B. Praxisanwendungen, Forschungsprojekten etc.) befinden. Zur Erleichterung der Analyse werden in **Schritt III** diese Maßnahmen innerhalb der CE-Ansätze thematisch geclustert und im weiteren Verlauf bewertet.

In Phase 2 findet die Analyse statt. **Schritt IV** beinhaltet die Bewertung der Maßnahmen-Cluster. Diese werden jeweils hinsichtlich ihrer Chancen und Risiken für die Verwirklichung der Klimaneutralität und Ressourceneffizienz im Automobilsektor eingeschätzt. Diese Einschätzungen werden mit Hilfe von Ampelfarben anschaulich präsentiert (grün für hohes, gelb für mittleres und rot für geringes Potenzial). Hinzu kommt die Berücksichtigung allgemeiner (und maßnahmenübergreifender) Hindernisse, die einer Etablierung im Wege stehen beziehungsweise diese erschweren können. Hindernisse können beispielweise regulatorischer oder technischer Natur sein, können aber auch auf Unternehmens- bzw. Konsumentenseite auftreten (z. B. fehlende Datenverfügbarkeit oder geringe Nachfrage). Die der Bewertung zugrunde liegenden Kriterien sind in Abbildung 3 aufgeführt.

Klima-neutralität

Chancen für Klimaneutralität

- Geringes Potenzial durch fehlende oder nur geringe klimapositive Auswirkungen.
- Mittleres Potenzial durch CO_2-Einsparungen.
- Hohes Potenzial durch hohe CO_2-Einsparungen und/oder zusätzliche Vorteile.

Risiken für Klimaneutralität:

- Hohes Risiko von negativen Nebeneffekten mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit.
- Mittleres Risiko von negativen Nebeneffekten mit einer geringen bis mittleren Eintrittswahrscheinlichkeit.
- Geringes Risiko für Nebeneffekte.

Ressourcen-effizienz

Chancen für Ressourceneffizienz

- Geringes Potenzial durch einen geringen/fehlenden Beitrag zur Ressourcenschonung.
- Mittleres Potenzial durch einen mittleren Beitrag zur Ressourcenschonung, in Form von Materialeinsparung oder teilweise geschlossenen Stoffkreisläufen.
- Hohes Potenzial durch Schließung eines Stoffkreislaufs u. a. in Form von hohen Ressourceneinsparungen, Vermeidung von Abfällen und/oder zusätzliche Vorteile (z. B. die Erleichterung der Sammlung bzw. die Aufbereitung).

Risiken für Ressourceneffizienz

- Hohes Risiko von starken Beeinträchtigungen der Recyclingfähigkeit von Produkten oder Materialien mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit.
- Mittleres Risiko von Beeinträchtigungen der Recyclingfähigkeit (geringe bis mittelhohe Eintrittswahrscheinlichkeit).
- Geringes Risiko von Beeinträchtigungen der Recyclingfähigkeit.

Hindernisse

Hindernisse beeinträchtigen die flächendeckende Umsetzung bzw. die Wirksamkeit von klimaschützenden Maßnahmen und/oder den Aufbau bzw. die effektive Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft.

- Viele Hindernisse, bspw. in Form von regulatorischen Rahmenbedingungen oder Hindernissen auf Unternehmens- und Konsumentenseite (z. B. technische Herausforderungen oder fehlende Akzeptanz/Nachfrage).
- Einige Hindernisse.
- Wenige Hindernisse.

Abbildung 3: Bewertungskriterien bzgl. Klimaneutralität, Ressourceneffizienz und allgemeiner Hindernisse

In **Schritt V** und **VI** wird eine abschließende Beurteilung und Ableitung der Cluster vorgenommen. Für den weiteren Projektverlauf werden Handlungsfelder ermittelt, die als Aktionsradius für die Unternehmen dienen. Hier sollen insbesondere Maßnahmen-Cluster ausgewählt werden, die einen hohen Impact sowohl auf Klimaneutralität als auch auf Ressourceneffizienz besitzen. Zur Auswahl der Handlungsfelder werden, zusätzlich zu den bisher erläuterten Chancen und Risiken, zwei weitere Kriterien zur Beurteilung herangezogen: das Entwicklungspotenzial und das Potenzial für Geschäftsmodelle. Für die Bewertung der Potenziale wird ebenfalls auf die Ampelfarben zurückgegriffen. Dies soll eine Beurteilung der Maßnahmen-Cluster bezüglich Umsetzbarkeit und zukünftiger Entwicklungen erlauben sowie die Ableitung der Handlungsfelder in Phase 3 ermöglichen (siehe Abbildung 4).

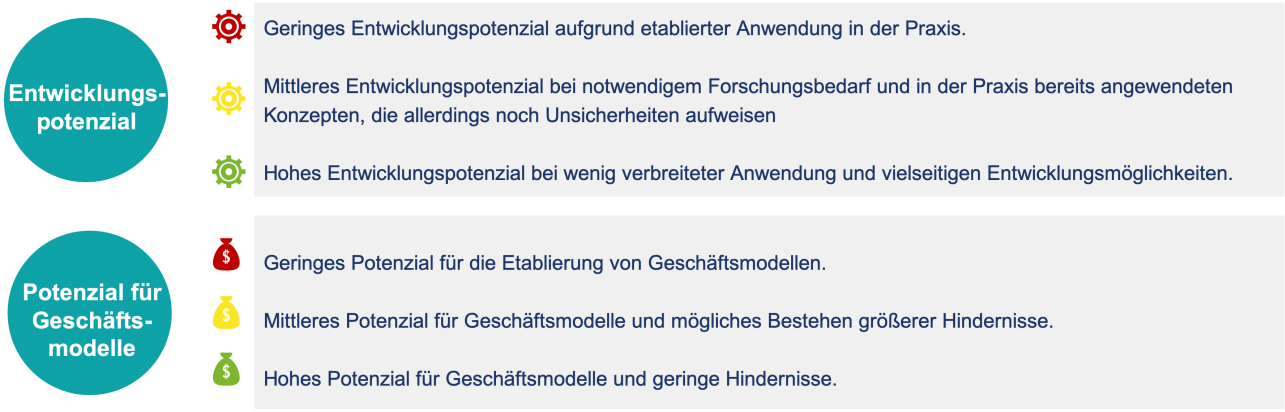


Abbildung 4: Bewertungskriterien bzgl. Entwicklungsstand und Potenzialen für Geschäftsmodelle

Die Ergebnisse der Analyse ermöglichen es daraufhin, die für den weiteren Projektverlauf (mit Blick auf die Workshop-Phase) wesentlichen Handlungsfelder zu identifizieren. Konkret werden Cluster mit einem geringen Entwicklungspotenzial von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Nach Auswahl der Handlungsfelder wurden Fragestellungen abgeleitet, die für die weitere Zusammenarbeit mit Unternehmen als Ideenanstoß für Pilotprojekte dienen können. Des Weiteren wurden die Wertschöpfungsketten der beiden Sektoren untersucht und wichtige Akteure identifiziert. Diese sollten gewonnen werden, um in der Workshop-Phase des Projekts ambitionierte Ideen zur Umsetzung der Handlungsfelder zu entwickeln. Abbildung 5 fasst die durchgeführten Analyseschritte zusammen.

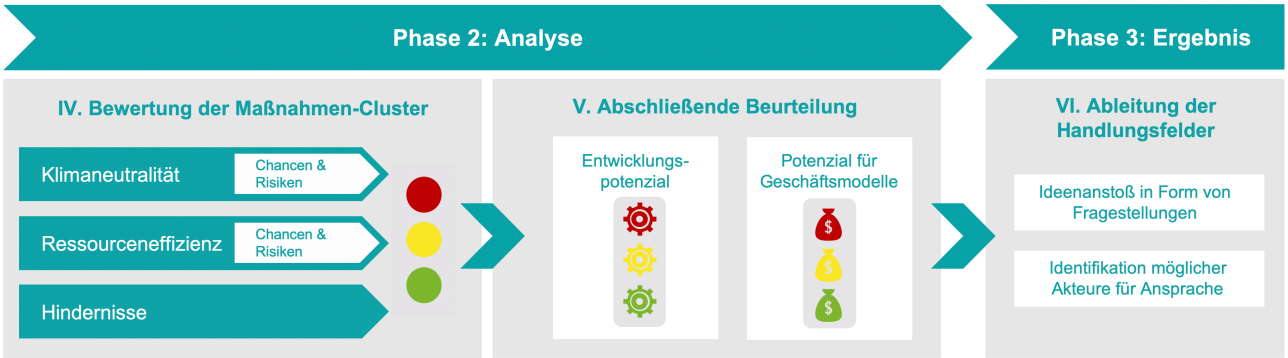


Abbildung 5: Schematische Darstellung – Phase 2: Analyse und Phase 3: Ergebnis

2 DER GEBÄUDESEKTOR

Der Fokus dieser Kurzstudie ruht auf dem Gebäudesektor und den dort möglichen Beiträgen einer CE. Dieses Kapitel stellt daher zunächst einen Überblick über den betrachteten Sektor und dessen Wertschöpfungskette dar und veranschaulicht darüber hinaus die rechtlichen Rahmenbedingungen, die Notwendigkeit für Klimaschutz und Ressourceneffizienz, sowie mögliche Herausforderungen für die Transformation in eine CE.

2.1 Sektor und Wertschöpfung

Gebäude zählen zu sehr langlebigen Produkten, da ihre Nutzungsdauer in der Regel mehr als 50 Jahren beträgt. Dies hat insbesondere Einfluss auf die Möglichkeit des Recyclings der Baustoffe, da diese über einen langen Zeitraum verbaut werden. Aus diesem Grund bietet es sich gerade im Gebäudesektor an, Ansätze zur Erhöhung der Kreislauffähigkeit und Klimaneutralität von Gebäuden zu implementieren. Aufgrund der Komplexität des Baugewerbes werden zunächst die betrachteten Wirtschaftszweige konkretisiert. Der Begriff Gebäudesektor umfasst in dieser Kurzstudie Tätigkeiten, welche im direkten Zusammenhang mit dem vollständigen Bau von Gebäuden[14] inklusive des Aus- und Umbaus stehen. Darin enthalten sind beispielweise Aktivitäten aus dem Hochbau (Bau von Gebäuden) sowie vorbereitende Baustellenarbeiten (Bauinstallationen und sonstiger Ausbau). Abbildung 6 stellt die Wertschöpfungskette eines Gebäudes vom Bau bis zum End-of-Life dar.

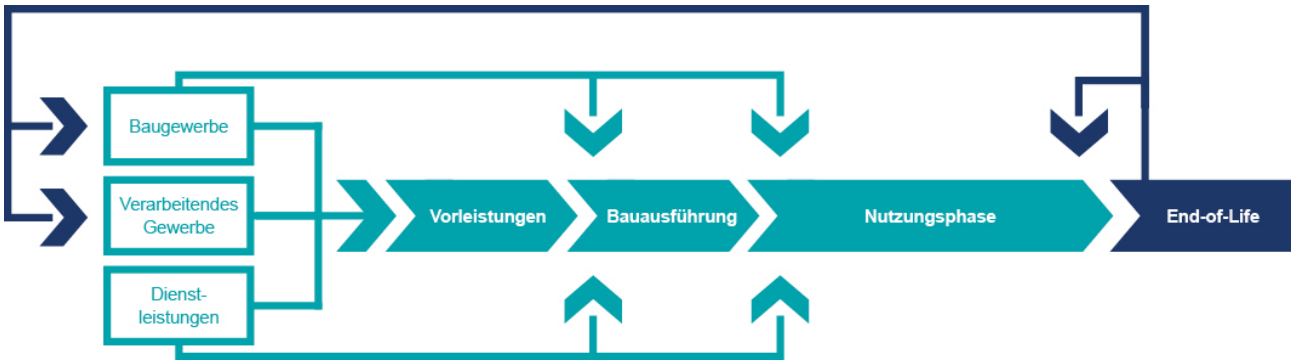


Abbildung 6: Die Wertschöpfungskette eines Gebäudes

Vereinfacht dargestellt besteht die Wertschöpfungskette eines Gebäudes aus vier Phasen. Die erste Phase beinhaltet die Vorleistungen, die vor dem Bau eines Gebäudes notwendig sind. Darunter fallen Branchen aus dem verarbeitenden Gewerbe (z. B. Baustoff- und Bauproduktherstellung), das Baugewerbe (z. B. Handwerksbetriebe) und Dienstleistungen vor der Bauphase (z. B. Logistik und Planungsdienstleistungen). Bei einer CE ist es in dieser ersten Phase von besonderer Bedeutung das Ende der Nutzungsphase des Gebäudes mitzudenken und im Design zu integrieren, um alle eingesetzten Baustoffe möglichst wiederverwenden zu können. Die Bauausführung, in Phase zwei, ist von diesen Vorleistungen direkt abhängig. Das Baugewerbe ist auch an dieser Stelle beteiligt, beispielweise in Form des Bauhauptgewerbes (z. B. Maurer- und Betonbaubetriebe) und des Ausbaugewerbes (z. B. Installation und Heizungsbau). Darüber hinaus werden Dienstleistungen während der Bauphase (z. B. Bauüberwachung oder Bauleitung) unter anderem durch Architekturbüros oder Bauunternehmen genutzt. Die dritte Phase beinhaltet die Nutzung des Gebäudes. Während dieser Zeit findet der Objektbetrieb inklusive der

[14] Gebäude werden in dieser Vorstudie allgemein in Wohn- und Nichtwohngebäude unterteilt und meinen stets Bauwerke, die zum Schutz von Menschen und Tieren dienen oder zur Lagerung von Dingen. (Statistisches Bundesamt o. J.-a; o. J.-b).

Unterhaltung, Bewirtschaftung und Wartung sowie Instandhaltung oder Umbau statt. Diese werden hauptsächlich durch Handwerksbetriebe und ein Facility-Management ausgeführt. Die Nutzungsphase bietet besonders große Potenziale für eine CE, da hier eine Verlängerung der Lebensdauer bewirkt und ein Neubau vermieden werden kann. Die letzte Phase der Wertschöpfungskette beinhaltet das End-of-Life des Gebäudes und der enthaltenen Komponenten (z. B. Rückbau, Verwertung oder Entsorgung). Dabei fällt ebenso wie während der Nutzung Abfall an, der zum einen in Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet wird oder auf Deponien gelangt. Die CE versucht dabei, die in dieser Phase der Wertschöpfungskette anfallenden Abfallströme bei der Bauausführung, Instandhaltung oder beim Umbau erneut dem System zuzuführen und wiederzuverwenden.

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Auf nationaler wie auch europäischer Ebene sind in den letzten Jahrzehnten verschiedene Regulierungen verabschiedet worden, welche eine CE sowie den Klimaschutz im Gebäudesektor fördern sollen. Diese werden im Folgenden kurz dargestellt.

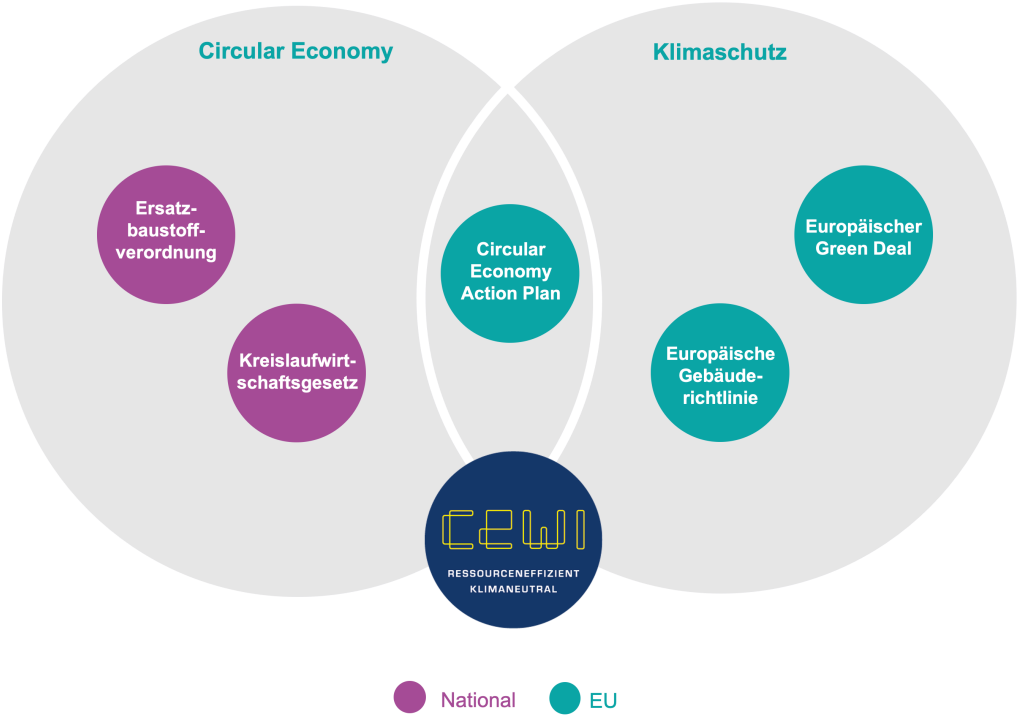


Abbildung 7: Rechtliche Rahmenbedingungen für eine CE und den Klimaschutz

Auf europäischer Ebene wurde im 2020 veröffentlichten **Circular Economy Action Plan**[15] die Entwicklung einer umfassenden Strategie für ein nachhaltiges Bauwesen angekündigt, um so das bestehende Potenzial des Sektors zur Steigerung der Materialeffizienz und zur Verringerung der Klimaauswirkungen zu nutzen. Auf nationaler Ebene bilden das Kreislaufwirtschaftsgesetz sowie die Ersatzbaustoffverordnung die Rahmenbedingungen der CE im Gebäudesektor. Als oberste Priorität des **Kreislaufwirtschaftsgesetz** ist die Vermeidung von Abfällen festgelegt.[16] Jedoch sind keine konkreten Ziele, Quoten oder Sanktionen bei Nichteinhaltung der Vorgaben

[15] Im März 2020 veröffentlichte die Europäische Kommission ihren “Circular Economy Action Plan – For a cleaner and more competitive Europe”, womit der Aktionsplan von 2015 aktualisiert und erweitert wurde.

[16] Bundestag 2012.

enthalten.[17] Das übergeordnete Ziel der **Ersatzbaustoffverordnung** ist es, die Kreislaufwirtschaft zu fördern und dadurch natürliche Ressourcen zu schonen, die Qualität von Ersatzbaustoffen zu verbessern sowie die Akzeptanz für deren Einsatz zu steigern. Die Verordnung beinhaltet dafür bundeseinheitliche und rechtsverbindliche Anforderungen und Grenzwerte[18] in Bezug auf bestimmte Schadstoffe.[19] Bezüglich des Klimaschutzes im Gebäudesektor sind der Europäische Green Deal und die Europäische Gebäuderichtlinie zu nennen. Ziel des **Europäischen Green Deal** ist es, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent umzugestalten. Die europäische Wirtschaft soll dabei im Hinblick auf umweltfreundliche Technologien angekurbelt werden. Industrie und Verkehr sollen nachhaltig gestaltet und die Umweltverschmutzung eingedämmt werden. Ein Aspekt des Deals ist das energie- und ressourcenschonende Bauen und Renovieren.[20] Die **Europäische Gebäuderichtlinie** fasst die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV), des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) und des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) zusammen und löst diese ab. Trotz Forderungen beteiligter Akteure enthält diese Richtlinie nicht die sogenannten grauen Energien, d.h. die Energie, die für Herstellung, Verarbeitung, Transport, Errichtung und Entsorgung von Materialien benötigt wird.[21]

2.3 Notwendigkeit für Klimaschutz und Ressourceneffizienz im Sektor

Nach Betrachtung der Wertschöpfungskette eines Gebäudes sowie der rechtlichen Rahmenbedingungen stellt sich die Frage, warum im Gebäudesektor die Notwendigkeit für Klimaschutz und Ressourceneffizienz besteht. Das Baugewerbe in Deutschland verursachte im Jahr 2018 rund vier Millionen Tonnen CO_2-Äquivalent und ist somit einer der ressourcenintensivsten Wirtschaftszweige.[22] Zudem ist der Sektor für 55 Prozent des gesamten Abfallaufkommens verantwortlich – das entspricht einer Menge von 229 Millionen Tonnen Bau- und Abbruchabfällen, die aktuell weder recycelt noch hochwertig wiederverwendet werden.[23] Die Verwertungsquote mineralischer Bauabfälle (für z. B. Straßenuntergrund, Deponiebau, Verfüllung etc.) liegt zwar bei etwa 90 Prozent, der Anteil tatsächlich recycelter und damit in unterschiedlicher Weise wiederverwendeter Bauabfälle liegt mit 33,5 Prozent jedoch deutlich niedriger. So wurde für das Jahr 2015 die Sekundäreinsatzquote für Baustoffe mit nur 18 Prozent beziffert.[24]

Des Weiteren verursachen einige Industriezweige des Bausektors, wie beispielweise die Zementindustrie, hohe CO_2-Emissionen. In Deutschland beträgt das durchschnittliche Treibhausgaspotential von Zement in etwa 587 kg CO_2-Äquivalent pro Tonne Zement.[25] Während der Nutzungsphase verursachen Gebäude 35 Prozent der gesamten CO_2-Emissionen, unter anderem durch die Bereitstellung und Nutzung von Wärme und Strom, und sind damit für 36 Prozent des Energieverbrauchs Deutschlands verantwortlich. In Europa werden insgesamt 33 Prozent des Stahls, 20 Prozent der Kunststoffe, 25 Prozent des Aluminiums und 65 Prozent des Zements für den Bau von Gebäuden verbraucht. Der CO_2-Fußabdruck von Baumaterialien beträgt dabei 250 Millionen Tonnen CO_2 pro Jahr.[26]

---

[17] Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung 2020.

[18] Die Einhaltung der Grenzwerte soll durch den Hersteller im Rahmen einer Güteüberwachung gewährleistet werden.

[19] Bundesrat 2020.

[20] Europäische Kommission 2019; 2020; 2021.

[21] Kavermann; Blöser o. J.; Faktor X-Agentur der Entwicklungsgesellschaft indeland GmbH 2020.

[22] Statista 2020a.

[23] Statistisches Bundesamt 2020.

[24] Kreislaufwirtschaft Bau 2017; Deutscher Naturschutzring 2018.

[25] WWF Deutschland 2019.

[26] Material Economics 2018.

Außerdem ist der Bau von Gebäuden mit einem hohen Flächenverbrauch verbunden. So nahm im Zeitraum von 1993 bis 2017 die Siedlungs- und Verkehrsfläche um 8921 km^2 zu; das entspricht der dreieinhalbfachen Fläche des Saarlandes.[27] In Deutschland steigt die durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner, was einen steigenden Ressourcenverbrauch zur Folge hat und zu hohen CO_2-Emissionen führt. 1991 lag die Wohnfläche pro Einwohner bei 34,9 m^2 und betrug im Jahr 2019 bereits 47 m^2 pro Einwohner.[28] Hauptgründe hierfür sind die wachsende Anzahl an Single-Haushalten und der Anstieg der Wohnfläche mit zunehmendem Alter.[29] Dieser Trend hat zur Folge, dass der Bedarf an Wohnraum, insbesondere in Städten, auch in Zukunft ansteigen wird. [30]

Der Gebäudesektor hat aufgrund des hohen Energie- und Ressourcenverbrauchs und den damit verbundenen Emissionen, dem hohen Abfallaufkommen und der Versiegelung von Flächen großen Einfluss auf die Umwelt und das Klima.[31] Demzufolge liegt in diesem Sektor ein hohes Potenzial zur Reduktion negativer Auswirkungen vor. Ohne den Klimaschutz im Gebäudesektor voranzutreiben, können die Pariser Klimaziele nicht erreicht werden.[32] Jedoch reicht die Fokussierung auf Energieeffizienzansätze nicht aus. Gerade mit Blick auf immer knapper werdende Ressourcen ist die Transformation zu einer CE im Gebäudesektor unumgänglich.

2.4 Herausforderungen für die Entwicklung eines nachhaltigen Gebäudesektors

Der Gebäudesektor spielt sowohl in der Klimapolitik als auch im Themenfeld CE eine wichtige Rolle. Damit an konkreten Lösungsansätzen gearbeitet werden kann, gilt es bestehende Herausforderungen zu überwinden. Im Folgenden werden die bei der Recherche identifizierten, zentralen Herausforderungen beschrieben.[33]

Konkret erschweren die **lange Lebensdauer von Gebäuden** beziehungsweise die **mangelnden Kenntnisse** über die in der Vergangenheit verbauten Materialien[34] das Recycling beziehungsweise die Wiederverwendung von Materialien oder Komponenten. Bauherr:innen äußern Bedenken über die Qualität der Recyclingstoffe und aufgrund des geringen Preisunterschieds zwischen „neuem“ und „altem“ Material ziehen sie häufig Neuware vor. Dies deckt sich mit den bislang **fehlenden Anreizen** für die Umsetzung von Strategien der CE. Die Entsorgungskosten sind so gering, dass sich ein selektiver Rückbau rein ökonomisch oft nicht lohnt. Daher werden im folgenden Kapitel Maßnahmen-Cluster untersucht, welche die Überwindung dieser Herausforderungen und damit die Errichtung einer CE unterstützen können.

---

[27] Faktor X-Agentur der Entwicklungsgesellschaft indeland GmbH 2020.

[28] Statista 2020b.

[29] Umweltbundesamt 2020.

[30] All in One Gebäudeverwaltung 2015.

[31] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen [DGNB] 2019.

[32] All in One Gebäudeverwaltung 2015.

[33] Diese sollen als Einblick dienen und bilden keine vollumfängliche Analyse, weswegen kein Anspruch auf Vollständigkeit gegeben ist.

[34] Gerade das Vorkommen von Schadstoffen bzw. Materialien, die mittlerweile verboten sind, da sie als gesundheitsschädlich eingestuft wurden (z. B. Asbest), stellen ein großes Problem bei der Umsetzung eines ganzheitlichen Recyclingansatzes und damit der Circular Economy dar.

3 CE-ANSÄTZE IM GEBÄUDESEKTOR

Dieses Kapitel stellt zunächst die einzelnen CE-Ansätze, welche im Projekt CEWI untersucht werden, vor. Im Anschluss werden die aus dem jeweiligen Ansatz abgeleiteten Maßnahmen-Cluster erläutert und bezüglich ihres Beitrags zur Klimaneutralität und Ressourceneffizienz im Gebäudesektor bewertet. Darüber hinaus werden Hindernisse des Maßnahmen-Clusters, sowie Potenziale für Geschäftsmodelle und weitere Entwicklungen untersucht.

Abbildung 8: CE-Ansätze und deren Leitsätze

3.1 Schließung der Stoffkreisläufe

Das CO_2-Reduktionspotenzial des CE-Ansatzes Schließung der Stoffkreisläufe wird für Europa laut der Studie "The Circular Economy: A Powerful Force for Climate Mitigation" von *Material Economics* auf 13 Millionen Tonnen CO_2 pro Jahr geschätzt.[35] Insbesondere aufgrund des hohen Ressourcenverbrauchs, des aktuellen Recyclingstatus und des in naher Zukunft bevorstehenden Materialanfalls durch Rückbau ist im Gebäudebereich ein hohes Potenzial für die Schließung von Stoffkreisläufen vorhanden.

Für den Gebäudesektor sind die folgenden Instrumente zur Schließung der Stoffkreisläufe von besonderer Bedeutung:

- Verbesserung des Abfallmanagements, inklusive Verbesserung der Materialtrennbarkeit und Erhöhung der Recyclingrate.
- Minimierung des Downcyclings, unter anderem durch Aufbereitung der Produkte oder Materialien, bei der eine Verwendung analog zum Primärrohstoff angestrebt wird.
- Verbesserung der Demontage- und damit Wiederverwendungsmöglichkeiten unter anderem durch das recyclinggerechte Bauen.[36]

[35] Material Economics 2018.

[36] Faktor X-Agentur der Entwicklungsgesellschaft indeland GmbH 2020.

Der CE-Ansatz Schließung der Stoffkreisläufe kann in fünf unterschiedliche Cluster[37] eingeteilt werden, welche jeweils Maßnahmen mit ähnlichen Zielsetzungen vereinen. Die nachfolgende Abbildung bietet einen Überblick über die einzelnen Cluster.

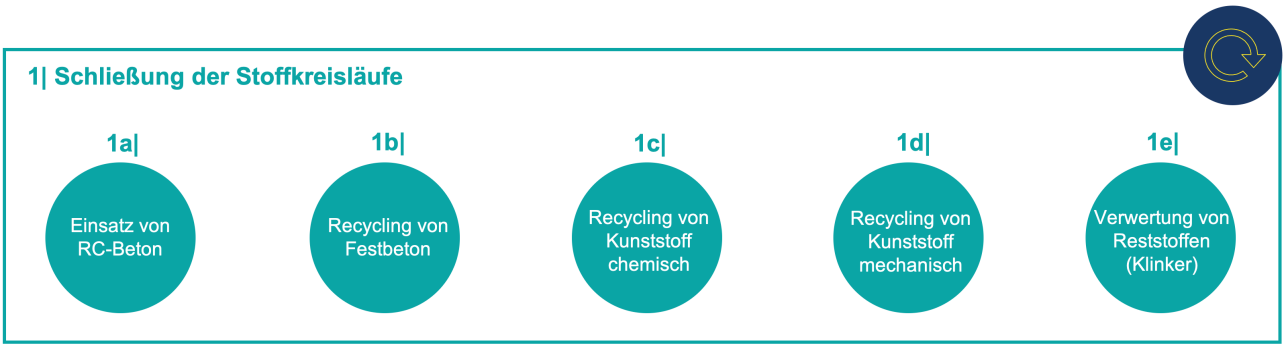


Abbildung 9: Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Schließung der Stoffkreisläufe

Im Folgenden werden diese Maßnahmen-Cluster auf ihren möglichen positiven oder negativen Einfluss auf die angestrebte Klimaneutralität und Ressourceneffizienz des Gebäudesektors bewertet. Zusätzlich werden allgemeine Hindernisse untersucht, die sich bei der Implementierung eines Clusters ergeben könnten. Die Bewertung der Cluster wird am Ende dieses Kapitels in einer Tabelle zusammengefasst.

Im ersten Cluster werden Maßnahmen zusammengefasst, welche den **Einsatz von RC Beton** (1a) forcieren. RC-Beton wird dabei entweder aus Betongranulat und/oder Mischabbruchgranulat (z. B. Kies aus Rückbau) hergestellt. Diese Granulate können beim Gebäudebau frischem Beton beigemischt werden, um somit den Ressourceneinsatz und die CO_2-Emissionen zu verringern. Ähnlich zu diesem ersten Cluster beinhaltet das zweite das **Recycling von Festbeton** (1b). Dabei wird bereits erhärteter, alter Beton aus Rückbaumaßnahmen bei der Betonherstellung wiederverwendet. Dies bedeutet, dass Betonabbruch aus Bauwerken aufbereitet und erneut der Produktion zugeführt werden kann. Diese beiden Cluster bieten keinen signifikant positiven Beitrag zur Klimaneutralität. Konkret können je nach Anwendungsfall und Transportaufkommen (z. B. zwischen den Baustellen) beim Einsatz von RC-Beton lediglich ca. 7 Prozent der CO_2-Emissionen eingespart werden, teilweise können diese jedoch sogar höher sein als bei dem Einsatz von nicht-recyceltem Beton. Darüber hinaus ist der Aufbereitungsprozess von Festbeton sehr energieintensiv, wodurch die möglichen geringen CO_2-Einsparungen aufgehoben werden.[38] Bezogen auf die Ressourceneffizienz weist der Einsatz von RC-Beton mittlere Chancen und Risiken auf. Allgemein kann hier eine Kreislaufführung der Ressourcen durch den Einsatz von RC-Beton erhöht werden, allerdings steht dies meist in Zusammenhang mit einem Downcycling des Materials und damit einem Qualitätsverlust. Die Chancen der Ressourceneffizienz können hingegen beim Recycling von Festbeton als hoch eingestuft werden, da weltweit bereits etwa 10 Millionen Tonnen an Baustellenabfällen oder anderen Gesteinskörnungen recycelt werden.[39] Hier ist jedoch eine sortenreine Gewinnung und damit Vermeidung einer Verunreinigung des Materials von Bedeutung. Beide Cluster sehen sich dem Hindernis einer geringen Nachfrage nach Rezyklaten gegenüber. Darüber hinaus weisen beide Cluster ein niedriges Entwicklungspotenzial auf, da es sich um eine bereits etablierte Praxis handelt.

[37] An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass diese Clusterauswahl keine Gewähr auf Vollständigkeit bietet und die gelisteten Akteure nur als Beispiele anzusehen sind.

[38] WWF Deutschland 2019.

[39] Holcim AG o. J.-a.

Die nächsten beiden Cluster befassen sich mit dem Recycling von Kunststoffen. Dabei wird zwischen chemischen und mechanischen Recyclingtechnologien unterschieden. Bei dem **chemischen Recycling** (1c) werden die Kunststoffe in ihre chemischen Grundbausteine umgewandelt, wodurch diese im Anschluss unter anderem erneut in die Produktion von Kunststoffen eingeführt werden können. Beim **mechanischen Recycling** (1d) werden die Kunststoffabfälle nach Kunststoffart sortiert, gewaschen, eingeschmolzen und zu sogenannten Rezyklaten aufbereitet. Diese Rezyklate dienen als Ausgangsstoff für neue Produkte und ersetzen damit Kunststoffe aus Neumaterial. Die chemische Struktur der Kunststoffe bleibt beim mechanischen Recycling erhalten. Bei diesen beiden Clustern werden die Chancen zur Klimaneutralität jeweils mittel eingestuft, da sie in beiden Fällen die Abfallverbrennung am Ende der Nutzungsphase vermeiden und somit CO_2-Emissionen einsparen. Beim chemischen Recycling werden diese allerdings durch den sehr energieintensiven Aufbereitungs- und Recyclingprozess kompensiert, wodurch dieses Maßnahmen-Cluster ein hohes Risiko aufweist. Das mechanische Recycling hingegen besitzt keine derartigen Risiken. Bezüglich der Ressourceneffizienz stechen beim chemischen Recycling die hohen Risiken hervor, welche sich auf die erschwerte Kreislaufführung durch eine große Vielfalt an Materialien beziehen. Das mechanische Recycling hingegen unterstützt eine Ressourcenschonung durch eine Kreislaufführung bei bestehender Sortenreinheit der Kunststoffe. Die Hindernisse des chemischen Recyclings werden als hoch eingestuft, da beispielsweise das Verpackungsgesetz solche Verfahren nicht für die geforderten Recyclingquoten anrechnet und eine übergreifende Anwendung der Technologie damit zunächst nicht zu erwarten ist. Außerdem sind die Kosten der Prozesse aktuell noch sehr hoch. Das mechanische Recycling hingegen besitzt lediglich mittlere Hindernisse, welche sich auf eine notwendige Vorsortierung und das Design for Recycling bei der Herstellung der Produkte beziehen. Insgesamt wird das Potenzial des chemischen Recyclings als eher gering und das des mechanischen Recyclings als mittel eingeschätzt. Das Entwicklungspotenzial des chemischen Recyclings wird als hoch eingeschätzt, da zurzeit intensiv an möglichen Technologien geforscht wird. Da eine starke Nachfrage nach Kunststoff-Rezyklaten besteht, werden beide Cluster mit einem mittleren beziehungsweise hohen Potenzial für Geschäftsmodelle eingeschätzt.

Das fünfte und letzte Cluster dieses ersten CE-Ansatzes beinhaltet Maßnahmen zur **Verwertung von Reststoffen bei der Klinkerherstellung** (1e). Aufgrund der Prozessbedingungen (u. a. hohe Temperatur) sind die Öfen von Zementwerken für die Abfallverwertung besonders gut geeignet. Organische Schadstoffe werden zerstört und der Wärmeinhalt wird mit einem hohen Wirkungsgrad verwertet. Der mineralische Anteil (d.h. die Asche) der Reststoffe kann dabei vollständig in den Klinker integriert werden, wodurch der Einsatz von Kalkmergel verringert wird. Bezogen auf den Beitrag zur Klimaneutralität kann dieses Cluster jedoch lediglich mittelhoch eingestuft werden. Die Maßnahmen sind in der Lage, CO_2-Einsparungen durch einen verringerten Energieeinsatz bei der Rohstoffgewinnung (durch einen geringeren Primärrohstoffbedarf) zu generieren, allerdings steht diese Chance dem Risiko der möglichen Rauchgasbildung bei Verbrennung von Reststoffen gegenüber. Bezüglich der Ressourceneffizienz gestaltet sich die Bewertung hingegen positiver. Die thermische Abfallverwertung in Zementwerken ermöglicht es, den Primärressourcenbedarf für die Erzeugung von Energie zu reduzieren, was einen positiven Beitrag zur Ressourcenschonung generiert. Allgemein ist diese Verwertung von Reststoffen zur Klinkerherstellung bereits gängige Praxis, weswegen kaum oder keine Hindernisse gesehen werden. Aufgrund des großen Potenzials zur Ressourcenschonung und den fehlenden Hindernissen, wird dieses Cluster mit einem hohen Potenzial für Geschäftsmodelle eingestuft. Für weitere Entwicklungen weist es jedoch nur ein niedriges Potenzial auf.

Nachfolgend fasst Tabelle 1 die Bewertung der Maßnahmen-Cluster zusammen. Die Bewertung bezieht sich auf den gegenwärtigen Stand der Literatur zu den einzelnen Clustern und nicht auf konkrete Technologien, die davon in Bezug auf einzelne Bewertungskriterien abweichen können.

Die nachfolgende Tabelle fasst die einzelnen Bewertungen der Maßnahmen-Cluster zusammen.

1| Maßnahmen-Cluster	Klimaneutralität		Ressourceneffizienz		Hindernisse	Stand der Entwicklung	Potenzial für Geschäfts-modelle
	Chancen	Risiken	Chancen	Risiken			
1a| Einsatz von RC-Beton	🔴	🔴	🟡	🟡	🟡	🔴	🟢
1b| Recycling von Festbeton	🔴	🔴	🟢	🟡	🟡	🔴	🟢
1c| Recycling von Kunststoff-chemisch	🟡	🔴	🟡	🔴	🔴	🟢	🟡
1d| Recycling von Kunststoff-mechanisch	🟡	🟢	🟢	🟡	🟡	🟡	🟢
1f| Verwertung von Reststoffen – Klinker-herstellung	🟡	🟡	🟢	🟡	🟢	🔴	🟢

Tabelle 1: Bewertung der Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Schließung der Stoffkreisläufe

3.2 Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz

Der Fokus des Ansatzes Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz liegt auf der Reduzierung des Materialeinsatzes bei Bereitstellung der gleichen Leistung/des gleichen Nutzens.

Zwei zentrale Ansätze sind in diesem Zusammenhang von Bedeutung:

- Reduktion der Abfallmenge während des Bauens (durch verbesserte Produktions- und Planungsprozesse).
- Steigerung der Materialeffizienz von Gebäuden, durch verbessertes Design, hochwertige Materialien und alternative Konstruktionen, wie beispielweise Leichtbau.[40]

Bei der Recherche konnte eine Vielzahl an Maßnahmen zur Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz identifiziert werden. Insgesamt haben sich daraus für diesen CE-Ansatz drei relevante Maßnahmen-Cluster ergeben, welche in Abbildung 10 dargestellt werden.

[40] Faktor X-Agentur der Entwicklungsgesellschaft indeland GmbH 2020.

Abbildung 10: Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatzes Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz

Diese Cluster werden erneut einer Bewertung unterzogen, welche am Ende dieses Kapitels in einer Tabelle zusammengefasst wird.

Das erste Maßnahmen-Cluster fokussiert den **Leichtbau und die Steigerung der Materialeffizienz von Beton** (2a). Im Gebäudesektor beziehen sich diese Leichtbaumaßnahmen unter anderem auf die Reduktion des Betonbedarfs, z. B. durch die Holz-Hybrid-Bauweise oder alternative Konstruktionen wie die Hohlkörperdecken-Technologie. Bezüglich der Klimaeffekte wird das Potenzial dieses Clusters als mittel eingestuft. Grund dafür sind die eher moderaten CO_2-Einsparungen durch einen geringeren Energieverbrauch beim Herstellungsprozess der Materialien (Beton). Demgegenüber stehen mögliche Rebound-Effekte wie beispielsweise eine Vergrößerung der Bauvorhaben oder ein Innenausbau mit klimaintensiven Materialien. Im Kontext der Ressourceneffizienz bietet das Cluster auf der einen Seite hohe Chancen zur Materialeinsparung, welche sich durch den verringerten Materialbedarf durch Erhöhung des Materialnutzungsgrades ergeben. Auf der anderen Seite wird die Kreislaufführung durch eine eher schlechte Recyclingfähigkeit und die Vielfalt an Materialien erschwert. Es konnten darüber hinaus keine relevanten übergreifenden Hindernisse identifiziert werden. Das Potenzial dieses Maßnahmen-Clusters bezüglich weiterer Entwicklungen und Geschäftsmodelle wird daher als hoch eingeschätzt.

Die **Stahl-Leichtbauweise** (2b) bildet das zweite Maßnahmen-Cluster. Kaltgeformte Stahlprofile - beispielweise eingesetzt bei raumabschließenden, tragenden Gebäudekonstruktionen und im Fassadenbereich – vereinen hohe Tragfähigkeit und vielfältige Nutzungsmöglichkeiten zu einem zukunftsweisenden Bausystem. Aufgrund des geringen Gewichts sowie der schnellen und problemlosen Montage empfiehlt sie sich für den Neubau, besonders aber auch für die Nachverdichtung, Erweiterung und Aufstockung von Gebäuden. Aufgrund des durch den Leichtbau verringerten Materialbedarfs, wird die Chance zur Klimaneutralität vor allem in der Energieeinsparung bei der (verringerten) Rohstoffgewinnung gesehen. Diese Chance steht jedoch in Abhängigkeit zu der substituierten Bauweise. Die CO_2-Emissionen der Leichtbau-Stahlproduktion dürfen daher die Emissionen der substituierten Bauweise (z. B. Holz oder Beton) nicht übersteigen. Insgesamt wird der Beitrag zur Klimaneutralität als mittel eingestuft. Da die in der Leichtbauweise Stahl eingesetzten Materialien und Produkte gut recycelbar sind, kann dadurch die Kreislaufführung erhöht werden. Ausschlaggebende Risiken bezüglich der Ressourceneffizienz können bei diesem Cluster nicht identifiziert werden. Allerdings besteht weiterer Forschungsbedarf zu den Anwendungsmöglichkeiten der Leichtbauweise mit Stahl. Das Potenzial für weitere Entwicklungen und Geschäftsmodelle wird darüber hinaus als hoch eingestuft.

Das dritte Cluster des CE-Ansatzes Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz beinhaltet Maßnahmen zur **Modularen Bauweise** (3c). Bei dieser Bauweise werden Bauteile/Gebäudekomponenten weitestgehend in einem Werk (vor)produziert und montiert, sodass auf der Baustelle nur noch die Module zusammengebaut werden müssen. Dadurch reduzieren sich die Bauzeit und die Baukosten und nach Abriss des Gebäudes können die Komponenten einfach wieder verbaut werden. Die modulare Bauweise bietet sehr hohe Potenziale für eine

Klimaneutralität sowie Ressourceneffizienz im Gebäudesektor durch Ressourcen- und Energieeinsparungen bei effizienten Herstellungsprozessen. Daher weist dieses Cluster keine relevanten Risiken bezüglich der Klimaneutralität auf. Eine verringerte Abfallmenge während der Herstellung, sowie ein geringerer Materialbedarf durch eine Erhöhung des Materialnutzungsgrades, ermöglichen darüber hinaus deutliche Materialeinsparungen. Auch hier weist das Cluster der modularen Bauweise keine Risiken auf. Allgemeine Hindernisse können lediglich die baulichen Anforderungen an die vorgefertigten Baumodule sein. Auch dieses Cluster kann bezüglich der Potenziale für Geschäftsmodelle und weiteren Entwicklungen als hoch eingeschätzt werden.

2| Maßnahmen-Cluster	Klimaneutralität		Ressourceneffizienz		Hindernisse	Stand der Entwicklung	Potenzial für Geschäfts-modelle
	Chancen	Risiken	Chancen	Risiken			
2a| Leichtbau und Steigerung Materialeffizienz Beton	●	●	●	●	●	⚙	$
2b| Leichtbau – Stahl	●	●	●	●	●	⚙	$
2c| Modulare Bauweise	●	●	●	●	●	⚙	$

Tabelle 2: Bewertung der Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz

3.3 Verlängerung der Lebensdauer und effizientere Nutzung der Produkte

Der Ansatz Verlängerung der Lebensdauer und effizientere Nutzung der Produkte, verfolgt das Ziel, die Produkte (hier: Gebäude und/oder deren Komponenten) so lange und intensiv wie möglich zu nutzen. In der Studie „The Circular Economy: A Powerful Force for Climate Mitigation" von *Material Economics* wurden für den Ansatz zirkulärer Geschäftsmodelle die Potenziale der CO_2-Emissionsminderung für Europa analysiert. Diese decken sich mit dem in dieser Vorstudie untersuchten Ansatz der Verlängerung der Lebensdauer und effizienteren Nutzung der Produkte. Letztere wird überwiegend durch das gemeinsame Nutzen gewährleistet. Die Maßnahmen zur Verlängerung der Lebensdauer haben eine längerfristige Auswirkung und können bis nach 2050 in Europa 43 Millionen Tonnen CO_2 pro Jahr einsparen.[41]

Zentrale Maßnahmen bei der Verlängerung der Lebensdauer sind:

- Anpassung und Renovierung von Gebäuden, um Abriss und Neubau zu vermeiden, darunter fällt auch die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden.
- Verbesserte Wartung und Instandhaltung zur Verlängerung der Lebensdauer von Schlüsselkomponenten.

[41] Material Economics 2018.

- Design für flexible und/oder intensivere Nutzung (z. B. Sharing oder alternative Wohnformen) und zur Ermöglichung einer tiefgreifenden Renovierung (umnutzungsfreundliches Bauen[42]).
- Verlängerung der Lebensdauer mit Hilfe eines Baustoffhandels, welcher es ermöglicht, Baustoffe zwischen verschiedenen Akteuren zu handeln und somit deren Nutzungsdauer zu erhöhen.
- Wiederverwendung von Bauteilen und ganzen Gebäudekomponenten am Ende ihrer Lebensdauer und bei Renovierungen.

Für dieses Projekt konnten die untersuchten Maßnahmen in folgende fünf Cluster unterteilt werden:

Abbildung 11: Maßnahmen-Cluster des CE-Ansatzes Verlängerung der Lebensdauer und effizientere Nutzung der Produkte

Die beiden Cluster der **Effizienten Nutzung durch alternative Wohnkonzepte** (3a) und **durch Co-Working** (3b) können an dieser Stelle gemeinsam betrachtet werden, da sie grundsätzlich ähnliche Eigenschaften mit sich bringen. Bei alternativen Wohnkonzepten steht die effiziente Nutzung der Wohnfläche im Fokus. Dies bedeutet, dass unzureichend genutzter Wohnraum bedarfsgerecht genutzt und an die Bedingungen des demografischen Wandels angepasst wird. Ein klassisches Beispiel ist hier der Wohnungstausch zwischen Familien und Rentnern. Die Idee hinter Co-Working richtet sich an bislang unzureichend genutzte Arbeitsorte. Diese werden als Co-Working Spaces (Art Großraumbüro) verschiedenen Akteuren zur Verfügung gestellt. Ziel dieses Clusters ist es, Büroräumlichkeiten flexibel und möglichst effizient zu nutzen. Gerade für Startups beziehungsweise Unternehmen mit wenigen Mitarbeiter:innen ist diese Form oft kostengünstiger. Durch Co-Working werden Bürogebäude stärker ausgelastet. Die alternativen Wohn- und Co-Working-Konzepte ermöglichen weitere CO_2-Reduktionen, da die effizientere Nutzung der vorhandenen Gebäude zusätzlichen Neubauten entgegenwirken kann. Die Einsparungen sind vor allem beim Energieverbrauch zu vermuten, da weniger Rohstoffe für den Gebäudebau gewonnen werden müssen. Während der Nutzungsphase ermöglicht dieses Konzept darüber hinaus eine Anpassung der räumlichen Gegebenheiten an die individuellen Bedürfnisse, wodurch der Energiebedarf insgesamt gesenkt und Emissionen eingespart werden können (z. B. Wohnungstausch einer vierköpfigen Familie mit einer alleinstehenden Rentnerin). Das Modell des Co-Working kann – im Vergleich zu konventionellen Bürogebäuden – in diesem Zusammenhang durch eine gemeinsame Nutzung von z. B. Druckern und Kaffeemaschinen CO_2-Emissionen einsparen. Daher wird der Beitrag zur Klimaneutralität als mittelhoch eingeschätzt. Beide Konzepte weisen jedoch ähnliche Risiken auf. Rebound-Effekte können bei den alternativen Wohnkonzepten zur Verschiebung des Eigentums auf klimaintensive Investitionen (wie z. B. Urlaub mit Langstreckenflügen) führen. Beim Co-Working können diese Rebound-Effekte die eingesparten CO_2-Emissionen kompensieren (z. B. durch erhöhten Pendlerverkehr in die Stadt). Daher werden beide Maßnahmen-Cluster mit einem mittleren Risiko zur Klimaneutralität bewertet.

[42] Faktor X-Agentur der Entwicklungsgesellschaft indeland GmbH 2020.

Demgegenüber stehen die hohen Chancen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz in beiden Clustern. Die alternativen Wohnkonzepte fördern den Suffizienzgedanken bei ihren Nutzern, wodurch insgesamt weniger Ressourcen durch Neubauten nötig werden. Co-Working-Modelle erzielen Ressourcen- beziehungsweise Materialeinsparungen durch eine verringerte Nachfrage. Diese bezieht sich auf Produkte, die gemeinsam genutzt werden können und somit nicht individuell hergestellt werden müssen (z. B. Drucker, Telefonanlagen etc.). Beide Cluster werden daher mit hohen Chancen zur Ressourceneffizienz bewertet. Allerdings sind auch hier moderate Risiken zu beachten. Bei den alternativen Wohnkonzepten gestalten sie sich ähnlich zu den Risiken bezüglich der Klimaneutralität, da auch hier Rebound-Effekte auftreten können. Die Co-Working-Modelle hingegen weisen das Risiko einer Flächenkonkurrenz in den Städten auf. Dort, wo ohnehin begrenzter Wohnraum zur Verfügung steht, kann das vermehrte Aufkommen von Co-Working Räumlichkeiten den Wohnraum weiter reduzieren. Die allgemeinen Hindernisse gestalten sich in beiden Clustern ebenfalls ähnlich. Hier sind insbesondere fehlende Informationen und Datenverfügbarkeiten ausschlaggebend für die Nutzung dieser Konzepte. Was die weiteren Entwicklungen und Geschäftsmodelle betrifft, so ist für alternative Wohnkonzepte ein hohes und für Co-Working-Modelle ein mittleres Potenzial zu verzeichnen, da hier bereits viele Lösungen auf dem Markt zu finden sind.

Das Cluster **Energetische Sanierung und Renovierung** (3c) fasst alle Maßnahmen zur Modernisierung eines Gebäudes zusammen, die die Minimierung des Energieverbrauchs für Heizung, Warmwasser und Lüftung anstreben. Allgemeine Renovierungen von Bestandsgebäuden zur Verlängerung der Lebensdauer werden hier ebenfalls hinzugerechnet. Das Cluster wird insgesamt mit einem hohen Potenzial eingeschätzt. Diese Maßnahmen sind bereits etabliert und weisen hohe Potenziale für eine Erreichung der Klimaneutralität und Ressourceneffizienz im Gebäudesektor auf. Zunächst bezieht sich dieses Cluster konkret auf die energetische Sanierung von Gebäuden. Ziel ist es, den Energieverbrauch während der Nutzungsphase zu senken. Diese positiven Effekte können allerdings durch Rebound-Effekte überschattet werden, bei denen die eingesparten Energiekosten für andere klimaintensive Investitionen eingesetzt werden. Zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Gebäudesektor trägt dieses Maßnahmen-Cluster bei, indem die Lebensdauer der Gebäude durch Sanierung und Renovierung verlängert und damit ein frühzeitiger Abriss verhindert wird. So kann der Bedarf an Neubauten reduziert werden. Auch an dieser Stelle können Rebound-Effekte zur Verschiebung der Investitionen beispielweise in ein zweites Auto die Ressourceneffizienz der Maßnahmen schmälern. Allgemein stellt die Besitzstruktur in Deutschland jedoch ein Hindernis dar. Die Anreize für Vermieter, ihren Bestand zu renovieren, gestalten sich als sehr gering, da die Kosten einer schlechten energetischen Bausubstanz auf die Mieter der Wohnungen/Häuser umgelegt werden. Mit Blick auf weitere Entwicklungen und Geschäftsmodelle wird das Potenzial dieses Clusters insgesamt als mittel eingestuft.

Die Maßnahmen-Cluster **Zirkulärer Baustoffhandel** (3d) sowie **Wiederverwendung von Gebäudekomponenten** (3e) können an dieser Stelle gemeinsam betrachtet werden. Die Unterscheidung dieser beiden Cluster ruht auf der fokussierten Produktebene. Der zirkuläre Baustoffhandel betrachtet konkret Baustoffe, welche im Gebäudebau eingesetzt werden können (z. B. Beton, Fliesen, etc.) und könnte in Zukunft die Ausweitung des selektiven Rückbaus unterstützen. Das Cluster der Wiederverwendung von Gebäudekomponenten hingegen bezieht sich auf Elemente wie beispielweise Fenster und Türen, wodurch es sich von der reinen Rohstoffebene abhebt. Ein zirkulärer Baustoffhandel bietet die Möglichkeit, Baustoffe aus dem Rückbau auf einer Plattform zum Verkauf anzubieten und sie dadurch einer erneuten Nutzung zuzuführen. Hier besteht jedoch die Notwendigkeit eines selektiven Rückbaus. Die Wiederverwendung von Gebäudekomponenten wird durch Online-Plattformen begünstigt beziehungsweise ermöglicht. Der zirkuläre Baustoffhandel besitzt durchweg eher mittlere Chancen und Risiken zur Steigerung der Klimaneutralität und Ressourceneffizienz im Gebäudesektor. Grund dafür ist unter anderem die durch den Handel mit Abbruchabfällen auftretende aufwendigere Logistik (zwischen Rück- und Neubauorten), welche CO_2-Emissionen verursacht. Dennoch sorgt eine verringerte Herstellung von Baustoffen zu Energieeinsparungen, welche bei dem Cluster der Wiederver-wendung von Gebäudekomponenten gleichermaßen bestehen. In Letzterem können hingegen keine ausschlag-gebenden Risiken festgestellt werden.

Bezüglich der Ressourceneffizienz wird bei beiden Clustern die Kreislaufführung durch die Wiederverwendung von Produkten/Materialien und Gebäudekomponenten erhöht. Die hohen Qualitätsanforderungen an die Baustoffe wirken sich erschwerend auf eine Kreislaufführung aus. Allerdings müssen die Gebäudekomponenten für ihren neuen Einsatz lediglich aufbereitet und angepasst werden, sodass an dieser Stelle keine relevanten Risiken festgestellt werden können. Allgemein stellen die hohen Anforderungen an die Materialien und die Notwendigkeit eines selektiven Rückbaus übergreifende Hindernisse für die Etablierung eines zirkulären Baustoffhandels dar. Für die Wiederverwendung von Gebäudekomponenten stellen vorrangig die Datenverfügbarkeiten und die Zeitverzögerungen in der Planung Hindernisse dar. Insgesamt werden sowohl das Entwicklungspotenzial als auch das Potenzial für Geschäftsmodelle beider Maßnahmen-Cluster als hoch eingeschätzt.

3| Maßnahmen-Cluster	Klimaneutralität		Ressourceneffizienz		Hindernisse	Stand der Entwicklung	Potenzial für Geschäfts-modelle
	Chancen	Risiken	Chancen	Risiken			
3a| Effiziente Nutzung durch alternative Wohnkonzepte	●	●	●	●	●	⚙	$
3b| Effiziente Nutzung durch Co-Working	●	●	●	●	●	⚙	$
3c| Energetische Sanierung und Renovierung von Bestandsgebäuden	●	●	●	●	●	⚙	$
3d| Zirkulärer Baustoffhandel	●	●	●	●	●	⚙	$
3e| Wiederverwendung von Gebäudekomponenten	●	●	●	●	●	⚙	$

Tabelle 3: Bewertung der Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Verlängerung der Lebensdauer und effizientere Nutzung der Produkte

3.4 Substitution von Rohstoffen und Materialien

Dieses Kapitel stellt den letzten CE-Ansatz zur Substitution von Rohstoffen und Materialien vor, welcher vor allem für Neubauten von großer Relevanz ist. Ressourceneffiziente, ökologische und möglichst nachwachsende Rohstoffe sollen Materialien mit schlechter Ökobilanz oder gesundheitsgefährdende Stoffe ablösen (beispielweise Austausch von Beton durch Holz). Zu unterscheiden ist hier der Einsatz alternativer Materialien (Substitution von Materialien) beziehungsweise die Veränderung der rohstofflichen Basis bestehender Materialien (Substitution von Rohstoffen). Dabei findet hier auch eine Produkt- beziehungsweise Materialeffizienzsteigerung statt.

Ziel dieses Ansatzes ist es, die negativen Auswirkungen von endlichen Rohstoffen, Materialien und Produkten weitestgehend zu vermeiden und nachwachsende Rohstoffe zu nutzen. Des Weiteren wird erforscht, inwieweit bei der Herstellung von Beton andere Ausgangsstoffe als Zement, Kies und Sand verwendet werden können, um die Ökobilanz zu verbessern.

Zentrale Maßnahmen bei der Substitution von Rohstoffen und Materialien sind:

- Einsatz alternativer Rohstoffe im Gebäudebau (zur Herstellung von Baustoffen oder Gebäudekomponenten).
- Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Gebäudebau.

Für diesen CE-Ansatz konnten insgesamt vier Maßnahmen-Cluster identifiziert werden:

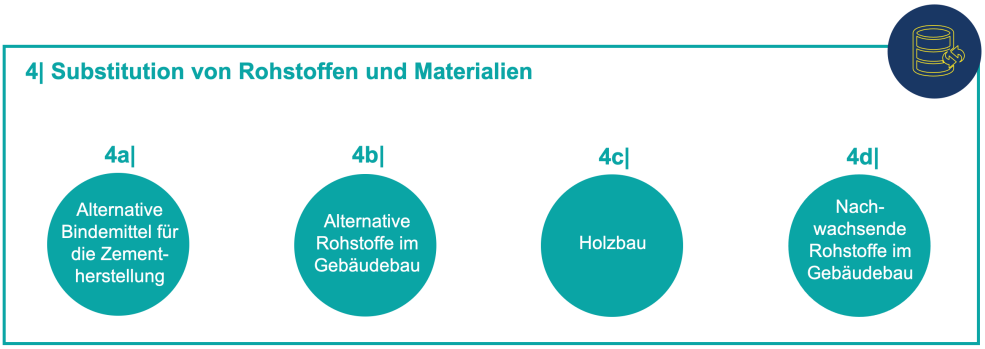


Abbildung 12: Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Substitution von Rohstoffen und Materialien

Das erste Cluster dieses Ansatzes beinhaltet Maßnahmen zur **Verwendung alternativer Bindemittel für die Zementherstellung** (4a). Bei der Herstellung von Zement können alternative Bindemittel Verwendung finden. Dabei handelt es sich oftmals um Abfallprodukte der Industrie, welche in der Zementherstellung Klinker (das gebrannte Gestein) substituieren können. Allgemein wird dieses Cluster mit einem hohen Potenzial eingeschätzt. Bezüglich des Beitrages zur Klimaneutralität weisen die alternativen Bindemittel große Chancen zur CO_2-Reduktion auf. Diese Einsparungen ergeben sich durch die Substitution des gebrannten Gesteins, wodurch die Temperaturen in der Herstellung deutlich reduziert werden können. Demgegenüber können keine relevanten Risiken für dieses Maßnahmen-Cluster identifiziert werden. Die Chancen zur Ressourceneffizienz werden als mittel eingestuft, da die Maßnahmen zwar Ressourcen- beziehungsweise Materialeinsparungen durch Verwendung von Abfallprodukten aus der Industrie ermöglichen, jedoch eine Kreislaufführung durch unzureichende Recyclingfähigkeit und hohe Qualitätsanforderungen erschweren. Insgesamt werden die bestehenden Unsicherheiten bezüglich der Praxistauglichkeit dieser Maßnahmen als übergreifendes Hindernis bewertet, weswegen das Potenzial für Geschäftsmodelle und die weitere Entwicklung als mittel einstuft werden.

Die **Verwendung alternativer Rohstoffe** (4b), wie Textilbeton[43], bildet das nächste Maßnahmen-Cluster. Bei Textilbeton handelt es sich um Beton, der anstelle von Stahl durch Carbon- oder Glasfasergewebe verstärkt wird. Dieser Textilbeton lässt sich darüber hinaus auf Basis von umweltfreundlichen Naturfasern herstellen. Die Verringerung des Stahlanteils reduziert den Energieaufwand bei der Rohstoffgewinnung sowie dem Herstellungsprozess des Textilbetons. Dies ermöglicht zumindest eine moderate CO_2-Reduktion. Aufgrund der Reststoffnutzung können keine ausschlaggebenden Risiken feststellt werden. Die Reduktion des Stahlanteils im Textilbeton stellt darüber hinaus eine Chance zur Ressourceneffizienz dar, da der Materialbedarf für Stahl gesenkt werden kann. Dies steht einer möglicherweise erschwerten Kreislaufführung, aufgrund unzureichender Recyclingfähigkeit der Verbundwerkstoffe, gegenüber. Das größte Hindernis stellt für dieses Cluster die bislang unsichere Praxistauglichkeit des Betons dar. Insgesamt wird dieses Cluster jedoch mit einem hohen Potenzial für Geschäftsmodelle eingeschätzt.

[43] Textilbeton wird unter anderem auch Carbonbeton genannt.

Die letzten beiden Cluster können an dieser Stelle gemeinsam betrachtet werden. Sie beinhalten Maßnahmen, welche sich mit dem **Holzbau** (4c) und dem **Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Gebäudebau** (4d) auseinandersetzen.[44] Der Holzbau bietet die Möglichkeit, Baustoffe wie Beton, Kies, Stahl oder Sand durch Holz auszutauschen. Dabei ist es möglich, ein gesamtes Gebäude in Holzbauweise zu errichten. Nachwachsende Rohstoffe finden im Gebäudebau unterschiedlichste Einsatzmöglichkeiten, beispielweise als Dämmmaterial (z. B. aus Jute oder Flachs) oder als Baustoff (z. B. Pappe, Stroh, Maiskörner, Hanfbeton). Diese nachwachsenden Rohstoffe ersetzen dabei endliche Baustoffe. Allgemein wird bei den beiden Clustern deutlich, dass sie eine bessere CO_2-Bilanz als andere Baustoffe aufweisen. Dies liegt unter anderem an Energieeinsparungen bei den Herstellungs- und Aufbereitungsprozessen (beispielweise muss Holz als Baustoff nur bearbeitet und nicht aufwendig hergestellt werden). Darüber hinaus kann eine verbesserte Logistik bei regionalen Rohstoffen/ Hölzern zu CO_2-Einsparungen führen. Dämmstoffe aus natürlichen Materialien (z. B. Jute, Flachs oder Seegras) sind bereits in der Praxis etabliert und gewinnen zunehmend an Bedeutung. Zurzeit wird das Verhalten der Naturdämmstoffe in Forschungsprojekten in Bezug auf Brandschutz und Glimmverhalten, Schallschutz, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Nachhaltigkeit und Emissionen analysiert. Gerade im Brandschutzverhalten sind - anders als erwartet - Naturdämmstoffe meist vorteilhafter als konventionelle Dämmstoffe (z. B. Styropor).[45] Diese Beiträge zur Klimaneutralität stehen einigen Risiken gegenüber. So führt ein Verlust der Biodiversität durch Abholzung oder Monokulturen (z. B. beim Anbau von Flachs oder Jute) zu einer verringerten CO_2-Aufnahme. Ein Import der Hölzer aus dem Ausland sowie eine aufwändige Landwirtschaft erzeugen darüber hinaus weitere Emissionen. Aus diesem Grund kann der Beitrag zur Klimaneutralität im Gebäudebau nur als mittel hoch bewertet werden. Demgegenüber stehen die durchaus hohen Potenziale zur Ressourceneffizienz in beiden Clustern. Die Maßnahmen ermöglichen eine Erhöhung der Kreislaufführung durch den Ersatz schädlicher und endlicher Stoffe durch nachwachsende Rohstoffe. Allerdings ist es gerade hier von Relevanz, die Recyclingfähigkeit der Rohstoffe zu gewährleisten und beispielweise bei Holz keine imprägnierenden Mittel oder ähnliches zu verwenden. Darüber hinaus besteht bei Hölzern das Risiko der unzureichenden Rohstoffverfügbarkeit und bei nachwachsenden Rohstoffen besteht das Risiko einer Flächenkonkurrenz mit der Landwirtschaft für Nahrungsmittel. Bei dem Cluster des Holzbaus werden dabei keine ausschlaggebenden Hindernisse gesehen, vielmehr ist in Zukunft mit einer weiteren regulatorischen Unterstützung zu rechnen. Das Cluster der nachwachsenden Rohstoffe hingegen sieht sich hohen Qualitätsanforderungen (wie beispielweise Brand-, Schall-, Wärme- und Feuchteschutz) entgegen. Zusammenfassend wird das Potenzial beider Cluster als mittelhoch eingeschätzt. Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle werden dabei insbesondere bei den vielseitigen Einsatzmöglichkeiten der nachwachsenden Rohstoffe gesehen.

[44] Aufgrund der Anpassung der Bauverordnung und somit der Brandschutzregelungen ist es nun möglich mehrstöckige Häuser in Holzbauweise zu errichten. Aufgrund des gesteigerten Interesses wird der Hausbau daher in einem separaten Cluster aufgeführt und untersucht. Andere nachwachsende Rohstoffe (wie z. B. Stroh, Jute, Hanf) werden aus Übersichtsgründen in einem Maßnahmen-Cluster zusammengefasst.

[45] Wohnglück 2020; Herrmann und Rüther 2020.

4| Maßnahmen-Cluster	Klimaneutralität		Ressourceneffizienz		Hindernisse	Stand der Entwicklung	Potenzial für Geschäfts-modelle
	Chancen	Risiken	Chancen	Risiken			
4a| Alternative Bindemittel für Zementherstellung	🟢	🟢	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡
4b| Alternative Rohstoffe im Gebäudebau (Textilbeton)	🟡	🟢	🟡	🟡	🟡	🟡	🟢
4c| Holzbau	🟡	🟡	🟢	🟡	🟢	🟡	🟡
4d| Nachwachsende Rohstoffe im Gebäudebau	🟡	🟡	🟢	🟡	🟡	🟡	🟢

Tabelle 4: Bewertung der Maßnahmen-Cluster zum CE-Ansatz Substitution von Rohstoffen und Materialien

4 HANDLUNGSFELDER FÜR DAS PROJEKT CEWI

Aufgrund der Vielzahl an zuvor definierten und bewerteten Maßnahmen-Clustern erfolgt in diesem Kapitel eine Auswahl an Handlungsfeldern, welche für den weiteren Projektverlauf das größte Potenzial aufweisen. Darüber hinaus werden erste mögliche Fragestellungen für das Projektvorhaben formuliert.

Bei den für den weiteren Projektverlauf ausgewählten Handlungsfeldern handelt es sich um die folgenden sechs Maßnahmen-Cluster:

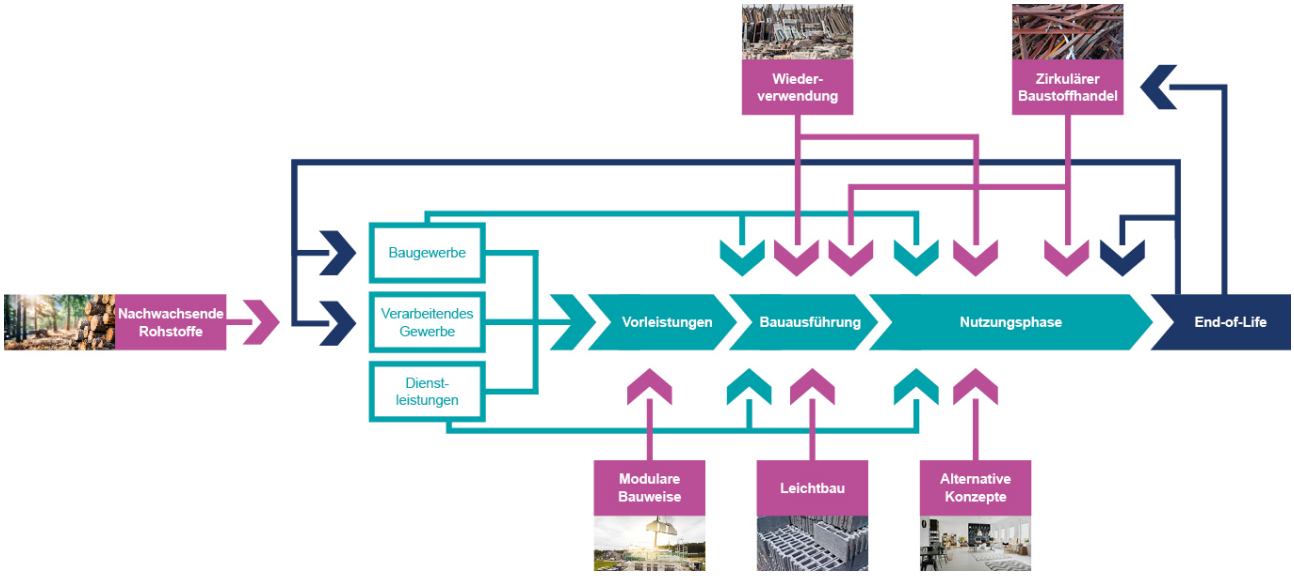


Abbildung 13: Wertschöpfungskette eines Gebäudes inklusive ausgewählter Handlungsfelder

Der Bereich „Recycling“ wird depriorisiert, da es hierzu bereits eine Vielzahl von Aktivitäten gibt beziehungsweise die Effekte sowohl auf Klimaneutralität als auch Ressourceneffizienz begrenzt oder bei einzelnen Maßnahmen gar nicht gegeben sind. Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, ist das Recycling von Beton zwar aus Sicht einer CE sinnvoll, hat aber aufgrund der Emissionen, die durch das Bindemittel Zement entstehen, keinen positiven Einfluss auf die Klimaneutralität. Die Debatte um das chemische Recycling und den Einfluss auf den Klimaschutz wird zurzeit im Rahmen von einigen Projekten diskutiert (z. B. In4Climate Diskussionspapier[46]), außerdem gibt es schon eine Vielzahl von Pilotprojekten in der Industrie (z. B. thermochemische Konversionsverfahren von *Fraunhofer UMSICHT*[47] und das ChemCycling™-Projekt von *BASF*[48]). Die Thematik mechanisches Recycling, und daran eng gekoppelt die Sortierung, wird zurzeit im Rahmen eines Forschungsprojektes (KUBA[49]) analysiert, wobei der Schwerpunkt hierbei vor allem auf dem Bereich der allgemeinen Potenziale liegt. Recycling von Ziegeln ist technologisch machbar, aber die Hemmnisse liegen hier vor allem marktseitig und damit auch regulatorisch. Darüber hinaus weisen die Maßnahmen-Cluster niedrige Entwicklungspotenziale auf. Darunter fallen die Cluster zum **Einsatz von RC-Beton** (1a), zum **Recycling von Festbeton** (1b), zur **Verwertung von Reststoffen bei der**

[46] IN4climate.NRW 2020.

[47] Fraunhofer UMSICHT Institutsteil Sulzbach-Rosenberg o. J.

[48] BASF SE o. J.

[49] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie o. J.

Klinkerherstellung (1f) aus dem ersten CE-Ansatz, sowie die **Energetische Sanierung und Renovierung von Bestandsgebäuden** (3c). Die übrigen Cluster des ersten CE-Ansatzes Schließung der Stoffkreisläufe bieten zwar durchaus Potenziale für weitere Entwicklungen und Geschäftsmodelle, werden jedoch im weiteren Projektvorhaben nicht weiter integriert. Dies liegt an den bestehenden Hindernissen, die es zunächst zu überwinden gilt (z. B. die hohen Kosten oder Gesetzgebungen wie beim chemischen Recycling von Kunststoffen).

Im Themenbereich der Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz sind alle drei vorgeschlagenen Themen relevant und haben je nach Ausgestaltung eine positive Wirkung sowohl auf Klimaneutralität als auch Ressourceneffizienz. Darüber hinaus bieten sie insgesamt gute Möglichkeiten für eine weitere Entwicklung und Geschäftsmodelle, weswegen sie weiterhin in CEWI betrachtet werden. Da sich die Maßnahmen (2a) und (2b) grundsätzlich nur in den Materialien unterscheiden, werden diese zu einem Cluster zusammengelegt (zu **Leichtbau im Gebäudesektor** (2a+2b)), während das Cluster **Modulare Bauweise** (2c) als eigenständiges Thema erhalten bleibt.

Aufgrund ihrer Ähnlichkeit werden die Maßnahmen (3a) und (3b) aus dem Themenbereich Verlängerung der Lebensdauer zu **Alternative Wohn-und Bürokonzepte** (3a+3b) zusammengelegt. Dieses Cluster weist ein hohes Potenzial für Geschäftsmodelle auf und wird daher in den weiteren Projektverlauf integriert. Das Maßnahmen-Cluster **Energetische Sanierung und Renovierung von Bestandsgebäuden** (3c) wird rausgenommen, da diese Thematik bereits gängige Praxis ist. Ein konkreter neuer Ansatz, der sich hieraus ergeben könnte, wäre die Entwicklung einer Decision Matrix (Wann sollte man ein Gebäude neu bauen?).

Die Maßnahmen-Cluster des vierten Ansatzes zur Substitution von Rohstoffen und Materialien bieten lediglich ein mittleres Potenzial für Weiterentwicklungen. So besteht für alle diese Cluster weiterhin Forschungsbedarf. Bei den Clustern **Alternative Bindemittel für die Zementherstellung** (4a) und **Alternative Rohstoffe im Gebäudebau** (4b) handelt es sich um zu komplexe und spezielle Themen, weswegen sie trotz eines mittleren beziehungsweise hohen Potenzials für Geschäftsmodelle im weiteren Projektverlauf nicht betrachtet werden. Die Cluster zum **Holzbau** (4c) und zu **Nachwachsenden Rohstoffen im Gebäudebau** (4d) weisen zwar Forschungsbedarf auf, finden jedoch bereits häufig Anwendung in der Praxis. Darüber hinaus wird ein hohes Potenzial für weitere Geschäftsmodelle vermutet, jedoch in Abhängigkeit zur Gesetzgebung (z. B. beim Holzbau). Diese beiden Cluster werden im weiteren Projektverlauf integriert und zusammengefasst zu **Nachwachsende Rohstoffe im Gebäudesektor** (4c+4d).

Nächste Schritte im Projektverlauf

Die vorliegende Kurzstudie stellt die Basis für den weiteren Projektverlauf dar. Nach Veröffentlichung finden Webinare für die beiden Sektoren Gebäude und Automobil statt, in denen die Ergebnisse der Analysen erläutert werden und ein erster Austausch mit interessierten Akteuren aus der Praxis stattfindet soll. Im Juni 2021 ist die Auftaktveranstaltung geplant, in der zum einen das Projekt vorgestellt wird und zum anderen eine Podiumsdiskussion zur Circular Economy und deren Rolle zur Erreichung einer Klimaneutralität und Ressourceneffizienz in beiden Sektoren stattfindet. Darüber hinaus werden die identifizierten Handlungsfelder in Kleingruppen diskutiert. Im Anschluss an die Auftaktveranstaltung startet die Workshop-Phase. Hier werden Unternehmen eingeladen, gemeinsam aktiv an Pilotprojektideen zu arbeiten und diese zu modellieren.

Abbildung 14: Nächste Schritte im Projektverlauf von CEWI

Abschließend werden für die vorgestellten priorisierten Handlungsfelder in der nachfolgenden Abbildung mögliche Fragestellungen aufgeführt. Diese sollen als Ideenanstoß für den weiteren Projektverlauf dienen, insbesondere für das Webinar und die Auftaktveranstaltung.

	Maßnahmen-Cluster	Fragestellungen
2| Steigerung der Produkt- und Materialeffizienz	**2a + 2b|** Leichtbau im Gebäudesektor	Für welche Komponenten von Gebäuden ist Leichtbau anwendbar? Für welche Komponenten darf Leichtbau überhaupt angewendet werden? Welche Materialien kommen für Leichtbau in Frage?
	2c| Modulare Bauweise	Unter welchen Bedingungen kann eine modulare Bauweise umgesetzt werden? Welche Gebäudekomponenten können modular eingesetzt werden? Weitere Geschäftsbereiche für modulare Bauweisen (z. B. Studentenwohnheim, Kita, etc.)?
3| Verlängerung der Lebensdauer & effizientere Nutzung der Produkte	**3a + 3b|** Alternative Wohn- und Bürokonzepte	Ausweitung auf andere Geschäftsfelder wie Kitas und Co.? Wie ist der momentane Bedarf an Co-Working? Auswirkungen der Pandemie. Wohnungstausch von Genossenschaften auf Stadteben anheben?
	3d| Zirkulärer Baustoffhandel	Übergreifende Plattform für unterschiedliche Sektoren? Ausbau der Datenbank hin zu Ansprechpartnern für bestimmte Sektoren?
	3e| Wiederverwendung von Gebäude-komponenten	Welche Komponenten eignen sich zur Wiederverwendung? Wie groß ist der Aufbereitungsaufwand?
4| Substitution von Rohstoffen und Materialien	**4c + 4d|** Nachwachsende Rohstoffe im Gebäudebau	Zusammenarbeit mit Landwirten/Forstwirten? Welche Gebäudekomponenten oder Materialien können ausgetauscht werden? Welche Eigenschaften müssen die nachwachsenden Rohstoffe im Gebäudebau mitbringen (z. B. Brandschutz, etc.)?

Abbildung 15: Mögliche Fragestellungen zu den ausgewählten Handlungsfeldern

5 LITERATURVERZEICHNIS

All in One Gebäudeverwaltung (2015): Klimaschutz: Bausektor trägt Schlüsselrolle zur Erreichung der Pariser Klimaziele. Online im Internet: https://www.aiogv.at/news/klimaschutz-bausektor-tr%C3%A4gt-schl%C3%BCsselrolle-zur-erreichung-der-pariser-klimaziele (Zugriff am: 26.01.2021).

BASF SE (o. J.): Chemisches Recycling von Kunststoffabfällen. Online im Internet: https://www.basf.com/global/de/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling.html (Zugriff am: 28.04.2021).

Bringezu, S. u.a. (2017): Assessing global resource use: A systems approach to resource efficiency and pollution reduction (A Report of the International Resource Panel).

Buchberger, Silvia u.a. (2019): „Das Konzept der Circular Economy als Maxime für Beschaffung und Vertrieb in der Industrie.“ In: Arbeitsberichte - Working Papers, (2019), 46.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess): Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen.

Bundesrat (2020): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung. Online im Internet: https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2020/0501-0600/587-20(B).pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Bundestag (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG). Online im Internet: https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/KrWG.pdf.

Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung (2020): https://www.bvse.de. Kreislaufwirtschaft: Baustoffrecycling braucht mehr als nur guten Willen. Online im Internet: https://www.bvse.de/gut-informiert-mineralik/nachrichten-mineralik/6262-kreislaufwirtschaft-baustoffrecycling-braucht-mehr-als-nur-guten-willen-2.html (Zugriff am: 23.03.2021).

CREE Buildings (o. J.): Das CREE-System. Online im Internet: https://www.creebuildings.com/de/system (Zugriff am: 24.03.2021).

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen [DGNB] (2019): Circular Economy - Kreisläufe schließen, heißt zukunftsfähig sein.

Deutscher Naturschutzring (2018): Ressourcenschonung: Steuern rauf, Verbrauch runter?! Online im Internet: https://www.dnr.de/fileadmin/Publikationen/Steckbriefe_Factsheets/18_02_R2-0_Steckbrief_Ressourcensteuern.pdf.

Ellen MacArthur Foundation (2016): The New Plastics Economy - Rethinking the future of plastics. Online im Internet: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/EllenMacArthurFoundation_TheNewPlasticsEconomy_Pages.pdf.

Ellen MacArthur Foundation (2015): Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transisition. Online im Internet: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation_26-Nov-2015.pdf.

Europäische Kommission (2020): A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Online im Internet: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-brochure.pdf.

Europäische Kommission (2019): Der europäische Grüne Deal. Online im Internet: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2 (Zugriff am: 26.01.2021).

Europäische Kommission (2021): European Commission - European Commission. New European Bauhaus: Commission launches design phase. Online im Internet: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_111 (Zugriff am: 28.04.2021).

Faktor X-Agentur der Entwicklungsgesellschaft indeland GmbH (2020): Faktor X im Rheinischen Revier - Grundlagen für Bauherren, Planer und Architekten.

Fraunhofer UMSICHT Institutsteil Sulzbach-Rosenberg (o. J.): Fraunhofer UMSICHT Institutsteil Sulzbach-Rosenberg. Chemisches Recycling. Online im Internet: https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/de/unsere-loesungen/chemisches-recycling.html (Zugriff am: 28.04.2021).

Geocycle (o. J.): Waste management for a better world. Geocycle Schweiz. Online im Internet: https://www.geocycle.com/de/schweiz (Zugriff am: 24.03.2021).

Greiff, Kathrin; Faulstich, Martin (2018): „Resource Efficiency: Trends and the Potential of Circular Economy.“In: (2018), S. 8.

Herrmann, Birgit; Rüther, Norbert (2020): Innovations Report. Weg frei für mehr Natur-Dämmstoffe beim Bauen. Online im Internet: https://www.innovations-report.de/fachgebiete/architektur-bauwesen/weg-frei-fuer-mehr-natur-daemmstoffe-beim-bauen/ (Zugriff am: 02.02.2021).

HOCHTIEF AG (2017): HOCHTIEF realisiert Mercedes Platz mit innovativer Hohlkörperdeckentechnologie. Online im Internet: https://www.hochtief.de/aktuelles-medien/pressemitteilungen/pressemitteilung/hochtief-realisiert-mercedes-platz-mit-innovativer-hohlkoerperdeckentechnologie (Zugriff am: 24.03.2021).

Holcim AG (o. J.-a): Holcim Schweiz - Ihr Partner für Zement, Kies und Beton. Beton aus Recycling-Material. Online im Internet: https://www.holcim.ch/de/beton-aus-recycling-material (Zugriff am: 23.03.2021).

Holcim AG (o. J.-b): Holcim Schweiz - Ihr Partner für Zement, Kies und Beton. Vollständige Verwertung von Abfällen durch Co-Processing. Online im Internet: https://www.holcim.ch/de/vollstaendige-verwertung-von-abfaellen-durch-co-processing (Zugriff am: 24.03.2021).

IN4climate.NRW (2020): Chemisches Kunststoffrecycling - Potenziale und Entwicklungspersepektiven. Online im Internet: https://www.in4climate.nrw/newsroom/publikationen/ (Zugriff am: 28.04.2021).

Karlsruher Institut für Technologie (2009): Grüner Zement. Karlsruher Institut fuer Technologie. Online im Internet: https://www.kit.edu/kit/pi_2009_610.php (Zugriff am: 24.03.2021).

Kavermann, Yvonne; Blöser, Julia (o. J.): Baunetz Wissen. Graue Energie. Online im Internet: https://www.baunetzwissen.de/glossar/g/graue-energie-664290 (Zugriff am: 26.01.2021).

Kreislaufwirtschaft Bau (2017): Mineralische Bauabfälle. Monitoring 2014 - Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2014.

LEG Immobilien AG (2020): Wohnen. Lebenswert, einfach gut. Nachhaltigkeitsbericht 2019. Online im Internet: https://www.leg-wohnen.de/fileadmin/dateien/02_Unternehmen/Nachhaltigkeit/Nachhaltigkeitsberichte/LEG_NHB_2019_d.pdf.

Material Economics (2018): The Circular Economy: A Powerful Force for Climate Mitigation. Online im Internet: https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy-a-powerful-force-for-climate-mitigation-1.

McKinsey (2016): The circular economy: Moving from theory to practice | Sustainability | McKinsey & Company. Online im Internet: https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-circular-economy-moving-from-theory-to-practice (Zugriff am: 23.03.2021).

OECD (2019): Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy. Online im Internet: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/business-models-for-the-circular-economy_g2g9dd62-en (Zugriff am: 02.02.2021).

Schmidt-Bleek, Friedrich u.a. (1998): „MAIA: Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept.“In: (1998). Online im Internet: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/663 (Zugriff am: 23.03.2021).

Statista (2020a): Treibhausgasemissionen des deutschen Bauhauptgewerbes bis 2018. Online im Internet: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/476879/umfrage/ treibhausgasemissionen-des-deutschen-bauhauptgewerbes/ (Zugriff am: 26.01.2021).

Statista (2020b): Wohnfläche je Einwohner in Wohnungen in Deutschland bis 2019. Wohnfläche je Einwohner in Wohnungen in Deutschland bis 2019. Online im Internet: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36495/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-in-deutschland-von-1989-bis-2004/ (Zugriff am: 26.01.2021).

Statistisches Bundesamt (2020): Abfallbilanz - 2018. Online im Internet: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.html (Zugriff am: 26.01.2021).

Statistisches Bundesamt (o. J.-a): Nichtwohngebäude. Online im Internet: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Glossar/nichtwohngebaeude.html (Zugriff am: 26.01.2021).

Statistisches Bundesamt (o. J.-b): Statistisches Bundesamt. Wohngebäude. Online im Internet: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Glossar/wohngebaeude.html (Zugriff am: 26.01.2021).

Steffen, Will u.a. (2015): „Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet.“ In: Science, 347 (2015), 6223. DOI: 10.1126/science.1259855.

Stuchtey, Dr. Martin R (2016): Circular Economy: Werte schöpfen, Kreisläufe schließen. Berlin. Online im Internet: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/news/20160125_Growth-Within_Germany_final.pdf (Zugriff am: 25.01.2021).

Tambovceva, Tatjana; Titko, Jelena (o. J.): Introduction to Circular Economy. Ekonomikas un kulturas augstskola.

Umweltbundesamt (2020): Wohnfläche. Umweltbundesamt. Online im Internet: https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wohnflaeche (Zugriff am: 26.01.2021).

Wijkman, Anders; Skånberg, Kristian; Berglund, Mårten (2015): The Circular Economy and Benefits for Society: Jobs and Climate Clear Winners in an Economy Based on Renewable Energy and Resource Efficiency. Online im Internet: https://www.lagazettedescommunes.com/telechargements/etude-club-rome-eng.pdf.

Wohnglück (2020): Wohnglück. Ökologische Dämmung: Vergleich & Kosten von natürlichen Dämmstoffen. Online im Internet: https://wohnglueck.de/artikel/oekologische-daemmung-vergleich-und-kosten-von-acht-natuerlichen-daemmstoffen-157 (Zugriff am: 02.02.2021).

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (o. J.): KUBA. Online im Internet: https://wupperinst.org/p/wi/p/s/pd/798 (Zugriff am: 28.04.2021).

WWF Deutschland (2019): „Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie - Hintergrund und Handlungsoptionen." In: (2019), S. 36.