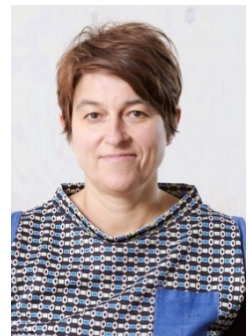
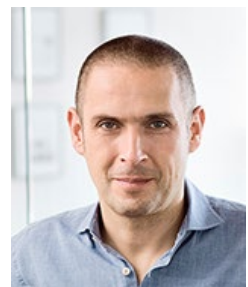


# DIN Roadmap Circular Economy – Aktuelles aus Forschung und Praxis

Prof. Andrea Klinge  
Konstruieren und Entwerfen Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
ZRS Architekten Ingenieure,  
Berlin, Deutschland  
© Phillip Zwanzig



Prof. Eike Roswag-Klinge  
Natural Building Lab TU Berlin  
ZRS Architekten Ingenieure  
Berlin, Deutschland  
© Daniela Friebe





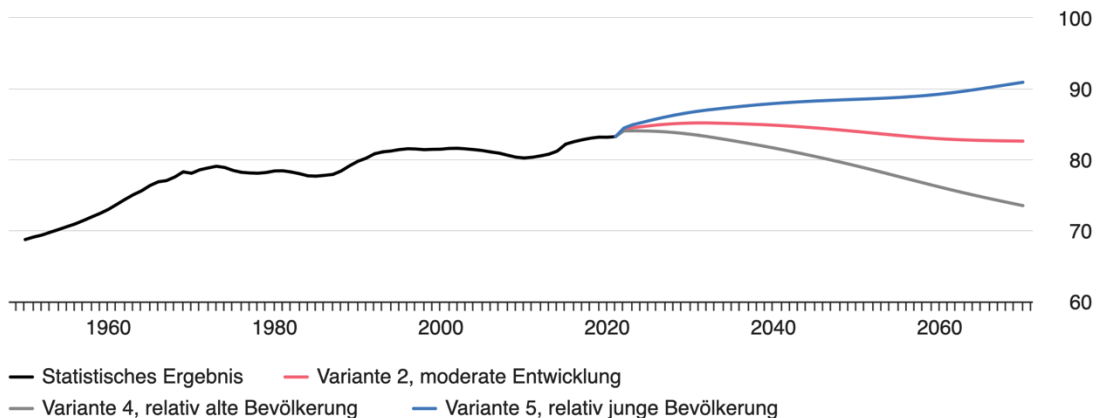
# DIN Roadmap Circular Economy - Aktuelles aus Forschung und Praxis

## 1. Einleitung

Europa und Deutschland sind gebaut. In den nächsten Jahrzehnten wird eine leicht sinkende Bevölkerung in Deutschland erwartet<sup>[1]</sup>. Zudem beschreibt das Umweltbundesamt (UBA) in seiner RESCUE Studie<sup>[2]</sup> die Notwendigkeit der Reduktion der Wohnflächen in Deutschland auf im Mittel ca. 40 m<sup>2</sup>/ Person, um die Klimaziele 2050 bzw. 2045 zu erreichen. Dies entspricht einer Reduktion um knapp 20%. Käme dieses Szenario zur Anwendung ergäbe dies 2045 einen Leerstand von 20% der Wohnflächen. Der Deutschlandatlas prognostiziert für das Referenzjahr 2018 einen Leerstand von 1,7 Mio. Wohnungen<sup>[3]</sup>, was einer Quote von 4,2% der Wohnungen entspricht. Die Aufgabe im Wohnungsbau und der Stadtentwicklung liegt nicht im Neubau sondern in der besseren Verteilung der Wohnflächen. Die Zahlen im Wohnungsbau lassen sich auf den Bürobau und andere Nutzungsformen übertragen. Die Reduktion des Konsums von Nutzflächen ist eine Aufgabe für alle Gebäudetypologien.

### Entwicklung der Bevölkerungszahl

in Millionen Personen



Ab 2022 Ergebnisse der 15. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung.

Abbildung 1: Prognose der der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis 2070, Destatis 2023

In jedem Falle sollte in Deutschland nur in sehr begründeten Fällen neu gebaut werden. Hingegen ist der Fokus auf die Transformation der Bestandsbauten von sehr großer Bedeutung. Aktuell liegt die Sanierungsquote bei ca. einem Prozent. Zur Erreichung der Klimaziele 2045 ist eine Sanierungsquote von drei und mehr Prozent notwendig. Neben die energetische Sanierung tritt die Frage der Anpassung an neue Nutzungsansprüche wie neue Formen des Wohnens, aber auch der Kombination von Wohnen und Arbeiten bzw. die Umwandlung von Bestandsimmobilien. Wir werden in Zukunft also nicht weniger bauen, sondern den Fokus auf die Transformation des Bestehenden legen müssen.

Zum Schutz der Ressourcen werden Gebäude in Zukunft erhalten und die Abrissquoten auf das Notwendigste reduziert werden müssen. Durch die Reduktion des Neubaus wird die Entnahme von Rohstoffen wie angestrebt sinken. Mineralische und energieintensive Baustoffe wie Stahl, Aluminium und Beton sowie Mineraldämmstoffe können durch Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen substituiert werden. Durch diesen Wechsel wird CO<sub>2</sub> in Gebäuden gespeichert und die Transformation von Gebäuden kann auf diesem Wege in der Umbau-/ Errichtungsphase klimaneutral erfolgen.

Die Kreislaufgerechtigkeit beginnt im Bauwesen mit der Konzeption und Planung. Bauliche Strukturen, insbesondere Rohbauten, müssen um nutzbar gestaltet werden um über Jahrzehnte in Nutzung zu bleiben. Ausbauten werden sich den Nutzungsanforderungen über lange Zeiträume hinweg anpassen müssen und entsprechend rückbaufähig und nachnutzbar gestaltet werden.

Um die bislang linear und konsumorientierte Bauindustrie kreislauffähig und ressourceneffizient zu machen muss das gesamte System neu gedacht und reorganisiert werden. Ressourcenintensive Baustoffe wie Beton, Stahl und Mineralewärmestoffe müssen so weit wie möglich durch nachwachsende Rohstoffe und Rezyklate ersetzt werden. Die DIN Roadmap Circular Economy sucht hier nach Wegen die Wirtschaft neu zu denken.

Zudem werden aber auch Reallabore wie beispielsweise der Museumspavillon der TU Berlin für Sprunginnovationen im Bauwesen sorgen müssen, um die notwendige Geschwindigkeit für die Transformation des Bauwesens zu erreichen.

## 2. DIN Roadmap Circular Economy – Bauwerke und Kommunen

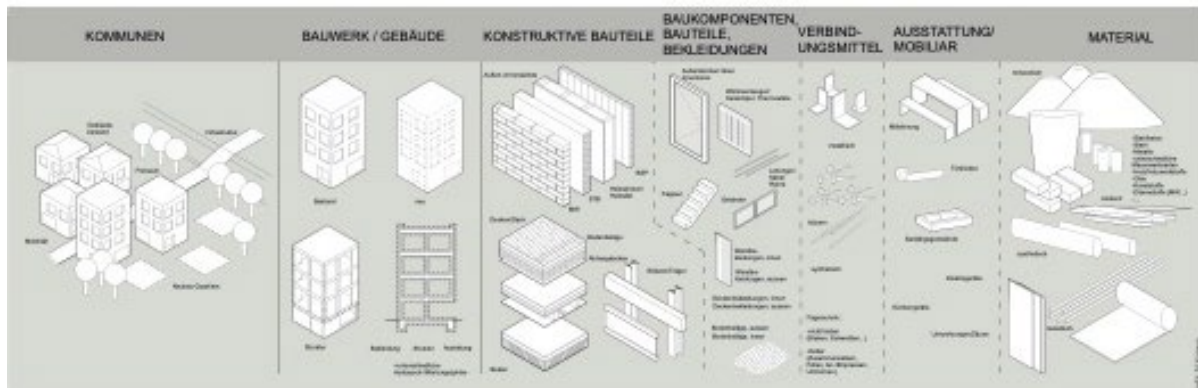


Abbildung 2: Betrachtungsebenen und -komponenten im Kontext von Bauwerken und Kommunen (Quelle DIN)

Das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN), die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) und der Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) haben im Jahr 2021 die Idee einer Circular Economy Roadmap ausgerufen und diese mit Hilfe von Vertreter:innen aus Wissenschaft, öffentlicher Hand, Wirtschaft und Zivilgesellschaft im Jahr 2022 erstellt. Die Roadmap betrachtet die wesentlichen Sektoren der Wirtschaft und analysiert die notwendigen Prozesse, um diese von einer linearen, konsumorientierten auf eine zirkuläre Wirtschaft umzustellen. Die verschiedenen Stoffkreisläufe müssen entlang aller Stufen der Wertschöpfungsketten betrachtet und reorganisiert werden. Hierzu sind bestehende Normen zu überarbeiten bzw. müssen neue Normen entwickelt werden. Bestenfalls können sich widersprechende Normen entfallen, um eine Übersichtlichkeit wieder zu gewährleisten. Der Bausektor wurde im Themenschwerpunkt Bauwerke und Kommunen behandelt. Aufgrund seiner Komplexität, der unterschiedlichen Produktionsebenen und Baupraktiken in-situ auf der Baustelle steht der Bausektor vor besonderen Herausforderungen<sup>[5]</sup>.

Das Bauwesen muss von der Konzeption und Planung über alle Stufen der Wertschöpfung auf allen Ebenen vom Quartier, über Gebäude, Bauelemente bis hin zum Material reorganisiert werden. Das Bauwesen nutzt ca. 90% der mineralischen Rohstoffe, die in Deutschland gewonnen werden<sup>[4]</sup>. Zur Erreichung der Klimaziele muss die Entnahme von Rohstoffen um 60% reduziert werden<sup>[2]</sup>. Das Bauwesen muss zur Reduktion der Entnahmen in die Kreislaufbauwirtschaft einsteigen und sich quasi «entstofflichen». Die Roadmap schafft auch für den Bausektor die Grundlage zur Anpassung der Normung und den Einstieg in die Kreislaufwirtschaft<sup>[5]</sup>.

Um diese Entstofflichung, also die Trennung von Wohlstand und Ressourcen, zu erreichen soll mit Hilfe von überarbeiteten Normen und Standards die Ressourceninanspruchnahme durch eine verlängerte Lebensdauer auf allen Ebenen (Bauland, Gebäude, Bauteil, Bauteilkomponente, Verbindungsmittel, Ausstattung, Material) signifikant reduziert werden. Hier geht es in erster Linie um Refuse, also der Infragestellung von Erneuerungszyklen durch eine verlängerte, intelligente Nutzung von Ressourcen. Erst wenn dieser Ansatz nicht mehr anwendbar ist, werden greift die zweite Strategie, nämlich die der stofflichen/technologischen

schen Materialkreisläufe mit der Zielsetzung der Abfallvermeidung, der möglichst hochwertigen Wiederverwendung von Bauteilen und der stofflichen Verwertung von Baumaterialien (Recycling ohne Downcycling)<sup>[5]</sup>.

Um eine Wiederverwendung von Bauteilen zu ermöglichen bedarf es zukünftig Rückbaustandards, die eben diese Wiederverwendung anstreben und Bauteile zerstörungsfrei und werterhaltend ausbauen. Um die im Bausektor neue Thematik der Wiederverwendung zu fördern, sollen Standards und Normen bei bestehenden, übergeordneten Herausforderungen Hilfestellung leisten und Fragen der Gewährleistung und Haftung lösen aber auch die Prüfung/Zertifizierung/Zulassungen «gebrauchter» bzw. bereits verbauter Bauteile /Baustoffe regeln. Hierzu müssen Produkteigenschaften festgelegt werden, welche zum Erreichen dieser wesentlichen Merkmale beitragen, die auf definierten Prüfkriterien basieren. Diese Kriterien sind in den jeweiligen Produktnormen festzuschreiben<sup>[5]</sup>.

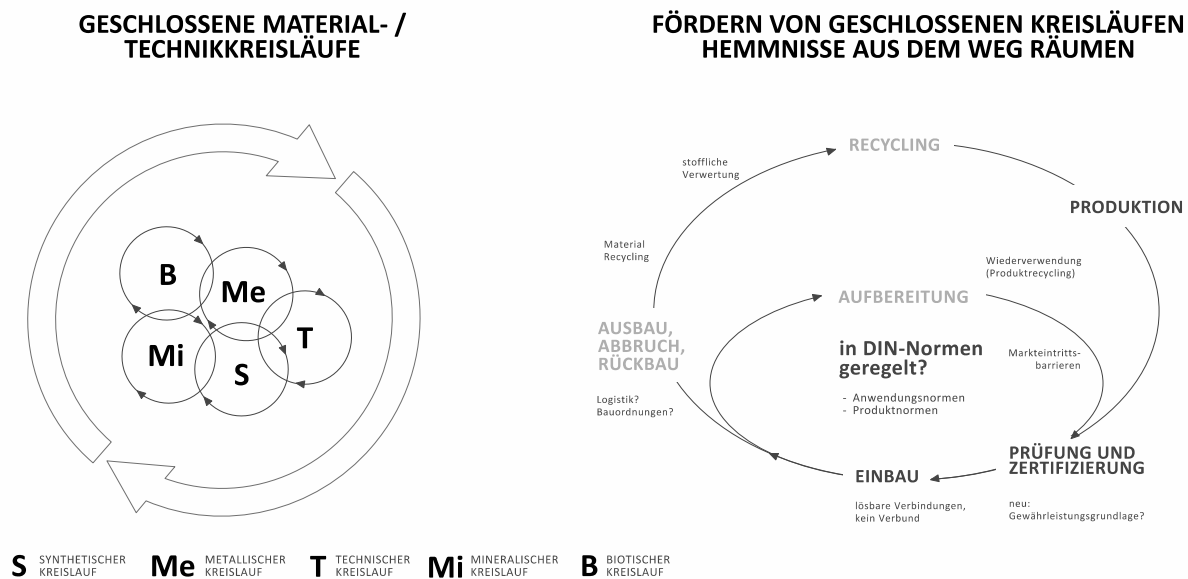


Abbildung 3: Zirkularität der Betrachtungsebenen der Baumaterialien (Quelle DIN)

Grundsätzlich wird es zukünftig wichtig sein, Methoden und Tools zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden, Bauteilen und Baumaterialien weiter- bzw. neu zu entwickeln. Diese müssen den Planungsprozess unterstützen, um belastbare und vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Sie müssen über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes anwendbar sein. Zudem werden uns Gebäudepässe helfen, die eingesetzten Ressourcen zu kartieren und in zukünftige Planungsprozesse besser integrieren zu können<sup>[5]</sup>.

### 3. Kreislaufgerecht Bauen mit Altholz – Reallabor Museumspavillon der Technischen Universität Berlin



Abbildung 4: Vorentwurfsplanung GRW-Projekt «Pavillon und Wissenspfade», TU Berlin 2022

Im Rahmen der Neuerschließung des Campus Süd der Technischen Universität wird in Berlin-Charlottenburg der Neubau eines 1.200 m<sup>2</sup> BGF großen, zwei- bzw. dreigeschossigen Pavillons geplant, der zukünftig das Museum der Universität beheimatet. Der ca. 14 m hohe Pavillon mit einem rechteckigen Grundriss von 40x12 m wird dabei zu einem zentralen Bestandteil des Austauschs zwischen Wissenschaft, Kunst und Gesellschaft. Das Museum wird neben der Mineralogischen Schausammlung der TU Berlin einen Wechselausstellungsbereich mit Experimentallabor, ein Museums-Café mit Informationszentrum und eine Multifunktionsfläche beherbergen.

Das Projekt wurde über mehrere Semester in Studios verschiedener Studiengänge interdisziplinär in Anlehnung an Forschungsfragen der TU-Berlin entwickelt. Im Wintersemester 2021/22 erarbeitete ein interdisziplinäres studentisches Projektbüro mit Master-Studierenden der Landschaftsarchitektur und Architektur in Kooperation mit der TU Projektleitung und weiteren Akteur\*innen aus Hochschule und Praxis unter Begleitung eines externen Fachbeirats einen integrierten Entwurf als Teilleistung der Leistungsphase 2 nach HOAI für das Gebäude und den Außenraum. Im April 2022 wurde diese Planungsgrundlage an ein Generalplanungsteam zur Umsetzung der weiteren Planungsphasen bis zur Realisierung übergeben. Das interdisziplinäre studentische Projektbüro sowie forschende Fachgebiete bleiben in einem dialogischen Prozess auch weiterhin in das Projekt eingebunden.

Mit der Übergabe an das Generalplanungsteam wurde das Projekt selbst zu einem DBU geförderten Forschungsprojekt und Reallabor für Sprunginnovationen in Planungs- und Baupraxis. So werden innovative Ansätze entwickelt, erprobt und umgesetzt. Mit dem übergeordneten Ziel des kreislaufgerechten Bauens in planetaren Grenzen und einem ganzheitlichen Nachhaltigkeitsanspruch werden im weiteren Prozess verschiedene Forschungsfelder und -projekte die Umsetzung des Pavillons wissenschaftlich begleiten, inhaltlich unterstützen und weitere Schnittstellen zu Forschungsaktivitäten der TU Berlin schaffen.

Insbesondere die tragenden Bauteile des Pavillon-Neubaus werden mit innovativen und kreislaufgerechten Bauweisen realisiert. Dafür werden für den Hochbau möglichst viele Bauteile aus Holz aus Bau- und Abbruchabfällen hergestellt. Für die erdberührten Bauteile wird die Verwendung neuartiger, beton- und stahlarmer Methoden der Gründung mit möglichst geringer Flächenversiegelung angestrebt.



Der Pavillon wird zukunftsweisend als kreislaufgerechtes Gebäude geplant, das sich flexibel an sich wandelnde Nutzungsanforderungen anpassen kann. Konstruktionen sind reversibel aus nachwachsenden oder wiederverwendeten Materialien konzipiert. Ein LowTech Konzept verzichtet auf Lüftungs- und Klimatechnik und ermöglicht so langfristig einen robusten, wirtschaftlichen Betrieb.

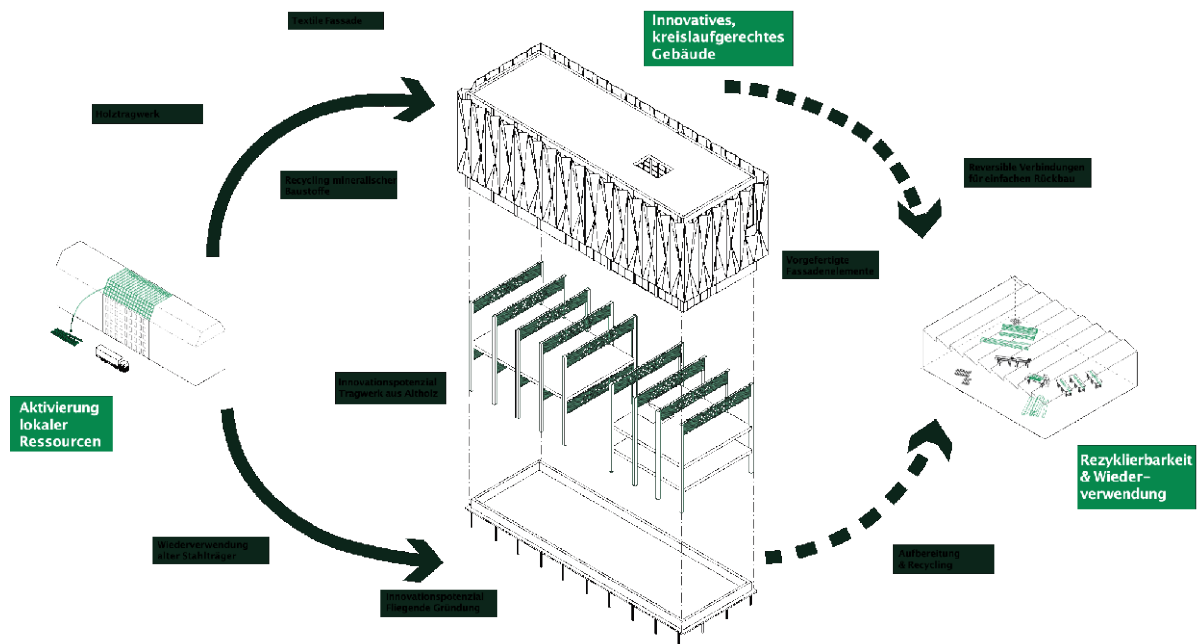


Abbildung 5: Konzeption eines kreislaufgerechten Gebäudes aus Altholz

### 3.1. Forschungsfeld kreislaufgerechte Altholznutzung

Bislang wird Altholz (Holz aus Bau- und Abbruchabfällen) primär thermisch (79%) oder stofflich (15%), z. B. zerkleinert als Holzwerkstoffe, verwertet <sup>[6]</sup>. Eine Wiederverwendung im Bauwesen ohne Zerkleinerung als tragende Bauteile findet in vernachlässigbarem Umfang statt – und das, obwohl dies mit einem Großteil (88%) nach Einsortierung in die Altholzkategorien I oder II zulässig wäre. Die Voraussetzungen für eine großflächige Nutzung der Ressource sind gegeben: Jährlich fallen 4,5 Millionen Tonnen Altholz als Bau- und Abbruchabfälle sowie 2,75 Millionen Tonnen in der Holzverarbeitenden Industrie an (Stand 2015) <sup>[7]</sup>.

Die aktuelle Normung lässt die Wiederverwendung von Altholz für tragende Bauteile zu <sup>[8]</sup>. Mittels visueller Sortierung können die bspw. beim Abbruch gewonnenen Bauteile Sortierklassen zugeordnet werden, die wiederum Festigkeitsklassen zugeordnet sind. Bis dato scheitert eine großflächigere Umsetzung der Altholzweiterverwendung in der Baupraxis jedoch unter anderem an dem dafür hohen Aufwand (im Vergleich zu «konventionellen» Baustoffen und Schnittholz) sowie der Übernahme der Gewährleistung.

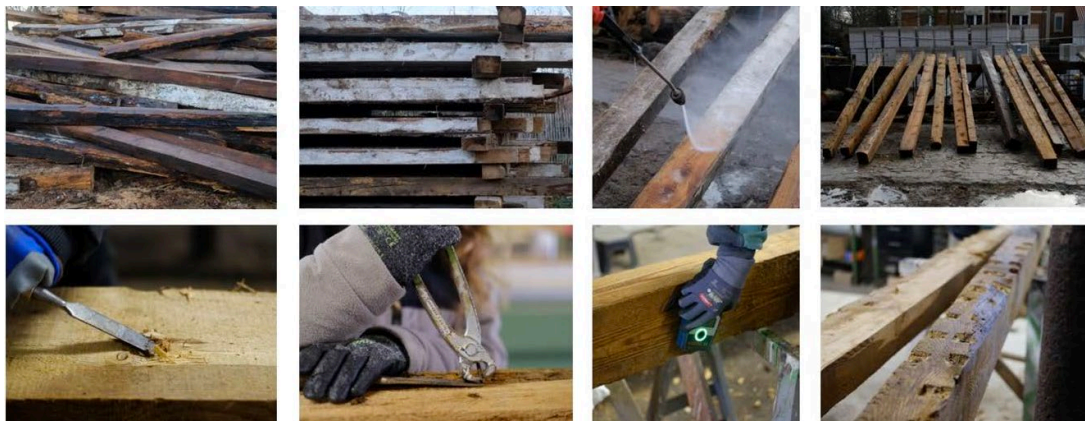


Abbildung 6 – 13: Prozess der Materialgewinnung und -vorbereitung, Reinigung und Befreiung von Störstoffen

Im Rahmen des europäischen Forschungsvorhabens RE<sup>4</sup><sup>[9]</sup> und eines DBU-Forschungsvorhabens der TU Darmstadt<sup>[10]</sup> konnte mittels Materialprüfungen an Einzelbauteilen gezeigt werden, dass aus rückgebauten Dachstühlen geborgenes Altholz wie Schnittholz weiterverarbeitet und zu tragenden und nichttragenden Zwecken verwendet werden kann. Daran anknüpfend ist zu zeigen, dass großformatige, aus Altholz gefertigte Tragwerkselemente (z. B. Deckentragwerke mit ca. 12 m Spannweite) und deren Einsatz in einem Bauprojekt realisierbar sind.

Das Tragwerk des Museumspavillons ist zu 100% aus Altholzressourcen und Rezyklaten geplant. In der baulichen Umsetzung ist ein Mindestanteil von Altholz von 20% in lastabtragender Funktion ohne Umwandlung des Holzes in Holzwerkstoffe vorgesehen. Weiterhin wird eine weitestmögliche Realisierung des dafür infrage kommenden Tragwerkes aus Altholz angestrebt. Dadurch ließe sich Downcycling bestmöglich vermeiden. Zusätzlich soll das eingesetzte Altholz auch zukünftig wiederverwendbar bleiben: Geplant wird mit vollständig rückbaubaren Querschnittsfügungen.

Die Ziele im Forschungsgebiet der kreislaufgerechten Altholznutzung lassen sich in zwei Bereiche gliedern: Die Gewinnung des Altholzes sowie den Entwurf eines Tragwerks mithilfe von Altholz. Im ersten Teilbereich werden Möglichkeiten der Gewinnung, Aufarbeitung und Wiederverwertung von lokal anfallenden Mengen von Altholz im Berlin untersucht. Dabei werden systematische Abläufe zum Wiedereinsatz unter Berücksichtigung der Kontamination mit Holzschutzmittel, der Sortierung, der örtlichen Verfügbarkeit sowie der Lagerung von Altholz entwickelt.

Reagierend auf Einschränkungen der vorhandenen Altholz-Querschnitte und -Längen werden bauliche Konstruktionen und hybride Lösungen aus Alt- und Neuholz entwickelt und erprobt. Dazu gehören die Konzeption eines Gitterträgers, von Brettschichtholzträgern sowie quervorgespannten Deckenkonstruktionen aus Altholz - jeweils aufbauend auf den Ergebnissen der Forschungsvorhaben<sup>[9]</sup> <sup>[10]</sup>, dass Altholz für den Einsatz als tragende Bauteile geeignet ist.

### 3.2. Beton- und stahlarme Gründung

Bauwerke des Hochbaus benötigen im Allgemeinen eine Gründung, mit deren Hilfe die vertikalen und horizontalen Lasten eines Gebäudes in das Erdreich übertragen und gleichzeitig die unvermeidlichen Setzungen des Gebäudes auf ein sinnvolles Maß begrenzt werden können. Dafür kommen üblicherweise platten- oder streifenförmige Fundamente sowie Punktfundamente bzw. Pfähle zum Einsatz. Diese Bauteile werden gegenwärtig in fast allen Fällen aus Stahlbeton hergestellt.

Der Pavillon soll auch im Bereich der Gründung mit einem möglichst geringen Umweltfußabdruck realisiert und der Bereich der neu versiegelten Fläche minimiert werden.

Dafür entwickelt, erprobt und prüft die projektbegleitende Forschung innovative Ansätze für eine beton- und stahlarme Gründung mit minimaler Flächenversiegelung. So soll das Erdgeschoss aufgeständert in Holzbauweise über dem Erdreich ausgeführt werden. Weiterhin leiten rezyklierte Stahlträger die Lasten aus dem Hochbau in punktuelle, per Rüttelstopfverdichtung aus Rezyklaten hergestellte Schotterssäulen ein.

Erdberührte Bauteile werden aus Recycling-Beton errichtet. Somit wird eine ressourcenarme Gründung entwickelt, die aufgewendete Ressourcen möglichst lange in Nutzungszyklen hält und bei der Baustellen- und Abbruchabfälle signifikant reduziert werden.

Das Rüttelstopfverfahren wird nach dem Stand der Technik zu Zwecken der Bodenverbesserung eingesetzt oder, mit dem Einsatz entsprechender Zugabemittel, zur Herstellung pfahlartiger Tiefgründungen. Bei der Rüttelstopfverdichtung werden mit einem Schleusenrüttelgerät Kies oder Schotter in die Bodensäulen eingebracht. Der austretende Kies oder Schotter werden beim Andrücken verdichtet und seitlich in den Boden verdrängt. Auf diese Weise entstehen Stopfsäulen, die im Verbund mit dem Boden die Lasten abtragen.



Aufbauend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und Erfahrungen aus der Praxis wird im Rahmen dieses Forschungsantrags untersucht, inwiefern das Rüttelstopfverfahren auch unter Zugabe minimaler Mengen von Beton und Stahl als pfahlartige Tiefgründung herangezogen werden und wie die Lasteinleitung am Kopf der Säulen mithilfe von Stahlprofilen erfolgen kann.

- Vergleich von **konventioneller**, **nachwachsender** und **recycelter** Bauweise
- Ganzheitlicher Planungsansatz mit Berücksichtigung aller Lebenszyklusphasen:
  1. Konzeption
  2. Planung
  3. Bau
  4. Nutzung
  5. Rückbau
  6. Wiederverwendung/-verwertung
- Maßgebliches CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial bei Herstellung & Entsorgung

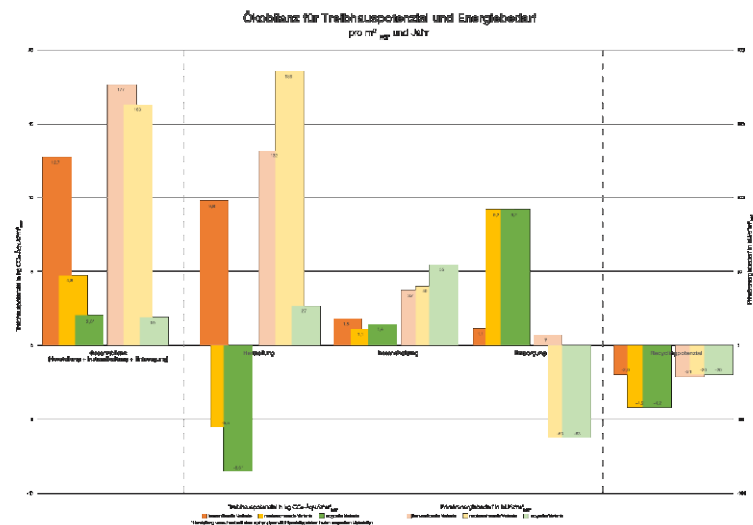


Abbildung 14: Lebenszyklusanalyse, Variantenvergleich, Treibhausgaspotential CO<sub>2</sub>-Äqv./a\*m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>

### 3.3. LowTech Bauen – Holz-Lehm Bauweise aus Rezyklaten

Eine klimaangepasste Bauweise mit robusten und feuchteregulierenden Bausystemen ermöglichen die Reduktion der mechanischer Lüftungstechnik sowie des Wärmebedarfs im Winter und den Verzicht auf Gebäudekühlung im Sommer. Feuchtesteuern RC Lehmbaumstoffe aus der Feinfraktion des Betonrecycling schaffen Speichermasse im Holzbau und ermöglichen in Verbindung mit Naturfaserdämmstoffen und einer diffusionsoffenen Bauweise eine feuchte- und klimasteuernde Gebäudehülle. In Verbindung mit einer natürlichen Lüftung kann auf Lüftungs- und Klimatechnik verzichtet werden. Eine Textilfassade dient der Lichtbrechung und sorgt für eine gute Tageslichtversorgung bei gleichzeitigem Sonnenschutz. Der Heiz-Kühl-Estrich kann das Gebäude in Verbindung mit einer Wärmepumpe und Geothermie das Gebäude im Winter beheizen im Sommer temperieren.



Abbildung 15: Visualisierungen, Ansicht mit Textilfassade und Innenraum mit Gitterträgern

## 4. Literaturnachweis

- [1] Destatis: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/inhalt.html#sprg229086> Stand 03.10.2023
- [2] Umweltbundesamt UBA: Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität <https://www.umweltbundesamt.de/rescue> Stand 03.10.2023
- [3] Deutschlandatlas, Wohnungsleerstand in Deutschland <https://www.deutschlandatlas.bund.de/DE/Karten/Wie-wir-wohnen/046-Wohnungsleerstand.html> Stand 03.10.2023
- [4] BMWK: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Monatsbericht/Monatsbericht-Themen/2018-09-bauen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6#:~:text=Die%20Bauwirtschaft%20ist%20ein%20besonders,Hälfte%20zum%20deutschen%20Abfallaufkommen%20bei.](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Monatsbericht/Monatsbericht-Themen/2018-09-bauen.pdf?__blob=publicationFile&v=6#:~:text=Die%20Bauwirtschaft%20ist%20ein%20besonders,Hälfte%20zum%20deutschen%20Abfallaufkommen%20bei.) Stand 05.10.2023
- [5] DIN CE Roadmap <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/circular-economy/normungroadmap-circular-economy> Stand 05.10.2023
- [6] S Flamme, S Hams, J Bischoff, C Fricke: Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung, 2020, Umweltbundesamt
- [7] S Steger, M Ritthoff, W Bulach, D Schüler et al.: Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität, 2019, Umweltbundesamt
- [8] W Rug, EC 5 und Bauen im Bestand, In: 21. Brandenburgischer Bauingenieurtag BBIT 2014, Bauen im Bestand Schriftenreihe Statik und Dynamik 1/2014, BTU Cottbus 2014
- [9] Klinge, Roswag-Klinge: Holz – ein zirkulärer Baustoff, 25. Internationales Holzbau-Forum IHF 2019
- [10] M Fellner, S Abel: Recyclinggerechter Rückbau und Wiederverwendung von verbautem Altholz für den Neubau eines Mehrfamilienhauses in Holzbauweise in Hamburg, 2022, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)