

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

IBP-Bericht FoMaTech 001/2025/210

PSIPRO - Praxistransfer skalierbarer innovativer Produkt- und Prozesslösungen

**Zukunftsfähiges Bauen in Baden-Württemberg: Innovationen mit Potenzial
und Handlungsempfehlungen**

Der Bericht umfasst

57 Seiten Text

1 Tabelle

1 Bild

Autoren Fraunhofer IBP:

Philip Leistner

Sabine Giglmeier

Anian Trettenhann

Autoren Hochschule Biberach, Biberach University of
Applied Sciences:

Levi Bäcker

Prof. Dr.-Ing. Christof Gipperich

Finanziert aus Landesmitteln, die der Landtag Baden-
Württemberg beschlossen hat. Gefördert im Rahmen
des Strategiedialogs „Bezahlbares Wohnen und inno-
vatives Bauen“.

Valley, 27. Mai 2025

Projektleiterin

MBA & Eng.
Sabine Giglmeier

Inhalt

1	Innovationen in der Baubranche	3
2	Praxistransfer skalierbarer innovativer Produkt- und Prozesslösungen	4
2.1	Herangehensweise und Methodik	4
2.2	Innovationen mit Skalierungspotenzial	6
2.2.1	Baustoffe (Fokus Beton und Stahl)	6
2.2.2	Modulares Bauen mit Raummodulen	11
2.2.3	Automatisierte Baustelle und Robotik	14
2.2.4	Seriell Sanieren	18
2.3	Innovationsradar	21
3	Kostendruck und Innovationsbedarf: Der deutsche Wohnungsbau im Fokus	23
4	Handlungsempfehlungen	24
4.1	Allgemeine Handlungsempfehlungen	24
4.2	Einbindung in den Strategiedialog Bau	29
A.1	Steckbriefe zum Fokusthema Baustoffe (Beton und Stahl)	33
A.2	Steckbriefe zum Fokusthema Modulares Bauen	45
A.3	Steckbriefe zum Fokusthema Automatisierte Baustelle und Robotik	48
A.4	Steckbriefe zum Fokusthema Serielle Sanierung	53

1 Innovationen in der Baubranche

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der deutschen Bauwirtschaft ist erheblich, sie trägt mit etwa 6 Prozent zur Bruttowertschöpfung bei und generiert jährlich rund 220 Milliarden Euro [Statistisches Bundesamt 2025]. Im Vergleich dazu wird in der Branche wenig in Entwicklung und Innovation investiert und die öffentlich finanzierte Bauforschung fällt vergleichsweise gering aus: So betragen z.B. die Bundesinvestitionen über die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Jahr 2023 lediglich 82 Millionen Euro [Deutsche Forschungsgemeinschaft 2024]. In der gleichen Zeit flossen etwa 280 Millionen Euro in den Bereich „Informatik, System- und Elektrotechnik“.

Die wirtschaftliche Relevanz des Bausektors zeigt sich auch in seiner Kostenentwicklung: In den vergangenen zehn Jahren stiegen die Baupreise für Wohngebäude um 65 Prozent. Gleichzeitig nimmt Deutschland mit 37 Prozent eine Spitzenposition bei den Baunebenkosten im europäischen Vergleich ein [CBRE 2023]. Allein diese Rahmenbedingungen verdeutlichen Handlungsbedarf in Bezug auf effizientere Bauweisen und optimierte Prozesse.

Ein weiteres Hemmnis für Innovationen in der Branche ist die hohe regulatorische Dichte. Rund 3900 Baunormen, unterschiedliche Landesbauordnungen und teils spezifische kommunale Bestimmungen führen zu erheblichen bürokratischen Hürden und verlängerten Genehmigungsprozessen [DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2025]. Dieses Korsett verengt den Spielraum für die Einführung neuer Bauweisen und Materialien.

Auch die hohen Erwartungen an die Digitalisierung bleiben bislang unerfüllt. Der Digitalisierungsindex der Bauwirtschaft liegt 38 Punkte unter dem Bundesdurchschnitt – dieser lag im Jahr 2023 bei 105,1 Punkten. Dies äußert sich in einem geringen Einsatz digitaler Planungsmethoden wie Building Information Modeling (BIM), in ineffizienten Verwaltungsprozessen sowie in einer niedrigen Automatisierung auf Baustellen. Hier besteht erhebliches Potenzial zur Effizienzsteigerung und Fehlerreduktion [Büchel et al. 2024].

Gleichzeitig verstärkt der Fachkräftemangel die bestehenden Herausforderungen. 65 Prozent der Betriebe sehen ihn als zentrales Risiko für ihre wirtschaftliche Entwicklung. Der Mangel an qualifizierten Fachkräften behindert nicht nur das Tagesgeschäft, sondern auch die Einführung neuer Technologien, die spezialisiertes Know-how erfordern [Andrae et al. 2024].

Trotzdem gibt es vielversprechende Innovationsimpulse und -potenziale. Neue Bauweisen und Materialien könnten maßgeblich zur Reduktion von Bauzeiten, Kosten und Emissionen beitragen. So verursacht z.B. die Betonherstellung jährlich 2,8 Milliarden Tonnen CO₂-Emissionen – etwa 8 Prozent des globalen CO₂-Ausstoßes [Witsch 2020]. Mittels innovativer Carbon-Capture-and-Utilization-(CCU)-Technologien könnte eine massive Entlastung der Atmosphäre erreicht werden. Auch der Modulbau bietet vielversprechende Ansätze: Hochdigitalisierte und standardisierte Produktionsmethoden erlauben es, Gebäude in kürzester Zeit zu errichten. Ein Beispiel aus dem Schiffsbau verdeutlicht das Potenzial: Innerhalb von neun Monaten entstehen dort komplexe Strukturen mit

tausenden Wohneinheiten, Einkaufs-, Kultur- und Sportarealen. Überträgt man diese Prinzipien auf den Hochbau, lassen sich erhebliche Effizienzgewinne erzielen. Vielversprechende Technologien sind vorhanden, doch ihr Markteintritt gestaltet sich oft langwierig und herausfordernd. Es bleibt die Frage, welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, um diese Entwicklungen schneller und breiter in den Markt zu bringen bzw. dort zu etablieren.

2 Praxistransfer skalierbarer innovativer Produkt- und Prozesslösungen

Im Rahmen des vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus in Baden-Württemberg geförderten Projekts „Praxistransfer skalierbarer innovativer Produkt- und Prozesslösungen PSIPRO“ soll ein Beitrag zur Schließung der „Performance Gap“ beim Innovationstransfer geleistet werden. In enger Anbindung an die Aktivitäten des Strategiedialogs „Bezahlbares Wohnen und innovatives Bauen“ (kurz: Strategiedialog Bau) wurden Bau-Innovationen mit hohem Potenzial identifiziert. Im Dialog mit Vertreter*innen aus der Praxis wurden Umsetzungshindernisse analysiert und Handlungsempfehlungen zur Förderung des Transfers dieser Innovationen in die Praxis erarbeitet.

*Hinweis: Die hier vorgestellten Ideen und Empfehlungen basieren auf qualitativen Gesprächen mit Branchenvertreter*innen. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder statistische Repräsentativität, sondern sollen als Impulse für weitere Diskussionen und Maßnahmen dienen.*

2.1 Herangehensweise und Methodik

Die methodische Basis des Projekts bildete ein dialogorientierter Ansatz, ausgehend von den Ergebnissen der Arbeitsgruppe 3.3 (Hochskalieren innovativer Produkte, Prozesse und Technologien: Vom Piloten in die Fläche) des Strategiedialogs Bau. In mehreren strukturierten Arbeitssitzungen wurden hier die Herausforderungen bei der Umsetzung innovativer Lösungen im Bauwesen von den Expert*innen für die ausgewählten Handlungsfelder behandelt, deren Bedarf und Potenzial einer Skalierung gleichermaßen als besonders relevant einzustufen ist. Im Projekt PSIPRO fiel die Wahl der betrachteten Handlungsfeldern auf „**Baustoffe (Fokus Beton und Stahl)**“, „**Modulares Bauen mit Raummodulen**“, „**Automatisierte Baustelle und Robotik**“ und „**Serielle Sanierung**“. Weitere, zweifellos ebenfalls relevante Handlungsfelder, wie „Rechtliche Rahmenbedingungen“, „Digitalisierung“ und „Smarte Nutzungskonzepte“ wurden identifiziert, aber im Sinne der Machbarkeit und Fokussierung zunächst ausgeklammert. Außerdem darf die Auswahl der Baustoffe (Beton und Stahl) im Projekt keinesfalls als Vorbewertung oder gar Einschränkung bezüglich anderer Materialien und Werkstoffe verstanden werden. Weitere Handlungsfelder sollten künftig in jedem Fall berücksichtigt werden, da sie – wie auch die Material- und Technologieoffenheit – beim Praxistransfer innovativer Produkt- und Prozesslösungen eine erhebliche Rolle spielen.

Ausgehend von den vorausgewählten Handlungsfeldern erfolgte eine **themenbezogene Sammlung und Bewertung** innovativer Lösungsansätze und wurden anhand von Schlüsselindikatoren, wie Skalierbarkeit, CO₂-Einsparung, Ressourceneffizienz und Kosteneinfluss (Bezahlbarkeit) bewertet. Diese auf die Ziele des Strategiedialogs und des Projektes ausgerichteten Indikatoren bildeten eine Art **Ordnungsrahmen**, der den Einfluss baulicher Wertschöpfungs- bzw. Lebenszyklusphasen aus ökonomischer (Personal, Kosten) und ökologischer (CO₂- und Ressourcenbilanz) Sicht differenziert. Diese „Sieblinie“ wurde im Projekt zur Priorisierung der Innovationen hinsichtlich Zielsetzung, Hebelwirkung und zeitlicher Perspektiven herangezogen. Zur **vertiefenden Validierung** dienten Expertengespräche, in denen Hemmnisse identifiziert, Zukunftsszenarien entwickelt und schließlich konkrete Empfehlungen abgeleitet wurden.

Die Projektbearbeitung stützte sich auf ein eigens entwickeltes agiles Prozessmodell ("Trichtermodell") zur Innovationsbewertung, in dem Design Thinking mit Change-Management-Elementen kombiniert sind. Dieses Modell wurde in einer Reihe von Workshops praktisch umgesetzt. Teilnehmende waren Expert*innen aus Arbeitsgruppen des Strategiedialogs Bau, z.B. aus Unternehmen der Bauwirtschaft und Organisationen innerhalb der Bauwirtschaft sowie Vertreter*innen der PSIPRO-Projektpartner*innen, Fraunhofer IBP und Hochschule Biberach.

Insgesamt ermöglichte die Methodik, einschließlich der Offenheit gegenüber durchaus unterschiedlichen Positionen der einbezogenen Stakeholder, eine strukturierte, datenbasierte Herleitung von Handlungsempfehlungen, die sowohl praktisch als auch strategisch relevant sind.

Der konkrete Verlauf umfasste mehrere Stufen:

- **Kick-Off:** Gemeinsame Definition von Aufgaben- und Zielstellung sowie Strukturfestlegung der Integration in die AG 3.3 des Strategiedialogs Bau.
- **Workshopreihe 1 – Innovationssammlung:** Erhebung innovativer Lösungen entlang definierter „Suchpfade“. Hierbei wurden mithilfe von Personas, Empathie-Interviews und Szenarien reale Herausforderungen visualisiert und diskutiert.
- **Vertiefte Recherche:** Breite wissenschaftliche Recherche zu den definierten Suchpfaden, u.a. zur Vorbereitung von Branchenbefragungen.
- **Branchenfeedback:** Erhebung praktischer Erfahrungen und Validierung mittels Expertenumfragen über den Beteiligtenkreis des Strategiedialogs hinaus, z.B. Interviews im Kontext der Messe Bau 2025, Feedback aus transferbegleitenden Programmen (z.B. IHK), zu aktiven Innovationsbeziehungen (z.B. Beteiligte am SEIFRIZ-Preisverfahren) und dergleichen mehr.
- **Nutzwertanalyse:** Fachliche Auswertung der Ergebnisse der Befragungen und Durchführung einer Sensitivitätsanalyse zur Bewertung der Praktikabilität der Lösungen.
- **Workshopreihe 2 – Handlungsableitungen:** Entwicklung konkreter Empfehlungen auf Basis der Nutzwertanalyse und Szenarien-Entwicklung.

- **Innovationsradar und Steckbriefe:** Strukturierte Darstellung, Priorisierung und Dokumentation der skalierungsfähigen Lösungen. Das entwickelte Innovationsradar visualisiert analysierte Ansätze nach Innovationscharakter und Wirkungspotenzial und kann damit als Grundlage für strategische Handlungsempfehlungen dienen.

Kapitel 6 (Anhang) enthält die Steckbriefe zu den Innovationen, die in Bezug auf die betrachteten Schlüsselindikatoren das höchste Potenzial aufweisen. Diese Steckbriefe beinhalten Hintergrundinformationen, Chancen und Risiken sowie konkrete Best Practice-Beispiele.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass das im Projekt PSIPRO entwickelte mehrstufige Prozessmodell nicht nur eine strukturierte Herangehensweise zur Bewertung und Skalierung von Innovationen bietet, sondern auch als Hilfsmittel z.B. bei der Antragstellung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten genutzt werden kann. Durch die klare Definition von Schlüsselindikatoren wie Marktfähigkeit, Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Klimaschutzwirkung ermöglicht das Modell eine transparente und nachvollziehbare Darstellung des erwarteten Impacts eines Forschungsvorhabens. Antragsteller*innen können mithilfe dieses Modells gezielt die potenziellen Auswirkungen ihrer Projekte analysieren und darstellen, wodurch die Erfolgswahrscheinlichkeit ihrer Vorhaben im Hinblick auf bestimmte Förderkriterien erhöht wird. Die strukturierte Vorgehensweise des Prozessmodells unterstützt sie dabei, ihre Innovationsansätze methodisch zu validieren und überzeugend zu präsentieren.

2.2 Innovationen mit Skalierungspotenzial

In diesem Kapitel werden die einzelnen Handlungsfelder näher beleuchtet, die identifizierten Innovationen präsentiert und spezifische Handlungsempfehlungen zur Skalierung dieser Innovationen ausgearbeitet. Die entwickelten Handlungsempfehlungen richten sich gleichermaßen an öffentliche Institutionen – wie Behörden, Hochschulen und weitere Akteur*innen der öffentlichen Hand – sowie an Unternehmen und Verbände. Nur durch ein gemeinsames, idealerweise abgestimmtes Vorgehen aller Beteiligten kann das volle Wirkungspotenzial entfaltet und eine erfolgreiche Skalierung der erarbeiteten Ansätze sichergestellt werden. Anschließend folgt eine Visualisierung der Ergebnisse in Form eines Innovationsradars.

2.2.1 Baustoffe (Fokus Beton und Stahl)

Der Themenfokus umfasst Materialien und Technologien, die bestehende Bauweisen durch neuartige Eigenschaften, Herstellungsverfahren oder Anwendungsmethoden revolutionieren. Hier stehen Innovationen in den Schlüsselbereichen *Beton* und *Stahl* im Fokus, die einen zentralen Beitrag zur Nachhaltigkeit der Bauindustrie leisten. Bei Beton geht es beispielsweise um CO₂-reduzierende Rezepturen, die freigesetztes Kohlendioxid durch Recarbonatisierung binden und so den Zementanteil reduzieren. Im Bereich Stahl stehen Produktionsverfahren mit grünem Wasserstoff im Vordergrund, um die energieintensive Stahlherstellung umweltfreundlicher zu gestalten, indem fossile Energieträger

ersetzt werden. Ziel ist es, sowohl die Umweltbelastung zu reduzieren als auch die Kreislaufwirtschaft zu fördern sowie die Dauerhaftigkeit, Energieeffizienz und Funktionalität von Gebäuden und Infrastrukturen zu steigern.

Die Relevanz der Baustoffe wird vor dem Hintergrund globaler Herausforderungen immer deutlicher. Laut dem Global Status Report for Buildings and Construction ist die Bauindustrie für ca. 37 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen verantwortlich [UNEP 2022]. Gleichzeitig prognostiziert die Ellen MacArthur Foundation, dass eine Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft innerhalb der EU ein zusätzliches potenzielles Marktvolumen von 575 Milliarden EUR pro Jahr mit sich bringen würde [Ellen MacArthur Foundation 2024]. Weitere Marktanalysen unterstreichen das Wachstumspotenzial für nachhaltige Baustoffe: Der globale Markt wurde 2024 auf 26,6 Milliarden USD geschätzt und wird voraussichtlich von 2025 bis 2030 mit einer jährlichen Rate von 10,4 Prozent wachsen – dem europäischen Markt wird hierbei die höchste Wachstumsrate im Vergleich zu anderen Weltregionen zugeschrieben [Grand View Research 2025].

Gleichzeitig stehen Unternehmen und Forschungseinrichtungen vor Herausforderungen: Hohe Produktionskosten neuer Materialien, unklare regulatorische Rahmenbedingungen sowie die langsame Anpassung von Bauvorschriften hemmen die breite Einführung. Zudem erfordert die Verarbeitung innovativer Werkstoffe oft spezialisierte Fachkenntnisse, die in der Branche noch nicht flächendeckend vorhanden sind.

Fachleute aus der Baubranche heben hervor, dass ein innovations- bzw. transferförderliches Umfeld entscheidend für eine stärkere Marktpräsenz und die erfolgreiche Einführung neuer Technologien ist. So sollten Pilotprojekte gezielt gefördert werden, um Praxistauglichkeit und Wirtschaftlichkeit neuer Materialien zu demonstrieren. Zudem könnten vereinfachte Zulassungs- und Genehmigungsverfahren (z. B. Gebäudetyp E) die Implementierung beschleunigen.

Gebäudetyp E als Treiber für Innovation und kostengünstiges Bauen?

Das geltende Bauvertragsrecht erschwert einfaches Bauen erheblich. Nach diesem Recht gilt: Wer ein Bauwerk errichtet, muss grundsätzlich die „anerkannten Regeln der Technik“ (aRdT) einhalten. Eine gesetzliche Definition, welche Regeln zu diesen „anerkannten Regeln der Technik“ gehören, fehlt; entscheidend ist das Verständnis der Rechtsprechung.

Innovative Baustoffe und Bauweisen stehen mitunter zunächst im Widerspruch zu den aRdT, da sie sich in der Praxis zunächst bewähren müssen, um anerkannt zu werden. Gleichzeitig sind viele technische Normen, die als „anerkannte Regeln der Technik“ gelten, lediglich Komfort-Standards. Einige dieser Normen sind für gutes Wohnen nicht zwingend erforderlich, werden jedoch als verbindlich angesehen, selbst wenn sie vertraglich nicht ausdrücklich vereinbart sind. Abweichungen davon sind zwar möglich, bringen jedoch Rechtsunsicherheiten und Prozessrisiken mit sich. Daher werden Bauvorhaben in der Regel so durchgeführt, dass sie allen DIN-Normen entsprechen.

Das Gebäudetyp-E-Gesetz soll einfaches und innovatives Bauen erleichtern, indem das Bauvertragsrecht im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) geändert wird. Es soll einfacher werden, rechtssicher auf bestimmte Baustandards zu verzichten, die für die Gebäudesicherheit nicht notwendig sind.

Staatliche Garantien oder Bürgschaften könnten das finanzielle Risiko für Bauunternehmen verringern, wenn sie innovative Lösungen verwenden. Solche Maßnahmen schaffen Vertrauen und helfen, die Kosten neuer Materialien zu senken, indem sie in größeren Mengen produziert werden. Im Positionspapier der DWV-Fachkommission HySteel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl [HySteel und Wirtschaftsvereinigung Stahl 2025] wird vorgeschlagen, dass langfristige Wasserstofflieferungen durch staatliche Bürgschaften abgesichert werden könnten, damit die wasserstoffbasierte Stahlherstellung erfolgreich starten kann. Beispielsweise könnte die Erweiterung bestehender Marktinstrumente, wie der Hintco, die als Vermittler mit staatlicher Garantie arbeitet, dafür sorgen, dass langfristige Verträge mit Lieferanten erleichtert werden. Alternativ ließe sich ein Avalkredit-Modell mit staatlichen Bürgschaften implementieren, bei dem eine 80-prozentige Bürgschaft Banken eine Risikoabsicherung bietet. Dies würde den Aufbau der notwendigen Infrastruktur für neue Technologien wie die Wasserstoffwirtschaft unterstützen und fördern. Ein finanzieller Ausgleich könnte dann helfen, wenn Infrastrukturprojekte nicht rechtzeitig fertig werden. All diese Maßnahmen würden nicht nur das Vertrauen stärken, sondern auch die Kosten für neue Materialien reduzieren.

Im Zuge des Forschungsprojekts PSIPRO konnten mit Fachleuten insbesondere technologische Innovationen als Skalierungshebel im Themenfeld Baustoffe (Fokus Beton und Stahl) identifiziert werden. Steckbriefe zu den identifizierten Innovationen finden sich im Anhang, Kapitel 6.1. Hervorzuheben ist die Verwendung von **RC-Beton**, der durch recycelte Materialien eine nachhaltige Bauweise ermöglicht. Die **Recarbonatisierungs-Technologie** für RC-Beton bietet eine innovative Methode zur Verbesserung der CO₂-Bilanz durch natürliche Prozesse. Eine weitere technologische Innovation betrifft die **Misch- und**

Produktionsoptimierung von Beton, wodurch Effizienz und Qualität der Baustoffe gesteigert werden.

Zementfreie Betone, wie Geopolymere und calcinierte Tone, stellen einen bedeutenden Fortschritt dar, da sie ohne herkömmlichen Zement auskommen und somit die Umweltbelastung reduzieren. Die Integration von **Biokohlenstoffen** in Beton zeigt ebenfalls großes Potenzial zur Verbesserung der Nachhaltigkeit. Zudem bietet die **nichtmetallische Bewehrung**, insbesondere Carbonbeton, eine innovative Alternative zur traditionellen Stahlbewehrung, die sowohl Gewicht als auch Korrosionsrisiken minimiert.

Der **3D-Druck von Betonbauteilen**, kombiniert mit **Gradientenbeton**, eröffnet neue Möglichkeiten für die Gestaltung und Effizienz von Bauprojekten. Die **Betonteilaktivierung** stellt eine weitere Möglichkeit dar, mit der die Nutzung und Funktionalität von Beton optimiert werden kann.

Im Bereich der Stahlproduktion verändern die **Hochofenroute mit Wasserstoff** und die **Direktreduktion (DRI) mit Elektrolichtbogenofen (EAF)** die Herstellung von Baustoffen durch deutliche Reduktion der CO₂-Emissionen. Ergänzt wird dies durch die Etablierung eines Klassifizierungssystems für Stahl (**Low Emission Steel Standard LESS**), das strukturelle Innovationen sowie die Transparenz und Nachhaltigkeit der Stahlproduktion fördert.

Beispielhafte Handlungsempfehlungen aus dem Expert*innendialog

Beton

Kurzfristige Maßnahmen

- **Regelmäßige Symposien:** Informationsaustausch, bei dem Fachleute aus Forschung, Industrie und Politik zusammenkommen, um Wissen über innovative Materialien wie Geopolymere, calcinierte Tone u.a. auszutauschen und mögliche konkrete Hindernisse zu thematisieren.
- **Fortsetzung bestehender Förderprogramme:** Weiterführung von Programmen, die dezidiert CO₂-Reduktion bei mineralischen Baustoffen unterstützen, um die Integration dieser Technologien in den Markt zu erleichtern.
- **Gestaffeltes Förderprogramm:** Einführung oder Modifizierung eines Programms, das Bauprojekte mit Förderungen in Abhängigkeit von Materialeinsatz und Emissionsminderung honoriert. Je mehr Material oder Emissionen im Vergleich zu einem Standardgebäude eingespart werden, desto höher die Unterstützung (z. B. 30 Prozent Einsparung = 30 Prozent Förderung).
- **Studie zu natürlichen Recarbonatisierungsprozessen:** Untersuchung der natürlichen Recarbonatisierung von Materialien wie Kalksandstein und Beton, um ihre Potenziale besser zu verstehen und wissenschaftlich zu untermauern.
- **Entsorgung und Recycling von Carbonbeton:** Erforschung der Möglichkeiten zur Entsorgung und Wiederverwertung von Carbonbeton, um Unsicherheiten bei Bauherren und Planern zu reduzieren. Gleichzeitig sollte Aufklärungsarbeit geleistet werden, um Missverständnisse und Vorurteile abzubauen.

- **Praxisbeispiele verbreiten:** Veröffentlichung von erfolgreichen Projekten wie dem Bauhof Bludenz, bei dem Gradientenbeton mit 3D-Druck kombiniert wurde, um das Potenzial solcher Ansätze zu zeigen und Vorbehalte bei der Umsetzung zu verringern.

Mittelfristige Maßnahmen

- **Aufbau regionaler Netzwerke:** Zusammenarbeit zwischen Industrie, Forschung und Politik zur effizienten Organisation von CO₂-Stoffströmen und Minimierung logistischer Herausforderungen.
- **Unterstützung von Pilotprojekten:** Einsatz von Brechsand aus Abbruchmaterialien zur Erprobung und Dokumentation von Anwendungspotenzialen und Umweltvorteilen.
- **Qualitätskontrolle und Normung:** Einführung technischer Standards und Zertifizierungen zur Sicherstellung homogener Materialqualität bei Rezyklaten.
- **Untersuchung KI-optimierter Betonmischungen:** Langfristige Analyse der Beständigkeit, Leistung und Nachhaltigkeit von Baustellen mit KI-optimierten Betonmischungen.
- **Leitfaden Bauteilaktivierung:** Nach dem Vorbild des „Planungsleitfaden Thermische Bauteilaktivierung“ - beauftragt durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie in Österreich [Friembichler et al. 2016] - könnte ein Leitfaden mit Planungshinweisen, technischen Vorgaben und Fallstudien zur Förderung der Betonteilaktivierung auch in Deutschland entwickelt werden.
- **Studien zu calciniertem Ton:** Fortsetzung und Veröffentlichung von Untersuchungen zur Verfügbarkeit von Tonen, um eine fundierte Basis für den Einsatz neuer Baustoffe zu schaffen.

Stahl

Kurzfristige Maßnahmen

- **Aufklärung und Kennzeichnung von Stahlarten:** Essenziell ist die Vermittlung der Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten von Qualitäts- und Bewehrungsstahl. Ein weiterer Schritt besteht in der Anwendung des 2024 eingeführten Kennzeichnungssystem LESS zur Ausweisung von CO₂-Werten und Recyclingquoten in der Stahlproduktion.
- **Ressourceneffizienz und Energieeinsparung:** Der gezielte Ersatz von grüner Primärenergie sowie die Beschaffung von CO₂-reduzierten Gasen (z.B. grüner Wasserstoff als Ersatz für Koks oder Erdgas) und die Entwicklung von Energierückgewinnungskonzepten sind entscheidend. Maßnahmen zur Effizienzsteigerung von Elektrolichtbogenöfen (EAF) mit erneuerbaren Energien sollten verstärkt umgesetzt werden. Optimierung der Energieeffizienz mit dem Ziel, den LESS-Standard (150 kg CO₂e/t Stahl) zu erreichen.
- **Zusammenarbeit und Marktbildung:** Die Kooperation zwischen Stahlindustrie und Produktherstellern zur Erzeugung von Nachfrage nach klimafreundlichem Stahl ist wesentlich. Langfristige Beziehungen zwischen Produzenten und Verarbeitern sind unerlässlich für einen stabilen Markt.

Mittelfristige Maßnahmen

- **Grenzausgleichsabgaben:** Einführung von Abgaben, um faire Wettbewerbsbedingungen für inländische Stahlhersteller gegenüber Importstahl aus Ländern mit niedrigeren Umweltstandards zu gewährleisten.
- **Anreizsysteme und CO₂-Bepreisung:** Nutzung von Schattenpreisverordnungen oder dergleichen zur Festlegung von CO₂-Kosten, um die wirtschaftliche Attraktivität umweltfreundlicher Produktion zu verdeutlichen.
- **Differenzverträge (CfD):** Einsatz von Differenzverträgen als finanzielles Instrument zur Abfederung der höheren Kosten von grünem Stahl. Diese Verträge bieten Herstellern eine garantierte Preisunterstützung, um die Preisunterschiede zwischen herkömmlichem und umweltfreundlichem Stahl auszugleichen. Dies fördert den Übergang zu nachhaltiger Produktion und erhöht die Wettbewerbsfähigkeit von grünem Stahl.
- **Umrüstung und Neubau von Anlagen:** Fokus auf Wasserstoff als Energieträger in der Hochofenroute und Sicherstellung, dass Wasserstoff aus erneuerbarer Energie stammt, um die Dekarbonisierung der Stahlproduktion voranzutreiben. Förderung des Einsatzes von Stahl in der neuen Primärroute wie der Direktreduktion mit EAF.
- **Kreislaufwirtschaft und CSC:** Verbindung der Kreislaufwirtschaft mit dem Concrete Sustainability Council (CSC) als integrative Strategie zwischen Beton und Bewehrungsstahl: Die Verknüpfung dieser beiden Ansätze zielt darauf ab, sowohl Stahl als auch Beton nachhaltiger zu produzieren und zu verwenden, indem recycelter Bewehrungsstahl in Betonbauteilen eingesetzt wird.

2.2.2 Modulares Bauen mit Raummodulen

Modulares Bauen mit Raummodulen beschreibt eine Bauweise, bei der vollständige, dreidimensionale Raummodule unter kontrollierten Fertigungsbedingungen vorgefertigt und vor Ort montiert werden. Im Gegensatz zu seriellen Bauweisen, die standardisierte Einzelkomponenten nutzen, ermöglichen 3D-Raummodule eine Vorfertigung ganzer Wohn- oder Gewerbeeinheiten inklusive Installationen und Oberflächen. Diese Methode kombiniert die Effizienz industrieller Produktion mit der Flexibilität individueller Gestaltung und zielt darauf ab, Bauzeiten zu verkürzen, Ressourcenverbrauch zu reduzieren und skalierbare Lösungen auch für den Wohnungsbau zu bieten.

Ein Schlüsselbeispiel für das Potenzial modularer Bauweisen findet sich im Schiffsbau: Kreuzfahrtschiffe entstehen heute als „schwimmende Kleinstädte“ mit bis zu 4.000 Kabinen sowie integrierten Freizeit-, Einkaufs- und Infrastrukturbereichen - geplant, gefertigt und montiert in nur neun Monaten [Meyer Turku OY 2023]. Diese hochdigitalisierten Prozesse, die auf präziser CAD/CAM-Steuerung und robotergestützter Montage basieren, ließen sich zumindest weitgehend auf den Baubereich übertragen.

Die Dringlichkeit modularen Bauens wird durch aktuelle Zielvorgaben und Defizite deutlich: Das „Bündnis für bezahlbaren Wohnraum“ der Bundesregierung strebt 400.000 neue Wohnungen pro Jahr an, doch in den Jahren 2021, 2022 und 2023 wurden insgesamt nur rund 300.000 Einheiten fertiggestellt [Balling

et al. 2024]. Modulbau könnte diese Lücke schließen. Laut einer Studie von McKinsey & Company aus dem Jahr 2019 („Modular construction: From projects to products“) könnte der Modulbau durch parallelisierte Vorfertigung und Montage Bauzeiten um bis zu 50 Prozent reduzieren. Gleichzeitig steigt die Kostensicherheit durch standardisierte Prozesse – Kosteneinsparungen von über 20 Prozent gelten als realistisch [Bertram et al. 2019].

Trotz der zahlreichen Vorteile stehen der breiten Etablierung modularer Bauweisen einige Herausforderungen im Weg. Erstens erschweren uneinheitliche Bauvorschriften die Zulassung modularer Systeme, da länderübergreifend divergierende Regulierungen bestehen. Zweitens erfordern hohe Anfangsinvestitionen den Übergang zur modularen Produktion, da Kapital für den Bau von Fabriken und die Schulung von Fachkräften benötigt wird. Drittens wird die Akzeptanz durch Vorurteile, wie „eintönige Architektur“ oder eine vermeintlich geringere Wertbeständigkeit, beeinflusst.

Expert*innen und Branchenverbände, wie der Bundesverband Modulare Bauweisen (BMB), fordern auch hierzu ein innovationsfreundliches Umfeld. Sie betonen, dass regulatorische Anpassungen und finanzielle Anreize entscheidend sind, um diese Herausforderungen zu überwinden. Einheitliche „Modulbauklassen“ ermöglichen standardisierte Zulassungsverfahren und vereinfachen die Genehmigungsprozesse. Zudem beschleunigen Förderprogramme durch öffentliche Investitionen in Pilotfabriken und Schulungszentren die Skalierung. Schließlich könnte gezielte Öffentlichkeitsarbeit, wie zum Beispiel zur modularen „Schnellbau-Schule“ in Berlin, die in nur sechs Monaten fertiggestellt wurde, Bedenken über die Ästhetik ausräumen oder zumindest den konstruktiven Diskurs fördern.

Regulatorische Herausforderungen für Innovationen in der Energiewende

Die Rückmeldungen von Projektnehmenden im Bereich Energieversorgung und Gebäude- sowie Quartierskonzepte haben drei wesentliche regulatorische Herausforderungen identifiziert:

Komplexität und Unübersichtlichkeit: Die bestehende Regulatorik ist oft schwer verständlich und behindert so die Entwicklung und Erprobung technisch sinnvoller und kostengünstiger Lösungen.

Dynamische Rechtslage und Genehmigungsverfahren: Häufige Änderungen in der Rechtslage und zeitaufwendige, veraltete Genehmigungsverfahren erschweren den Einsatz innovativer Technologien.

Einschränkungen durch Datenschutz: Die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) bringt zusätzliche Hürden mit sich, die den Fortschritt der Energiewende hemmen.

Modulares Bauen mit Raummodulen bedeutet kein Nischenkonzept, es kann vielmehr ein Schlüsselbaustein für die klimagerechte, digitale Bauzukunft sein. Durch die Integration nachhaltiger Materialien, wie recycelter Stahl oder CO₂-armer Beton, lässt sich der ökologische Fußabdruck weiter senken. Gleichzeitig ermöglicht die Digitalisierung (z. B. BIM-gestützte Planung) die massenhafte Individualisierung von Wohnmodulen – von der Luxusvilla bis zur Sozialwohnung. Angesichts des prognostizierten globalen Wohnraumbedarfs von 3 Milliarden Einheiten bis 2030 [UN-Habitat 2022] bezeichnen Fachleute die Modulbauweise sogar als systemische Notwendigkeit.

Im Forschungsprojekt wurden im Themenfeld Modulares Bauen mit Raummodulen vor allem strukturelle Innovationen als wesentliche Faktoren zur Skalierung identifiziert (siehe Anhang, Kapitel 6.2). Ein zentraler Ansatz ist die Integration von **Plug and Play-Funktionsmodulen in ein herstellerunabhängige Standardraster** (z.B. das „BaWü-Raster“). Diese Kombination vereinfacht den Austausch und die Integration von Modulen im Bauprozess erheblich und bietet eine skalierbare und einheitliche Grundlage.

Zusätzlich wurde die Entwicklung einer **Modulbibliothek oder Plattform zur Weiter- und Wiederverwendung** von Bauteilen und Modulen thematisiert. Diese Plattform unterstützt die Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, indem sie Bauteile und Module über ihre ursprüngliche Nutzung hinaus wiederverwendbar macht. Dies trägt sowohl zur Steigerung der Nachhaltigkeit als auch zur Kostenersparnis im Bauprozess bei. Diese strukturellen Innovationen fördern eine nachhaltige und effiziente Bauweise.

Beispielhafte Handlungsempfehlung au dem Expert*innendialog

Kurzfristige Maßnahmen

- **Durchführung eines Modulbau-Symposiums:** Modulhersteller und Planende intensivieren den Austausch, teilen Erfahrungswerte und Bedenken gleichermaßen. Dies fördert die Verbreitung des Plug and Play-Ansatzes unter den relevanten Stakeholdern.
- **Glossar Modulbau:** Ein im Rahmen des Strategiedialogs verfasstes einheitliches Glossar zum Thema Modulbau könnte arbeitsgruppenübergreifend genutzt werden, für Klarheit und Einheitlichkeit in der Terminologie zu sorgen und Missverständnisse zu vermeiden.
- **Modulbau-Plattformen:** Vorhandene Marktplätze für den Kauf und Weiterverkauf von Bauelementen sollten geprüft und um Moduleinheiten für den Modulbau erweitert werden, um den Ansatz einer Kreislaufwirtschaft zu unterstützen.

Mittelfristige Maßnahmen

- **BaWü-Raster:** Einführung bzw. Anpassung eines standardisierten Rasters in Baden-Württemberg, um eine skalierbare Grundlage für den Modulbau zu schaffen und die Vereinheitlichung sowie Wiederverwendung von Modulen zu erleichtern.
- **Integration des Modulbaus an Hochschulen:** Förderung des Modulbau-Themas durch Studierendenwettbewerbe, um das Bewusstsein zu schärfen und innovative Ansätze zu entwickeln.
- **Sensibilisierung öffentlicher Bauherren:** Aktive Aufklärung über die Merkmale und Potenziale des Modulbaus, um eine breite Akzeptanz bei öffentlichen Bauherren zu schaffen.
- **Rücknahmesysteme und Geschäftsmodelle:** Anregung der Modulhersteller zur Entwicklung innovativer Rücknahmesysteme für gebrauchte Module und nachhaltiger Geschäftsmodelle, um Module wieder in den Markt zu integrieren.

Langfristige Maßnahmen

- **Implementierung eines Systems oder einer Verordnung:** Es sollte eine Verordnung oder ein verbindliches System zur Kreislaufführung entwickelt werden, das den Rückbau, Wiederverkauf und die Weiterverwendung von Modulen regelt, um dieses Modell langfristig zu etablieren bzw. zu skalieren.

2.2.3 Automatisierte Baustelle und Robotik

Robotik und Automatisierung im Bauwesen beschreibt den Einsatz von Maschinen und Systemen, die spezifische Bauaufgaben autonom oder halbautonom ausführen. Diese Technologien lassen sich in zwei Hauptkategorien unterteilen: stationäre Robotersysteme, die in Fertigungsanlagen zum Einsatz kommen, und mobile robotische Einheiten, die direkt auf Baustellen operieren. Ziel der Automatisierung ist es, sich wiederholende, gefährliche oder präzisionsintensive Tätigkeiten zu mechanisieren, um Arbeitskräfte zu entlasten und gleichzeitig die Qualität, Effizienz und Sicherheit der Bauprozesse zu steigern.

Die Anwendungsbereiche dieser Technologien sind breit gefächert. Ein zentrales Einsatzgebiet ist die Vorproduktion und der Fertigteilbau, in dem automatisierte Systeme Bauelemente unter kontrollierten Bedingungen vorgefertigt werden, wodurch die Bauzeit auf der Baustelle verkürzt, und die Präzision der Bauteile erhöht wird. Ein weiteres wesentliches Feld ist die Baustellenrobotik, in der mobile Roboter verschiedene Tätigkeiten von Menschen möglichst nicht nur übernehmen, sondern neu ausgestalten. Auch Exoskelette und handgeführte Roboter, die Bauarbeitende zumindest physisch unterstützen und entlasten, sind Teil dieser Entwicklung. Zudem kommen Inspektions- und Überwachungsroboter zum Einsatz, darunter Drohnen und bodengebundene Robotersysteme, die den Baufortschritt dokumentieren und sicherheitsrelevante Prüfungen durchführen.

Die Relevanz der Robotik und Automatisierung in der Bauindustrie nimmt kontinuierlich zu. Eine von ABB durchgeführte weltweite Studie mit 1.900 Bauunternehmen in Europa, den USA und China ergab, dass 91 Prozent der Befragten in den nächsten zehn Jahren einen Fachkräftemangel erwarten. Darüber hinaus gaben 44 Prozent der Unternehmen an, Schwierigkeiten bei der Rekrutierung neuer Fachkräfte zu haben. In Reaktion darauf planen 81 Prozent der Befragten, innerhalb dieses Zeitraums Robotik und Automatisierung verstärkt einzuführen oder bestehende Systeme weiterzuentwickeln [ABB 2021].

Trotz der positiven Entwicklungen stehen Unternehmen bei der Implementierung dieser Technologien vor verschiedenen Herausforderungen. Besonders hohe Anfangsinvestitionen sowie der Bedarf an spezialisierten Fachkräften werden als wesentliche Hemmnisse identifiziert. Dennoch prognostiziert der Markt für Bauroboter ein signifikantes Wachstum: Im Jahr 2024 beträgt das Marktvolumen 383,11 Millionen US-Dollar, wobei bis 2029 mit einer jährlichen Wachstumsrate von 15,5 Prozent eine Steigerung auf 787,48 Millionen US-Dollar erwartet wird [Mordor Intelligence 2024].

Langfristig verspricht die Integration von Robotik und Automatisierung erhebliche Vorteile für die Baubranche. Neben einer Steigerung der Effizienz und Produktivität tragen diese Technologien maßgeblich zur Verbesserung der Arbeitssicherheit bei, indem sie gefährliche Tätigkeiten übernehmen. Gleichzeitig erhöhen sie die Präzision der Bauausführung, wodurch Qualitätsmängel reduziert und Nacharbeiten minimiert werden. Angesichts des prognostizierten globalen Wachstums der Bauindustrie – deren Gesamtwert bis 2030 um 85 Prozent auf 15,5 Billionen US-Dollar steigen soll – wird die Bedeutung von Automatisierungslösungen weiter zunehmen.

Experten aus der Bau- und Automatisierungsbranche betonen, dass ein innovationsfreundliches Umfeld essenziell für eine bessere Marktdurchdringung und Etablierung neuer Technologien ist. Hinweise zu in der Bevölkerung erwarteten Folgen der Nutzung von Baurobotern enthält der TechnikRadar 2023 [acatech und Körber-Stiftung 2023]. Auch hieraus ergibt sich Aufklärungsbedarf. Die erfolgreiche Implementierung von Robotik und Automatisierung erfordert also gezielte Fördermaßnahmen, z.B. durch die öffentliche Hand, indem Pilotprojekte unterstützt und so eine praxisnahe Erprobung innovativer Lösungen ermöglicht wird.

Gezielte Förderung von mittelständischen Unternehmen bietet Innovationspotenzial, bleibt aber komplex in Beantragung und Abwicklung

Viele Unternehmen sind sich nicht bewusst, dass Förderprogramme für Forschung, Entwicklung und Innovation bzw. Transfer existieren. Stattdessen wird nach Alternativen gesucht und beispielsweise der direkte Weg über die Hausbank gewählt, um Kredite zur Finanzierung neuer Projekte zu erhalten. Dabei bieten Förderprogramme, wie zum Beispiel die Förderung durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM), speziell kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zahlreiche Vorteile, darunter die Stärkung ihrer Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit, sowie die Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen. Durch die finanzielle Unterstützung können KMU neue Produkte und Verfahren entwickeln und erfolgreich am Markt einführen. Allerdings gibt es auch Hürden: Die Antragsstellung und formelle Abwicklung von geförderten Projekten sind oft komplex und zeitaufwendig, so dass viele Unternehmen externe spezialisierte Dienstleister hinzuziehen und finanzieren müssen. Trotz vorhandener Unterstützungsangebote und der fortschreitenden Digitalisierung des Antragsprozesses bleibt die administrative Belastung für die Unternehmen eine Herausforderung.

Darüber hinaus können gerade bei Automatisierung und Robotik Startups eine zentrale Rolle bei der Entwicklung flexibler, adaptiver und skalierbarer Produkte spielen. Zu deren Unterstützung könnte ein regionaler Bau-Innovationscampus als Inkubator für Unternehmen und Forschungseinrichtungen fungieren, um Ideen und Prototypen in einem kontrollierten Umfeld rasch zu testen und marktreif weiterzuentwickeln. Dies würde nicht nur die Innovationsgeschwindigkeit erhöhen, sondern auch den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft, Industrie und Praxis fördern. Die Nutzung brachliegender Infrastruktur für Prototyping und Feldversuche wird als Schlüsselfaktor angesehen. Diese Flächen könnten als praxisnahe Testumgebungen dienen, in denen neue Technologien unter realen Bedingungen erprobt und optimiert werden. Durch eine enge Verzahnung von Industrie, Forschung und öffentlichen Institutionen könnten Synergieeffekte genutzt werden, um die Implementierung neuer Technologien in der Bauwirtschaft zu beschleunigen. Um langfristigen Erfolg zu gewährleisten, ist zudem eine inkrementelle Verbesserung bestehender Prozesse notwendig, die es den Unternehmen ermöglicht, schrittweise Effizienzsteigerungen zu realisieren. Gleichzeitig sollte jedoch ein innovationsfreundliches Klima erhalten bleiben, das Raum für disruptive Technologien und radikale Veränderungen bietet, ohne etablierte Marktakteur*innen zu gefährden.

Die in diesem Themenfokus identifizierten Schlüsselinnovationen mit erheblichem Potenzial zur Skalierung und Effizienzsteigerung im Bauwesen enthält Kapitel 6.3 im Anhang. Besonders hervorzuheben sind technologische Innovationen wie **KI-gestützte Methoden zur Bauprozessanalyse**, welche die datenbasierte Identifikation von Optimierungspotenzialen entlang des gesamten Bauablaufs ermöglichen. Ergänzend hierzu leisten **digital vernetzte Lieferketten** einen wesentlichen Beitrag zur Transparenz, Planbarkeit und Resilienz in der Material- und Ressourcenlogistik. Darüber hinaus bietet der Einsatz von **Bauprozesssimulationssoftware** die Möglichkeit, komplexe Abläufe prädiktiv

abzubilden und auf dieser Grundlage fundierte Entscheidungsprozesse in der Planungs- und Ausführungsphase zu unterstützen. Eine weitere zentrale Innovation im Bereich der strukturellen Innovationen stellt eine **allgemeingültige Schnittstelle für Automatisierungslösungen** dar, die als integrative Kommunikationsbasis zwischen verschiedenen digitalen und robotischen Systemen fungiert und dadurch die Interoperabilität und Standardisierung in der Bauausführung maßgeblich fördert.

Beispielhafte Handlungsempfehlungen aus dem Expert*innendialog

Kurzfristige Maßnahmen

- **Marktanalyse:** Recherche von bestehenden Standards für automatisierte Lieferkettenlösungen und Best Practices anderer Branchen.
- **Daten sammeln:** Aufbau einer Wissensdatenbank mit Hilfe realer Unternehmensdaten über deren Bauprozesse sowie Daten von Aufträgen der öffentlichen Hand und Wohnbaugesellschaften. Diese Datenbank kann unstrukturierte Datensätze (Big Data) beinhalten und sollte mittelfristig mit KI-Anwendungen analysiert werden. Durch den Zugriff auf die Wissensdatenbank würden neue Automatisierungslösungen einfacher implementiert werden können. Die Analyseergebnisse dienen zudem als Grundlage für die Entwicklung neuer Lösungen und Trainingsdaten für Automatisierungen und Robotik.
- **Formate zum Austausch und zur Vernetzung:** Es sollen regelmäßige Formate entstehen, die die Lücke zwischen dem großen Wissensschatz erfahrener Bauleiter und dem Wissen von vorhandenen (oftmals Startup-) Lösungen schließen. Dazu können z.B. Inkubationsprogramme, Bau-Acceleratoren (Groundbreakers) oder niederschwellige Updates im Onlineformat dienen, bei dem Startups und Unternehmen Innovationen vorstellen.

Mittelfristige Maßnahmen

- **Datenschutz:** Zuständige Behörden sollten gesetzlich einen sinnvollen und praxisgerechten Umgang mit dem Datenschutz regeln. Nur so wird die Nutzung von Automatisierungslösungen praktikabel und effizient.
- **Digitale Lieferscheine vereinheitlichen:** Entwicklung einer standardisierten Software für digitale Lieferscheine (einheitliche Datenschnittstelle), Unterstützung/Förderung von Forschungsprojekten zu diesem Thema.
- **Digitale Produktpässe:** Breite Etablierung digitaler Produktpässe (DPP), welche dafür sorgen, dass relevante Informationen zu Produkten jederzeit digital abgerufen werden können. Diese DPP stellen einen wichtigen Baustein in der Nutzung von Automatisierungslösungen und Robotik Anwendungen auf Baustellen dar.

Langfristige Maßnahmen

- **KI-Schnittstelle:** Entwicklung einer KI (z.B. LLM) zur Zusammenführung verschiedener unterschiedlicher Datensätze, anstelle der Etablierung eines neuen einheitlichen Datenformates, um die Kommunikation zwischen Automatisierungslösungen unterschiedlicher Hersteller zu ermöglichen bzw. zu vereinfachen.

2.2.4 Serielles Sanieren

Die Baubranche steht vor der dringenden Aufgabe, den bestehenden Gebäudebestand energetisch zu verbessern, um sowohl nationale Klimaziele zu erreichen als auch den Energieverbrauch signifikant zu reduzieren. Eine vielversprechende Methode, die in diesem Kontext an Bedeutung gewinnt, ist das serielle Sanieren.

Unter seriellem Sanieren wird die energetische Modernisierung von Gebäuden mittels vorgefertigter Bauelemente verstanden, die in industriellen Produktionsprozessen hergestellt und anschließend vor Ort montiert werden. Dieses Verfahren ermöglicht eine deutliche Verkürzung der Bauzeit sowie eine Reduzierung der Kosten durch standardisierte Abläufe und den Einsatz moderner Technologien. Zudem wird die Qualität der Sanierungsmaßnahmen durch die kontrollierte Vorfertigung erhöht. Besonders geeignet für diese Methode sind Mehrfamilienhäuser mit ähnlichen Bauweisen, da hier die Skalierungsvorteile der Standardisierung optimal genutzt werden können. Schätzungen zufolge könnten in Deutschland jährlich bis zu 120.000 Wohneinheiten seriell saniert werden, was einen erheblichen Beitrag zur Erhöhung der Sanierungsquote leisten würde [Agora Energiewende et al. 2024].

Um die Implementierung des seriellen Sanierens zu fördern, hat die Bundesregierung finanzielle Anreize geschaffen. Seit dem 1. Januar 2023 bietet die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) einen Bonus von 15 Prozent für serielle Sanierungen an. Dieser Bonus ergänzt die bestehenden Fördermöglichkeiten und soll die Attraktivität dieser innovativen Sanierungsmethode erhöhen. Trotz der offensichtlichen Vorteile befindet sich das serielle Sanieren in Deutschland noch in einer frühen Entwicklungsphase. Bis Juni 2024 wurden rund 60 Projekte abgeschlossen, darunter 28 im Bereich Mehrfamilienhäuser mit etwa 460 Wohneinheiten, 17 Projekte bei Ein- und Zweifamilienhäusern sowie 15 Projekte im Nichtwohngebäudebereich. Aktuell befinden sich etwa 30 weitere Projekte in Planung oder Umsetzung [Agora Energiewende et al. 2024].

Die serielle Sanierung bietet ein enormes Potenzial, die energetische Modernisierung des Gebäudebestands in Deutschland effizient und kostengünstig voranzutreiben. Durch die Kombination von industrieller Vorfertigung, finanziellen Förderungen und standardisierten Prozessen kann ein signifikanter Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauchs und zur Erreichung der Klimaziele geleistet werden.

Präzisierung der Bewertung von Energie- und Emissionseinsparungen

Im Bereich der Bewertung von Energie- und Treibhausgasemissionseinsparungen in innovativen Bauprojekten wird eine komplexe Herausforderung deutlich: Eine Analyse hat gezeigt, dass Einsparungen (belegbar durch Kennwerte wie Primärenergiebedarf, Graue Energie, CO₂-Emissionen) während der Entwicklungsphase nicht einfach und effektiv erfasst bzw. beziffert werden können. Um dies zu ermöglichen, sind spezifische Leitfäden erforderlich, die je nach Bauprojekttyp angewendet werden können. Unterschiedliche Projekttypen wie Demoprojekte, Technologieentwicklungen, Studien, Betriebsoptimierungen oder Materialien erfordern individuelle Ansätze. Je nach Projekttyp variieren die vorgegebenen Referenzwerte, die zu berücksichtigenden Lebenszyklusphasen und die Entscheidung, ob ein reales oder ein Typgebäude verwendet werden soll. Einige Projekttypen, wie Bewertungsprozeduren, Leitfäden oder Softwareentwicklungen im Bereich Energieeffizienz, lassen sich nicht direkt bewerten. Diese Projekte selbst sparen keine Energie oder Emissionen ein, und die potenzielle Anwendung sowie ihre Auswirkungen werden häufig überschätzt.

Diese Herausforderungen unterstreichen die Dringlichkeit, standardisierte und vergleichbare Methoden zur Erfassung und Bewertung von Energie- und Emissionseinsparungen zu entwickeln, um die tatsächlichen Vorteile innovativer Bauprojekte fundiert einschätzen und einordnen zu können. Ein Orientierungspunkt hierfür ist der Leitfaden zur Ermittlung von Einspareffekten an Energie und klimaschädlichen Emissionen, der vom Bundeswirtschaftsministerium und dem Projektträger Jülich (PtJ) im Rahmen der Forschungsinitiative »Energiewendebauen« (EWB) initiiert wurde.

Um die flächendeckende Marktdurchdringung dieser innovativen Sanierungsmethode zu gewährleisten, haben Expert*innen mehrere zentrale Faktoren identifiziert, die als wesentliche Treiber für den Erfolg des seriellen Sanierens angesehen werden. Ein entscheidender Aspekt ist die Möglichkeit der Wartung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) im laufenden Betrieb. Der Einsatz externer TGA-Module und fassadenintegrierter TGA-Stränge ermöglicht Wartungsarbeiten, ohne dass die Nutzung der Immobilie eingeschränkt wird. Dadurch wird ein störungsfreier Betrieb gewährleistet. Dies stellt insbesondere bei gewerblich oder öffentlich genutzten Gebäuden einen erheblichen wirtschaftlichen Vorteil dar. Ein weiteres Kernelement ist die Resilienz der sanierten Gebäude, insbesondere im Hinblick auf die Wärmeversorgung. Die Entkopplung von zentralen Energieversorgungssystemen durch dezentrale Quartierslösungen trägt zur Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen bei und erhöht die Versorgungssicherheit. Quartierslösungen können durch Nahwärmenetze oder individuelle Wärmepumpensysteme realisiert werden, wodurch auch langfristig eine nachhaltige und unabhängige Energieversorgung gewährleistet werden kann. Darüber hinaus kann die serielle Sanierung durch eine gesteigerte Produktivität innerhalb der Bauprozesse erheblich optimiert werden. Durch die Zusammenlegung mehrerer Gewerke in einem standardisierten, industriellen Fertigungsprozess können sowohl die Sanierungsdauer als auch der Koordinationsaufwand erheblich reduziert werden. Dies ermöglicht eine effizientere Abwicklung der Bauvorhaben und minimiert Verzögerungsrisiken. Auch der Wettbewerb innerhalb des Marktes für serielle Sanierungen

spielt eine entscheidende Rolle für die wirtschaftliche Etablierung der Methode. Skaleneffekte durch zunehmende Nachfrage und standardisierte Prozesse könnten dazu beitragen, dass serielle Sanierungen langfristig kosteneffizienter werden als konventionelle Sanierungsmethoden.

Ein bedeutender Einflussfaktor für die erfolgreiche Implementierung dieser Sanierungsmethode ist die Offenheit und das Wissen innerhalb kommunaler Entscheidungsgremien. Gemeinderäte mit Entscheidungsbefugnis spielen eine wesentliche Rolle bei der Genehmigung und Förderung serieller Sanierungsmaßnahmen. Gut informierte Gemeinderäte können fallspezifisch die Vorteile dieser Methode erkennen und regulatorische Hürden abbauen, wodurch die Marktdurchdringung erheblich beschleunigt werden könnte. Nicht zuletzt ist auch die Flexibilität der Bebauungspläne ein wichtiger Faktor für die erfolgreiche Verbreitung. Sie sollten serielle Sanierungen ermöglichen, indem sie ausreichend Spielraum für innovative Bauweisen lassen. Beispielsweise könnten gemeinwohlfördernde Maßnahmen als Begründung für Abweichungen vom Bebauungsplan herangezogen werden, um regulatorische Einschränkungen zu umgehen und den Sanierungsprozess zu erleichtern.

Technologische Innovationen mit Skalierungshebelwirkung enthält Kapitel 6.4 im Anhang. Hervorzuheben sind hierbei **externe Versorgungsmodule** sowie **TGA-integrierte Fassadenmodule**, die eine hohe Integrationstiefe und modulare Anpassungsfähigkeit aufweisen. Ergänzt werden diese Ansätze durch die **außenliegende Erschließung**, die zusätzliche funktionale und bauliche Flexibilität ermöglicht. Darüber hinaus wurden auch nicht-technologische Innovationen, wie etwa ein integratives „**All-Inclusive**“-**Geschäftsmodell** sowie eine **Open-Source-Konstruktionsbibliothek**, als besonders vielversprechend hinsichtlich ihrer Potenziale zur Effizienzsteigerung und Verbreitung Serieller Sanierungslösungen eingestuft.

Beispielhafte Handlungsempfehlungen aus dem Expert*innendialog

Kurzfristige Maßnahmen

- **Marktanalyse:** Durchführung einer Marktanalyse zu bestehenden Geschäftsmodellen bei GUs. So können bereits erfolgreich etablierte All-Inclusive Geschäftsmodelle gefunden, analysiert, bewertet und angewendet werden.
- **Konstruktionsdatenbanken:** Recherche zu bestehenden Konstruktionsdatenbanken und Plattformen zum Austausch in den Bereichen Sanierung und Serielle Sanierung. Anschließend Prüfung, ob die mittelfristige Maßnahme einer Kommunikationsplattform bei den gefundenen Datenbanken und Plattformen integrierbar ist.
- **Informationskampagne:** Aufzeigen positiver Fallbeispiele für eine Steigerung von Bekanntheitsgrad und Akzeptanz. Das Aufzeigen kann z.B. in Broschüren, auf Veranstaltungen des SDB etc. stattfinden.
- **Hebel schaffen:** Mit positiven Nebeneffekten können Hebel geschaffen und erkannt werden. Ein solch zusätzlicher Anreiz könnte z.B. die kostenfreie Anbindung an die kommunale Wärmeversorgung bei der Seriellen Sanierung sein.

Mittelfristige Maßnahmen

- **Team-Vergabe:** Abschaffung der Einzelvergabe bei Sanierungen von öffentlichen Auftraggebern. Funktionale Ausschreibungen forcieren und "Team-Vergaben" (Bietergemeinschaften) vereinfachen bspw. mit Präqualifikationen als Gemeinschaft. Dies dient der Förderung von Zusammenschlüssen regionaler Handwerker*innen, welche ein gemeinsames Serielles Sanierungssystem umsetzen.
- **Interessengemeinschaft bilden:** Aufbau einer Community zur Erstellung einer öffentlich zugänglichen und qualifizierten Datenbank mit Konstruktionslösungen und erprobten Workarounds. Vorbild hierfür ist die Open-Source Entwicklercommunity GitHub.
- **Kommunikationsplattform:** Erstellung einer interaktiven Plattform, bei der Stakeholder der seriellen Sanierung strukturiert und datenlesbar Erfahrungen und Best-Practices austauschen.
- **Flexible Bebauungspläne:** Bebauungspläne für Serielle Sanierungen flexibler gestalten und gemeinwohlfördernde Maßnahmen im Speziellen einfacher umsetzbar machen.

2.3 Innovationsradar

Das Innovationsradar dient der systematischen Visualisierung und Kategorisierung von Innovationsansätzen im Bereich des Bauwesens. Es strukturiert Innovationen entlang zweier Dimensionen: Dem Innovationscharakter (technologisch, strukturell, prozessbezogen oder geschäftsmodellorientiert) sowie der Priorisierung (von Prioritätsbereich C = Teil strategischer Planung für die Zukunft bis Prioritätsbereich A = Innovationen mit hoher sofortiger Wirkung).

Im dargestellten Radar werden einzelne Innovationen durch farbcodierte Symbole repräsentiert, die den jeweiligen thematischen Clustern zugeordnet sind – darunter „Baustoffe (Fokus Beton und Stahl)“, „Modulares Bauen“, „Automatisierte Baustelle und Robotik“ sowie „Serielles Sanieren“.

Die zugrundeliegende Erhebung basiert auf Workshops im Rahmen des PSIPRO-Projekts mit Expert*innen aus dem SDB in Ergänzung einer Nutzwertanalyse mit Sensitivitätsanalyse. Das Radar dient als Übersicht zur Identifikation und Bewertung von Innovationspotenzialen.

Tabelle 1:
Analysierte Innovationsansätze im Bereich des Bauwesens.

Innovations-/ Lösungsansatz	Handlungsfeld	Farbe im Innovationsradar
RC-Beton	Baustoffe	Orange
Recarbonatisierungs-Technologie für R-Beton	Baustoffe	
Misch-/ Produktionsoptimierung	Baustoffe	
Zementfreie Betone (Geopolymere und Calcinerte Tone)	Baustoffe	
Biokohlenstoffe in Beton	Baustoffe	
Nichtmetallische Bewehrung, z.B. Carbonbeton	Baustoffe	
3D-Druck von Betonbauteilen in Verbindung mit Gradientenbeton	Baustoffe	
Betonteilaktivierung	Baustoffe	
Hochofenroute mit Wasserstoff	Baustoffe	
Direktreduktion (DRI) und Elektrolichtbogenofen (EAF)	Baustoffe	
Etablierung eines Klassifizierungssystems für Stahl (LESS)	Baustoffe	
Plug and Play-Funktionsmodule und das herstellerunabhängige Standardraster (BaWü-Raster)	Modulares Bauen	Lila
Entwicklung einer Modulbibliothek oder Plattform zur Weiter- und Wiederverwendung von Bauteilen und Modulen	Modulares Bauen	
Allgemeingültige Schnittstelle für Robotik und Automatisierungslösungen	Automatisierte Baustelle und Robotik	Dunkelblau
Bauprozesssimulationssoftware	Automatisierte Baustelle und Robotik	
KI-gestützte Bauprozessanalyse	Automatisierte Baustelle und Robotik	
Digitale Lieferketten	Automatisierte Baustelle und Robotik	
Fassadenintegrierte TGA-Module	Serielle Sanierung	Olivgrün
Außenliegende Erschließung	Serielle Sanierung	
Externe Versorgungsmodule	Serielle Sanierung	
Open-Source Konstruktionsbibliothek	Serielle Sanierung	
All-Inclusive Sanierung	Serielle Sanierung	

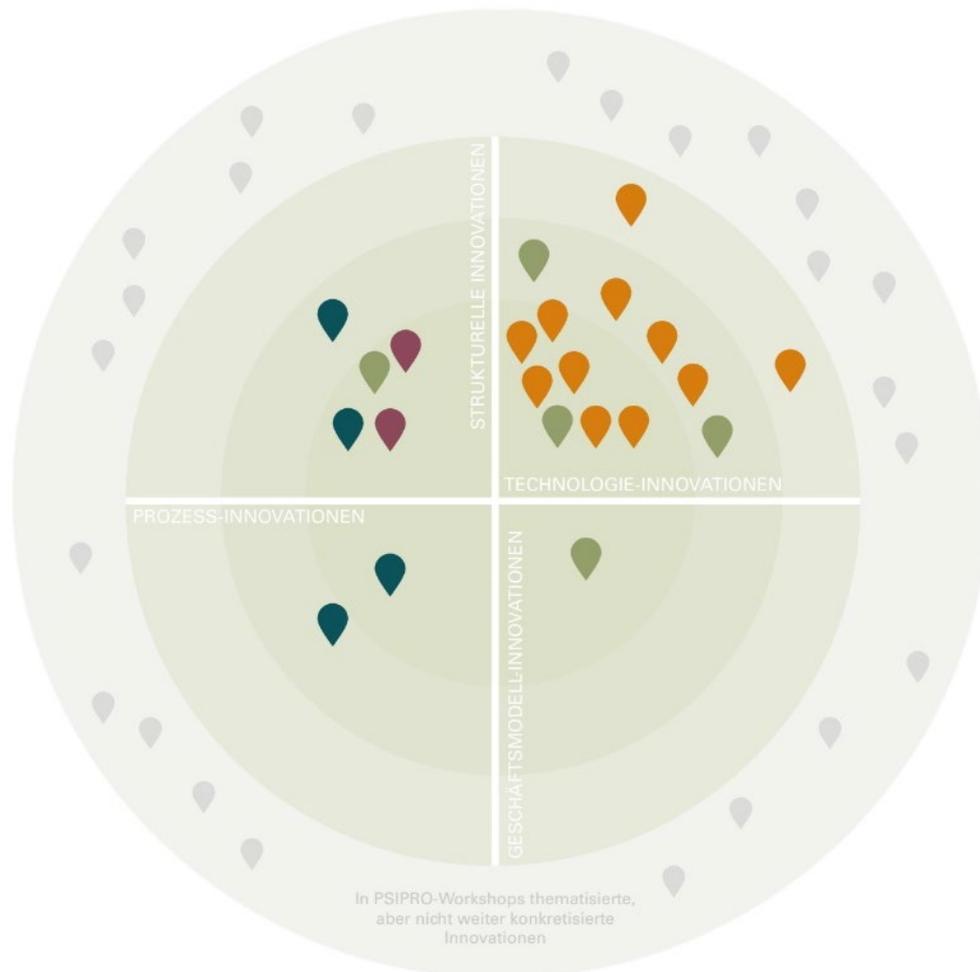


Bild 1:
PSIPRO-Innovationsradar.

3 Kostendruck und Innovationsbedarf: Der deutsche Wohnungsbau im Fokus

Trotz insgesamt beträchtlicher Baukosten steht insbesondere der Wohnungsbau im Fokus der öffentlichen Wahrnehmung. Diese Kostendebatte ist nicht neu, auch in der Vergangenheit wurden jeweils ähnliche Überlegungen und Forderungen zur Kostenreduzierung formuliert. Dazu zählten z.B. transparente Kommunikation und Monitoring des Problems, die Vereinfachung von Rahmenbedingungen und Reduzierung von Anforderungen, die Beschleunigung von Prozessen und Steigerung der Produktivität und andere mehr. Es wurden Kommissionen gebildet, Förderprogramme entwickelt, und bereits vor etwa 30 Jahren sollte ein beabsichtigtes Bauforschungsprogramm die Entwicklung kosten-senkender Innovationen unterstützen [Deutscher Bundestag 1997]. Heute stehen die durchschnittlichen Gestehungskosten für den Wohnungsneubau hierzulande unverändert an der Spitze in Europa. Ein besonders auffälliger Aspekt ist der hohe Anteil staatlich bedingter Kosten in Deutschland, d.h. fast ein Drittel der Baukosten geht auf Grunderwerbs- und Umsatzsteuern, Kosten für

energetische Anforderungen, Baugenehmigungskosten und weitere zurück [CBRE 2023]. Die erneut eingesetzten Kommissionen landen bei fast gleichlautenden Empfehlungen zur Kostensenkung, einschließlich der hohen Erwartungen an Innovationen.

So besteht beispielsweise weitgehend Einigkeit darüber, dass z.B. modulares Bauen grundsätzlich das Potenzial hat, zur Kostensenkung beizutragen. Trotzdem und trotz einiger Vorreiter*innen bleibt die Umsetzung in der Praxis vergleichsweise gering. Als ein Hinderungsgrund sowohl für Bauherr*innen als auch für Bauunternehmen, sich für das modulare Bauen zu entscheiden, gilt die schwierige Quantifizierung konkreter Zeit-, Ressourcen- und Kosteneinsparungen beim Bau und Betrieb. Diese Frage steht im Kontext der kostenintensiven Investitionen und erforderlichen Entwicklungszeiten für innovative Systeme. Es gibt zwar beispielhafte Bauvorhaben, bei denen durch innovative Bauverfahren signifikante Einsparungen erzielt wurden, aber dieses Wissen ist wiederum noch nicht konkret und weit genug verbreitet. Es werden zugleich verlässliche Benchmarks bzw. Zielwerte nachgefragt, mit denen sich die Einspareffekte bzw. Vorteile differenzieren lassen. Dazu könnten Referenzwerte dienen, die etwa zwischen erforderlicher Zeit, eingesetzten Ressourcen und dauerhafter Energieeffizienz unterscheiden. Das kürzlich ausgerufene Förderprogramm „Klimafreundlicher Neubau im Niedrigpreissegment“ des BMWWSB bietet einen Ansatz zur Definition solcher Werte im Bereich der Bau- und Energiekosten von Wohngebäuden. Weitere Ansätze, insbesondere im Bereich der öffentlichen Nichtwohngebäude wie Schulen, Kindertagesstätten etc. könnten folgen, um die Umsetzung von kosteneffizientem Bauen und Betreiben stärker zu motivieren.

Dennoch bleiben Unsicherheiten bei der Bewertung der Amortisation innovativer Lösungen, die von der Energiepreisentwicklung, der Verfügbarkeit von Ressourcen und Fachkräften abhängen können. Dieses Beispiel ist Teil einer Vielfalt von kaum vergleichbaren Einflussfaktoren und auch Indikatoren. Um eine fundierte Bewertung zu ermöglichen, müssen klare Randbedingungen definiert werden [Fraunhofer IBP 2025].

4 Handlungsempfehlungen

4.1 Allgemeine Handlungsempfehlungen

Die hier formulierten Handlungsempfehlungen lassen sich in ein System aus Informationen und Angeboten, Anreizen und Regeln einordnen. Sie adressieren die Politik (Ministerien, teils ressortübergreifend), Kammern, Verbände und Unternehmen der Privatwirtschaft sowie wissenschaftliche und Ausbildungseinrichtungen. Es wird offenkundig, dass es vielfach auf ein Gemeinschaftswerk ankommt, zu dem der Strategiedialog Bau in einzigartiger Weise beitragen kann und weiterhin sollte.

Impulse öffentlicher Bauvorhaben

Im Jahr 2022 plante die Bauverwaltung des Landes Baden-Württemberg, etwa 1,4 Milliarden Euro in Bauprojekte zu investieren. Gepaart mit der vorhandenen

Kompetenz verschafft diese beträchtliche Summe dem Land einen erheblichen Hebel bei der nachhaltigen Gestaltung des Bauens. Auch angesichts der ambitionierten Klimaziele für Landesliegenschaften können entsprechende Bauvorhaben noch intensiver als Impulsgeber für den Praxistransfer innovativer Ansätze und nachhaltiger Praktiken fungieren [Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg 2023]. Um in einer solch proaktiven Rolle sowohl den Innovationsbedarf zu präzisieren als auch den Transfer zu aktivieren, könnten spezifische Anpassungen bei der Kommunikation und Kooperation mit den am Bau Beteiligten hilfreich sein. Beispielhaft sei auf die Anwendung funktionaler Leistungsbeschreibungen anstelle detaillierter technischer Spezifikationen verwiesen. Dies böte für Unternehmen konkrete Anlässe, technologieoffen innovative Lösungen zu entwickeln, die Anforderungen über tradierte technische Vorgaben hinaus erfüllen. Auch bei der Bewertung von Angeboten könnte das Innovationspotenzial technologischer Lösungen bewusst einbezogen werden, ohne die obligatorischen Auswahlkriterien zu vernachlässigen.

Ein weiterer Impuls für innovative Unternehmen und Praxistransfer liegt im erleichterten Zugang zu Ausschreibungs- und Bewerbungsverfahren für Start-ups, denen zumindest anfänglich noch Kapazität und Erfahrung fehlt. Um diese und weitere Impulse von öffentlichen Bauvorhaben für das Hochskalieren innovativer Produkt- und Prozesslösungen noch stärker zu nutzen, bedarf es geeigneter Strukturen, Handlungshilfen und Abläufe. Zu deren Entwicklung gibt es eine Reihe von Anhaltspunkten, z.B. die im Projekt entwickelten Instrumente Innovationsradar und -steckbrief, die es aufzugreifen und anzupassen gilt.

Freiraum zur Erprobung

Freiräume zur erstmaligen Erprobung unter realen Bedingungen können erheblich zur Verbreitung innovativer Baustoffe und Bauweisen beitragen. Sie benötigen ein sowohl offenes als auch (qualitäts-) gesichertes Umfeld für effiziente Praxistests, das im Baubereich eine deutlich größere Rolle spielen sollte. Die Stärkung solcher Transferlabore kann sogar die regionale Wettbewerbsfähigkeit stärken, indem sich Innovationsökosysteme wirtschaftlicher, wissenschaftlicher und öffentlicher Partner entwickeln oder etablieren. Eine gezielte, regelbasierte öffentliche Förderung von Transferlaboren oder dergleichen ist sicher hilfreich, aber auch privatwirtschaftliche Initiativen ohne Fördermittel praktizieren durchaus häufig ähnliche Konzepte. Sie werden mitunter bekannt, bleiben aber auch vielfach im Verborgenen. Um deren Skalierungspotenzial zu sichern und zu stärken, sind maßgeschneiderte Beratungs- und Begleitungsangebote geeignet, z.B. im Rahmen einer „Transferlabor-Börse“, die zugleich mit aktiver Kommunikation zur Verbreitung und Verknüpfung von Formaten und Interessierten sorgt, sowie über die Erkenntnisse informiert.

Gebäudetyp E

Die Erwartungen an einen etablierten Gebäudetyp E sind groß, nahezu unabhängig von den sicher unterschiedlichen Perspektiven. Eine dieser Perspektiven sollte in der Berücksichtigung innovativer Produkt- und Prozesslösungen bestehen, insbesondere wenn sie helfen, den Ansprüchen „einfacher, schneller und günstiger“ gerecht zu werden. Je nach Verlauf der Gesetzesinitiative in der

kommenden Legislaturperiode sollte nach Verabschiedung die Förderung u.a. von Pilotprojekten dazu genutzt werden, um in diesem Rahmen die Praxistauglichkeit und Vorteile innovativer Baustoffe und Bauweisen zu demonstrieren. Gleichzeitig erscheint die Einrichtung und das Angebot kompetenter Beratung empfehlenswert, um Bauherren, Projektentwickler und andere bei der Umsetzung von Projekten mit dem Gebäudetyp E zu unterstützen. Dazu zählen z.B. rechtliche Beratung, Erfahrungsaustausch sowie eine Plattform für Best-Practice-Projekte.

Förderung und Finanzierung

Eine Voraussetzung für Innovation, also für den Transfer neuer Technologien, besteht in Forschung und Entwicklung in vielen unterschiedlichen Konstellationen. Dazu zählen sowohl alle Beteiligten der baulichen Wertschöpfungskette als auch die vielfältigen Einrichtungen für grundlegende und angewandte Forschung, einschließlich der breiten Palette an FuE-Kooperationsformaten aus Wirtschaft und Wissenschaft. Jede Innovation bedarf einer zumindest initialen Finanzierung, sei es, um sie anzustoßen, zu ermöglichen oder zu verstetigen. Ein Teil der Innovationsaktivitäten profitiert in besonderer Weise von Förderung, z.B. die kleinen und mittelständischen Betriebe im Bausektor, die auch ohne eigene FuE-Strukturen neue Bauweisen, nachhaltige Materialien und digitale Technologien vorantreiben. Zur Stärkung ihrer Innovationskraft sind gezielte und passende Fördermaßnahmen hilfreich, um etwa den Zugang zu neuen Technologien und Entwicklungen zu erleichtern. Dabei zeigen die Erfahrungen, dass es sich lohnt, Förderformate etwas mehr auf die Bedürfnisse der Betriebe in der Bauwirtschaft auszurichten, z.B. nach Art der bewährten Innovationsgut-scheine in Baden-Württemberg. Ein vergleichbar niederschwelliges, klar ausgerichtetes und gut kommuniziertes Programm für innovative kmU im Bausektor kann den gewünschten Praxistransfer beschleunigen.

Der Zugang von Unternehmen aus Baden-Württemberg zu FuE-Förderprogrammen auf Bundesebene bietet noch Spielraum für Zuwachs. Vielen kmU sind zahlreiche Förderprogramme für Innovation und Transfer nicht bekannt bzw. bewusst. Zugleich ist die hohe Komplexität von Projektantragsstellung und -abwicklung zu hoch und ohne gesonderte Unterstützung kaum machbar. Ein ähnliches Resümee ergibt sich zur steuerlichen Forschungsförderung, die künftig noch ausgebaut werden könnte. Trotz der sukzessiven Anpassung der Bemessungsgrundlage hat die erhoffte Anreizwirkung bislang nicht in vollem Umfang eingesetzt. Eine gezielte Erweiterung der Anrechnungsmöglichkeiten für Auftragsforschung könnte erneut insbesondere kmU z.B. den Zugang zu Forschungseinrichtungen erleichtern und so die Innovationsdynamik in der Bauwirtschaft erhöhen. Auf europäische FuE-Förderung wurde im Projekt nicht gezielt eingegangen, aber der Eindruck von ungenutztem Potenzial ist erkennbar, insbesondere mit Blick auf nachbarliche und partnerschaftlich verbundene Regionen in Europa.

Als eine weitere, von Unternehmen als naheliegend bezeichnete Finanzierungsmöglichkeit für Innovation bzw. Transfer fungieren die „Hausbanken“. Die so finanzierten Investitionen haben unterschiedlichen Charakter und profitieren von bekannten Vorgehensweisen und Beziehungen. Um auch diese Option zu

stärken, können z.B. bei der Bewertung bzw. Begrenzung von Risiken durch Bank und Unternehmen konkrete Leitfäden o. dgl. helfen.

Transferökosystem

Die Transformation der Bauwirtschaft erfordert ein fest verankertes Innovations-Mindset, das Offenheit für neue Technologien, interdisziplinäre Zusammenarbeit und den produktiven Umgang mit Unsicherheit fördert. Nur so kann Innovation zum festen Bestandteil unternehmerischer Praxis werden. Internationale Innovationsökosysteme wie das Silicon Valley oder Shenzhen zeigen, wie wichtig förderliche Rahmenbedingungen sind – von Investitionsanreizen und flexiblen Regulierungen bis hin zu einer Kultur des Wissenstransfers, die kreatives und unternehmerisches Denken stärkt. Auch im Bausektor liegt ein zentraler Hebel für Innovation in der funktionierenden, gezielten Kooperation zwischen etablierten Akteur*innen, Start-ups, Forschung und öffentlichen Institutionen. Gerade in einer fragmentierten Branche mit hohen Eintrittsbarrieren liegt eine erhebliche Chance in neuen, offenen Strukturen der Zusammenarbeit.

In anderen Branchen haben sich in Baden-Württemberg regionale Transferökosysteme gebildet, die als wichtige Plattformen zur Förderung der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft beitragen. Synergieeffekte sind neben dem vertrauten Austausch die gemeinsame Nutzung teurer/seltener Infrastruktur und vieles mehr. Daran lässt sich anknüpfen, um sowohl branchenspezifische als auch branchenübergreifende Systeme und Netzwerke zu entwickeln oder ihren Aktionsradius zu erweitern. Insbesondere einige existierende Transferzentren haben noch Steigerungspotenzial beim Wirkungsgrad, z.B. beim Transfer von der Wissenschaft zur Wirtschaft. Zugleich können regionale und überregionale Allianzen von einem zentralen Knotenpunkt für Transferwissen profitieren. Zur Verbreitung der Angebote sollten noch mehr Stakeholder, z.B. alle vom Land geförderten Initiativen, aber auch Verbände, Kammern und dergleichen beitragen.

Start-ups sollten durch erleichterten Zugang zu Finanzierung, Pilotprojekten, Entwicklungs- und Industriepartnern gestärkt und in bestehende Wertschöpfungsketten eingebunden werden – etwa durch interdisziplinäre Konsortien. Inkubatoren und Acceleratoren mit Fokus auf die Bau- und Immobilienwirtschaft können dabei zur Entwicklung und Skalierung innovativer Geschäftsmodelle beitragen. Baden-Württemberg bietet ideale Voraussetzungen für ein innovationsgetriebenes Bauökosystem, wie der Strategiedialog Bau und die kürzlich erfolgreiche Aktivierung im Zuge des Bundesbauforschungszentrum zeigen. Forschungsstarke Hochschulen und Institute, ein dynamischer Mittelstand und die Agglomeration technologieaffiner Branchen bilden dafür ein starkes Fundament. Geförderte Initiativen wie Groundbreakers bietet Anknüpfungspunkte, die es strategisch weiterzuentwickeln und auszugestalten gilt.

Transparente Indikatorik

Um sowohl kostengünstiges als auch ökologisches Bauen und Betreiben zu fördern, sollten klare Zielwerte und Benchmarks für Bau- und Energiekosten entwickelt werden, insbesondere für Wohngebäude. Einen Anhaltspunkt liefert

das Förderprogramm „Klimafreundlicher Neubau im Niedrigpreissegment“ des BMWWSB. Ähnliche Ansätze sollten auch für öffentliche Nichtwohngebäude, wie Schulen und Kindertagesstätten, geschaffen werden, um die Anwendung innovativer Bauverfahren weiter zu fördern. Standardisierte Referenzen für die präzise Quantifizierung der Reduktion von Kosten, Ressourcen und Emissionen sind nötig, um die Perspektiven von Innovationen z.B. in zahlreichen Entscheidungsprozessen bewerten zu können. Ein Beispiel für solche standardisierten Referenzen könnte die Einführung eines „Kosten- und Nachhaltigkeitsindex“ sein, der die Gesamtkosten und -emissionen am Lebenszyklus orientiert betrachtet.

In diesem Sinne könnten auch öffentliche Förderprogramme klarer ausgerichtet werden, indem z.B. innovative Lösungsvorschläge a priori auf Indikatoren wie Technologiereife (Technology Readiness Level) und zugleich auf die Kosten- und Klimabilanz eingehen. Damit sind Herausforderungen verbunden, z.B. bei der Analyse von Amortisationszeiten unter Berücksichtigung der Energiepreisentwicklung.

Datenökosystem

Die Digitalisierung ist zweifellos ein zentrales Handlungsfeld mit großer Hebelwirkung auch für den Praxistransfer neuer Bauprodukte und -technologien. In Kap. 2.1 wurde dargestellt, dass im Projekt auf andere ausgewählte Handlungsfelder fokussiert wurde. Dennoch, mit Blick auf die erforderliche Produktivitäts- und Effizienzsteigerung in der Bauwirtschaft kam im Projektverlauf sehr deutlich zum Ausdruck, dass wesentliche Voraussetzungen gelingender Digitalisierung ein gemeinsamer Datenraum für alle am Bau beteiligten Akteur*innen sowie der Zugang zu bestehenden und erprobten (konstruktiven) Lösungen in einer zugänglichen Open-Source-Datenbank sind. Das im April 2025 gestartete Projekt Construct-X hat zum Ziel, einen solchen gemeinsamen Datenraum zu schaffen. Dazu arbeiten annähernd 40 Partner*innen an der Entwicklung gemeinsamer digitaler Standards, Werkzeuge und Abläufe. Das Verbundteam von Construct-X umfasst namhafte Unternehmen der Bauwirtschaft, des Handwerks, der IT-Technologie sowie Universitäten und Forschungseinrichtungen auch aus Baden-Württemberg. Zudem sind maßgebliche Verbände der Bauwirtschaft und des Handwerks eingebunden. Um möglichst viele Unternehmen in Baden-Württemberg zu ermutigen, vermehrt Open-Source-Datenbanken zu nutzen, sollte eine gezielte Informationskampagne gestartet werden. Generell zeichnet sich ab, dass sich die Akzeptanz von Open-Source-Initiativen in der Baubranche erhöhen sollte. Den Vorbehalten gegenüber der Freigabe von Unternehmensdaten stehen konkrete Vorteile der Anwendung offener Technologien gegenüber. Durch die Implementierung von Open-Source-Lösungen können Unternehmen zum Beispiel signifikante Effizienzgewinne erzielen, indem Planungs- und Entwicklungsprozesse optimiert und beschleunigt werden. Eine Möglichkeit zur Akzeptanzförderung besteht in frei zur Verfügung gestellten Daten öffentlicher Bauvorhaben. Die damit verbundene Transparenz und Nachvollziehbarkeit wäre ein wegweisendes Beispiel für die Bauwirtschaft im Sinne der eingangs erwähnten Impulse durch öffentliche Bauherr*innen.

4.2 Einbindung in den Strategiedialog Bau

Das Projekt PSIPRO behandelt als Bestandteil des Strategiedialogs Bau die Aufgabenstellung der Arbeitsgruppe 3.3 „Hochskalieren innovativer Produkte, Prozesse und Technologien: Vom Piloten in die Fläche“. Die Arbeit in dieser Gruppe und im Projekt mündet mit diesem Bericht in Empfehlungen und Hilfestellungen für erfolgreichen Praxistransfer innovativer Produkt- und Prozesslösungen sowohl für einige ausgewählte Handlungsfelder als auch in zusammengefasster Form darüber hinaus. Die Ergebnisse finden damit Eingang in die weitere Arbeit im Strategiedialog, insbesondere natürlich in der Arbeitsgruppe 3.3.

Zugleich bestehen konkrete Anknüpfungspunkte zum Wissenstransfer (Arbeitsgruppe 3.1) sowie zur Aus- und Weiterbildung (Arbeitsgruppe 3.2). Innovationsradar und Steckbriefe können dabei Verbreitung und Verwendung finden, zumal Wissen und Kompetenz der am Bau Beteiligten Grundvoraussetzungen für gelingenden Praxistransfer sind. Die Projektergebnisse zeigen aber auch den Bedarf weiterer, gemeinsamer Vertiefung z.B. mit den Arbeitsgruppen Rechtliche Rahmenbedingungen und Ökonomisch Bauen und Sanieren. Die abschließende Empfehlung gilt daher der intensiven Nutzung des Strategiedialog Bau als Chance und Format, den Schatz zu heben, der in neuen Produkt- und Prozesslösungen für bezahlbares Wohnen und innovatives Bauen steckt.

Literaturverzeichnis

- [ABB 2021] ABB (2021): Sicheres und nachhaltiges Bauen: ABB Robotics treibt Automatisierung in der Bauindustrie voran. Online verfügbar unter <https://new.abb.com/news/de/detail/78387/sicheres-und-nachhaltiges-bauen-abb-robotics-treibt-automatisierung-in-der-bauindustrie-voran?>, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [acatech und Körber-Stiftung 2023] acatech und Körber-Stiftung (2023): TechnikRadar 2023: Was die Deutschen über Technik denken. Hg. v. acatech, Körber-Stiftung, Universität Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/technikradar-2023/download-pdf?lang=de>, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [Agora Energiewende et al. 2024] Agora Energiewende, ifok, BPIE (2024): Serielle Sanierung. Effektiver Klimaschutz in Gebäuden und neue Potenziale für die Bauwirtschaft.
- [Andrae et al. 2024] Andrae, Kathrin; Kühlein, Alena; Machleid, Lola; Wenz, Niclas; Zenzen, Jupp (2024): Deutsche Wirtschaft verliert den Anschluss. DIHK-Konjunkturumfrage Herbst 2024. Hg. v. Deutsche Industrie- und Handelskammer. Berlin.
- [Balling et al. 2024] Balling, Stephan; Brüßler, Lisa; Heine, Claudia; Heinrich, Alexander; Jeglinski, Nina; Kosfeld, Claus Peter et al. (2024): Bilanz zum Bündnis bezahlbares Wohnen. Wohnen, Stadtentwicklung, Bauwesen und Kommunen — Ausschuss — hib 881/2024. Hg. v. Parlamentsnachrichten Deutscher Bundestag. Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-1034674>, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [Bertram et al. 2019] Bertram, Nick; Fuchs, Steffen; Mischke, Jan; Palter, Robert; Strube, Gernot; Woetzel, Jonathan (2019): Modular construction: From projects to products. Hg. v. McKinsey & Company. Online verfügbar unter <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/modular%20construction%20from%20projects%20to%20products%20new/modular-construction-from-projects-to-products-full-report-new.pdf>, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [Büchel et al. 2024] Büchel, Jan (IW); Bakalis Dennis (IW); Scheufen, Marc (IW); Schmitz, Edgar (IW) (2024): Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland. Digitalisierungsindex 2023. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Berlin.
- [CBRE 2023] CBRE (2023): Wohnungsbau ist in Deutschland teurer als in vielen anderen europäischen Ländern. Online verfügbar unter <https://news.cbre.de/wohnungsbau-ist-in-deutschland-teurer-als-in-vielen-anderen-europaeischen->

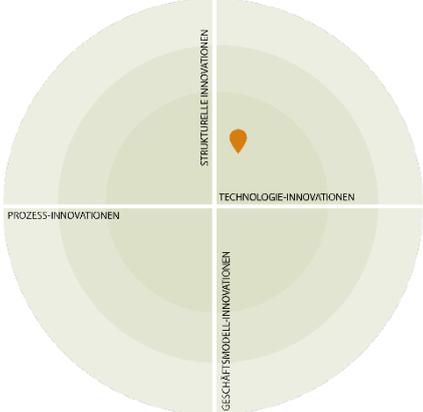
laendern/#%20kosten%20in%20Deutschland%205.150,Steuern%20und%20%C3%B6ffentliche%20Abgaben%20verursacht., zuletzt geprüft am 04.04.2025.

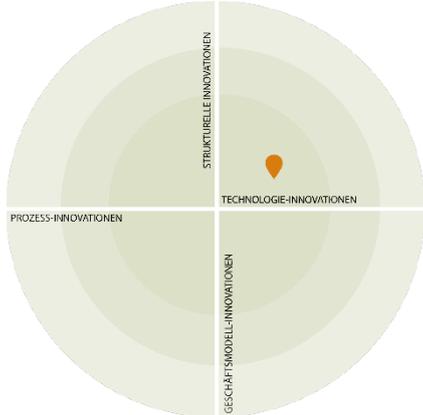
- [Deutscher Bundestag 1997] Deutscher Bundestag (1997): Entschließungsantrag zu der Unterrichtung durch die Bundesregierung Drucksachen 13/2247, 13/7465. Online verfügbar unter <https://dserver.bundestag.de/btd/13/074/1307499.pdf>, zuletzt geprüft am 12.05.2025.
- [Deutsche Forschungsgemeinschaft 2024] Deutsche Forschungsgemeinschaft (2024): Jahresbericht 2023. Online verfügbar unter <https://www.dfg.de/resource/blob/336226/3abb5950d9eee7540d13396e81b91b48/dfgjb2023-data.pdf>, zuletzt geprüft am 04.04.2025.
- [DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2025] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2025): FAQ zum Thema Bauen und Normen. Online verfügbar unter <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/baukosten-normen>, zuletzt geprüft am 04.04.2025.
- [DWW-Fachkommission HySteel und Wirtschaftsvereinigung Stahl 2025] DWW-Fachkommission HySteel und Wirtschaftsvereinigung Stahl (2025): Absicherung von Wasserstofflieferungen an die deutsche Industrie. Lösungsvorschläge zur finanziellen Absicherung. Online verfügbar unter <https://dww-info.de/wp-content/uploads/2025/03/202503014-HySteel-Positionspapier.pdf>, zuletzt geprüft am 29.04.2025.
- [Ellen MacArthur Foundation 2024] Ellen MacArthur Foundation (2024): Building Prosperity. Unlocking the potential of a nature-positive, circular economy for Europe. Online verfügbar unter <https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/62e7613596a2d12f/original/Building-Prosperity-July-2024.pdf>, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [Fraunhofer IBP 2025] Fraunhofer IBP (2025): Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN für das Bundeswirtschaftsministerium. Online verfügbar unter <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/projekte-referenzen/begleitforschung-energie-wendebauen.html>, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [Friembichler et al. 2016] Friembichler, Felix; Handler, Simon; Krec̃, Klaus; Kuster, Harald (2016): Thermische Bauteilaktivierung. Energiespeicher Beton - Planungsleitfaden Einfamilien- und Reihenhäuser. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.
- [Grand View Research 2025] Grand View Research (2025): Green Building Materials Market Size, Share & Trends Analysis Report By End-use (Residential, Commercial, Industrial), By Product (Exterior Products, Interior Products, Building Systems, Solar Products), By Region, And Segment Forecasts, 2025 - 2030. Online verfügbar unter <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/green-building-materials-market>, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [Meyer Turku OY 2023] Meyer Turku OY (2023): Icon of the Seas. Online verfügbar unter https://www.meyerturku.fi/en/ships/icon_of_the_seas.jsp, zuletzt geprüft am 28.04.2025.

- [Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg 2023] Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg (2023): Energie- und Klimaschutzkonzept für Landesliegenschaften 2030. Online verfügbar unter https://fm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-fm/intern/Publikationen/230711_EuK.pdf, zuletzt geprüft am 13.05.2025.
- [Mordor Intelligence 2024] Mordor Intelligence (2024): Marktgrößen- und Marktanteilsanalyse für Bauroboter – Wachstumstrends und -prognosen (2024 – 2029). Online verfügbar unter <https://www.mordorintelligence.com/de/industry-reports/construction-robots-market?>, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [Statistisches Bundesamt 2025] Statistisches Bundesamt (2025): Verteilung der Bruttowertschöpfung in Deutschland nach Wirtschaftsbereichen im Jahr 2024. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36846/umfrage/anteil-der-wirtschaftsbereiche-am-bruttoinlandsprodukt/>, zuletzt geprüft am 04.04.2025.
- [UNEP 2022] UNEP (2022): 2022 Global Status Report for Buildings and Construction. Online verfügbar unter <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [UN-Habitat 2022] UN-Habitat (United Nations Human Settlements Programme) (2022): World Cities Report 2022. Online verfügbar unter https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf, zuletzt geprüft am 26.03.2025.
- [Witsch 2020] Witsch, Kathrin (2020): Klimakiller Beton. So will die deutsche Zementindustrie CO₂-neutral werden. Hg. v. Handelsblatt. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/klimaschutz-klimakiller-beton-so-will-die-deutsche-zementindustrie-co2-neutral-werden-/26652040.html>, zuletzt geprüft am 12.05.2025.

Anhang

A.1 Steckbriefe zum Fokusthema Baustoffe (Beton und Stahl)

RC-Beton	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Bei dem Baustoff RC-Beton (Recyclingbeton) handelt es sich um einen klassischen Beton, der in seiner Rezeptur in Anteilen auf eine Gesteinskörnung zurückgreift, die schon ein Vorleben hatte und aus der Aufbereitung insbesondere von Bauschutt stammt.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Potenzielle Kosteneinsparungen durch Nutzung regional verfügbarer RC-Gesteinskörnung. ▪ Wirtschaftliche Anreize durch Förderprogramme, die finanzielle Unterstützung für Materialbeschaffung und Erstprüfung bieten. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ersatz von bis zu 25–45 % der Gesteinskörnung durch RC-Gestein schont natürliche Rohstoffvorkommen. ▪ Rückgriff auf recycelte Baustoffe trägt zur Kreislaufwirtschaft bei und reduziert Deponiemengen. ▪ Primärmaterialien wie Sand in Körnungen < 2 mm müssen weiterhin verwendet werden.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Erhöhung des Zementgehalts erforderlich, wodurch klimaschädliche Emissionen begrenzt bleiben. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Einführung in Betonwerke ist durch vorhandene Normen (DIN EN 206-1, DIN 1045-2) gut planbar. ▪ Die Verfügbarkeit von RC-Gestein und kurze Transportwege sind entscheidend für eine erfolgreiche Skalierung.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schwankungen in der Gesteinsqualität können zu einem höheren Zementbedarf führen, was die Umweltbilanz negativ beeinflussen könnte. ▪ Kurze Lieferwege sind essenziell, um die ökologischen Vorteile von R-Beton voll auszuschöpfen. 	
Best Practices	
<p>Ein Förderprogramm des Landes Baden-Württemberg unterstützt die Beschaffung von rezyklierter Gesteinskörnung (mit oder ohne CO₂ beaufschlagt), die zur Herstellung von R-Beton verwendet wird. Darüber hinaus ist auch die Beschaffung von Gesteinskörnung, die über eine Nassklassierung gewonnen wurde, förderfähig. Zudem wird die Erstprüfung unterstützt, die Unternehmen bei einer erstmaligen Herstellung von R-Beton vornehmen müssen. Die Zuwendung beträgt mindestens 20.000 € und maximal 100.000 € pro Unternehmen.</p>	

Recarbonatisierungs-Technologie für R-Beton	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Durch die Aufspaltung von Betonbruch aus abgerissenen Bauwerken in seine wertvollen Grundbestandteile, wird ermöglicht Kohlenstoffdioxid dauerhaft im Material zu binden. Aus der Zersetzung von Betonbrechsand und der Bindung von biogenen/ fossilen Kohlenstoffdioxid entsteht erneut verwertbare Gesteinskörnung, hochreines Calciumcarbonat (PCC) und puzzolanisch-reaktive Stoffe. Diese Materialien werden gezielt weiterverwendet: Sand für neue Bauvorhaben, das reaktive Material als Zusatzstoff im Beton, und Calciumcarbonat als Füllstoff oder Pigment. Dabei kann CO₂ auch aus anderen industriellen Prozessen gewonnen werden – etwa aus Biogasanlagen – und nach Verflüssigung zur Baustoffverwertung transportiert werden.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Die Technologie hat das Potenzial, Recyclingbeton nicht nur wirtschaftlicher, sondern auch wettbewerbsfähiger gegenüber Neuwere zu machen. Da die Erlöse aus hochwertigen Rezyklaten den Neuwert übersteigen, wird echtes Upcycling realisiert. Durch den Verkauf von CO₂-Credits, die in der EU oder auf dem globalen Offsetmarkt handelbar sind, entstehen weitere Einnahmequellen, was die Wirtschaftlichkeit steigert. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Die gezielte Rückführung und Bindung von Kohlenstoff im Recyclingprozess leistet einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcenschonung und zu einem geschlossenen Kreislauf im Bauwesen. Die dauerhafte Einlagerung von Kohlendioxid zum Beispiel in Kalksandsteinprodukten bietet erhebliche Potenziale und könnte der Kalksandsteinindustrie ermöglichen, das Ziel der Klimaneutralität sogar noch vor 2045 zu erreichen.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Recarbonatisierung von R-Beton bietet eine emissionsfreie und klimaneutrale Aufbereitungsmethode, die erheblich zur Reduktion der CO₂-Emissionen beiträgt. Indem CO₂ im Material dauerhaft gebunden wird, fungiert dieser Recyclingbeton als CO₂-negativer Baustoff, wodurch nicht nur der direkte Baustoffkreislauf, sondern auch CO₂-intensive Wertschöpfungsketten klimaneutral gestaltet werden können. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Dies könnte die Kostenstruktur langfristig senken und die Akzeptanz sowie Skalierbarkeit von Recyclingbeton als nachhaltige Alternative für die Baustoffindustrie vorantreiben.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> Die Technologie setzt auf die Verfügbarkeit von CO₂, das idealerweise kostengünstig und in großen Mengen aus industriellen Prozessen wie Biogasanlagen gewonnen wird. Ein logistischer Engpass oder hohe Transportkosten für verflüssigtes CO₂ könnten die Wirtschaftlichkeit der Technologie einschränken. Da recycelter Beton in variablem Zustand und aus unterschiedlichen Quellen stammt, kann die Qualität und Reinheit der zurückgewonnenen Materialien variieren. Schwankende Materialqualitäten könnten die einheitliche Verwendung der Rezyklate erschweren und zusätzliche Prozesse zur Qualitätskontrolle erfordern. 	

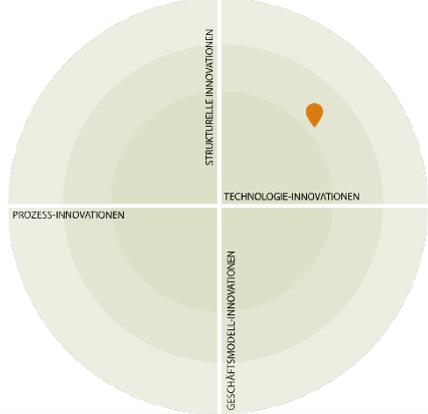
Best Practices
<p>neustark AG Bern, Schweiz</p> <p>CO₂ aus der Atmosphäre wird dauerhaft in Abbruchbeton gespeichert. Das Unternehmen arbeitet mit Biogasanlagen und Baustoffrecyclern zusammen, um CO₂ abzufangen und in Beton zu mineralisieren. Dies führt zu wichtigen Negativemissionen und unterstützt Unternehmen bei der Erreichung ihrer Klimaziele.</p>
<p>Co-reactive GmbH Düsseldorf</p> <p>CO₂ wird zur Mineralisierung in einem proprietären Reaktor genutzt. Dabei wird CO₂ aus der Atmosphäre oder industriellen Prozessen eingefangen und mit calcium- und magnesiumhaltigen Materialien zu festen Karbonaten verarbeitet. Diese Karbonate können als Zementersatz in der Bauindustrie verwendet werden, was zur Reduktion der CO₂-Emissionen beiträgt.</p>
<p>Forschung</p> <p>Rement spezialisiert sich auf das CO₂-negative Upcycling von Beton. Es werden Betonbrechsände aus Abbruchbeton unter Bindung von CO₂ zersetzt. Die gewonnenen Materialien, wie Sand und Calciumcarbonat, können wiederverwendet werden, was zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen und einer effizienteren Ressourcennutzung führt.</p>

Misch-/ Produktionsoptimierung	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Die KI-generierte Mischoptimierung bietet eine innovative Methode, Betonrezepturen durch präzise Berechnungen und Dosierungen zu optimieren. Dadurch kommt es zu einer effizienteren Nutzung von Rohstoffen. Die zusätzliche Reduktion von Abfall- und CO₂-Emissionen führt zu Kosteneinsparungen.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p>
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Investitionskosten in die Software amortisieren sich schnell durch das Vermeiden von CO₂-Zertifikatsgebühren und durch Einsparungen bei den Rohstoffen. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Präzise Dosierung minimiert Materialverbrauch und Abfall, wodurch Ressourcen geschont werden. Integration von Recyclingmaterialien wird erleichtert, wodurch die Nachfrage nach primären Rohstoffen sinkt.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Reduzierung des Bedarfs an Zement und anderen CO₂-intensiven Materialien durch optimierte Rezepturen. Verringerung des CO₂-Fußabdrucks pro Kubikmeter Beton (z. B. Amazon-Tower Berlin). 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Potenzial für breite Anwendung in der Betonherstellung durch Automatisierung und Effizienz. Schnelle Anpassung an verschiedene Betonrezepturen und Produktionsstandorte.

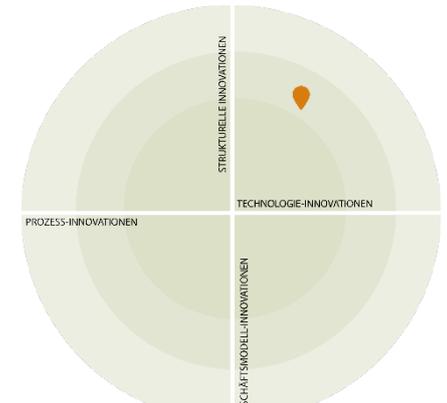
nur 130 kg CO ₂ im Vergleich zu über 300 kg bei herkömmlichem Beton).
Hemmnisse der Innovation
<ul style="list-style-type: none"> Positive Effekte wurden bislang vor allem in technischen Bauwerken (insbesondere Asphaltproduktion und im Straßenbau) erreicht. Die Qualität der Optimierung hängt stark von der Datenmenge und -genauigkeit ab, die in die KI eingespeist wird. Fehlerhafte oder unzureichende Daten können zu unzuverlässigen Rezepturen und damit zu qualitativen Problemen im Beton führen. Beispiel: Betrachtet man die Prozesse zwischen den Transportbetonherstellern und den bestellenden Bauunternehmen, wird deutlich, dass der Informationsaustausch zwischen zahlreichen Akteuren stattfindet, deren Daten und Wissen im Handelsprozess geteilt werden müssen. Rund 1.900 Transportbeton-Werke und etwa 79.000 Betriebe im Bauhauptgewerbe in Deutschland zeigen, wie entscheidend eine klare und effiziente Kommunikation zwischen den Beteiligten ist.
Best Practices
<p>Alcemy GmbH Berlin</p> <p>Das Unternehmen entwickelt KI-basierte Softwarelösungen für die Zement- und Betonindustrie. Ihr Ziel ist es, die Produktion nachhaltiger zu gestalten, indem sie die Produktionsqualität prädiktiv steuern. Dies führt zu einer gleichmäßigeren Herstellung, reduziert die Produktionskosten und senkt den CO₂-Fußabdruck. Alcemy unterstützt Zement- und Betonhersteller beim Übergang zur Klimaneutralität.</p> <p>Sonocrete GmbH Cottbus</p> <p>Sonocrete nutzt Ultraschalltechnologie in der Betonproduktion, um die Frühfestigkeit des Betons zu erhöhen. Dadurch kann der Zementgehalt reduziert und die CO₂-Emissionen gesenkt werden. Das Verfahren beschleunigt die Hydratationsreaktion des Betons, was zu einer schnelleren Aushärtung und besseren Qualität führt.</p>

Zementfreie Betone (Geopolymere und Calcinierte Tone)	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Während man für die Herstellung herkömmlicher Baustoffe wie Zement oder Gips auf primäre Rohstofflager angewiesen ist, können für die Produktion alkalisch aktivierter Bindemittel kommunale Restmassen oder industrielle Nebenprodukte wie Aschen, Schlacken oder Stäube genutzt werden – ein aktiver und nachhaltiger Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen. Die Erhärtung anorganischer Binder erfolgt durch eine alkalieninduzierte Reaktion von aluminiumhaltigen Silikaten (Alumosilikate).</p> <p>Calcinierte Tone gehören auf Grund der weltweiten Verfügbarkeit der Rohtone zu den vielversprechendsten alternativen Zementersatz-/Betonzusatzstoffen.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p>
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Herstellungskosten von Geopolymer-Beton variieren stark je nach Rohstoffzusammensetzung. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Nutzung von industriellen Nebenprodukten anstelle von Primärrohstoffen zur Reduzierung des Materialbedarfs.

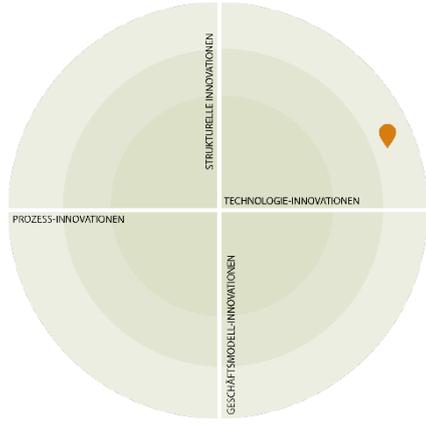
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hauptkostentreiber sind Aktivatoren wie Natrium-Wasserglas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Beständigkeit gegenüber chemischen und physikalischen Einwirkungen erhöht die Langlebigkeit. ▪ Besonders geeignet für den Außenbereich und chemisch stark beanspruchte Anwendungen, z. B. Fassadenplatten und Abwasserrohre.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geopolymere emittieren deutlich weniger CO₂ als herkömmliche Zemente (0,6 Tonnen CO₂ pro Tonne Zement). ▪ Verwendung von Supplementary Cementitious Materials (SCM) wie Hüttensand, Flugasche oder Metakaolin, die nur geringe CO₂-Emissionen verursachen. ▪ CO₂-Emissionen entstehen hauptsächlich bei der Herstellung der Aktivatoren (z. B. Alkali-Wasserglas oder Alkalihydroxid). ▪ Die thermische Aktivierung von calcinierten Tonen setzt im Vergleich zur Zementherstellung nur etwa ein Viertel an Treibhausgasen frei, da der Prozess bei deutlich niedrigeren Temperaturen abläuft. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wirtschaftlich konkurrenzfähig mit herkömmlichem Beton, aber Optimierungspotenzial vorhanden. ▪ Anpassung der Bauprozesse und Rezepturen erforderlich, um eine breitere Marktdurchdringung zu ermöglichen. ▪ EN 197-5 erlaubt Einführung neuer, CO₂-armer Kompositzemente in Europa. Dadurch werden höhere Klinkersubstitution und Kombination unterschiedlicher Zementhauptbestandteile möglich. Außerdem befinden sich neue EN-Spezifikationen für calcinierten Ton und natürliche Puzzolane zur Verwendung als Betonzusatzstoffe in der Entwicklung (CEN/TC 104/WG 20 - New constituents for concrete), sowie die Bestrebungen hin zu "leistungsbasierten" Nachweisen (z.B. ASTM WK70466).
<p>Hemmnisse der Innovation</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Versorgung mit Flugasche und Schlacke könnte durch Änderungen in der Industrie beeinträchtigt werden, was die Materialverfügbarkeit für Geopolymere unsicher macht. ▪ Langzeitstudien sind begrenzt, sodass die Langzeitbeständigkeit und strukturelle Stabilität unter verschiedenen Umweltbedingungen noch vollständig bewiesen werden müssen. ▪ Anpassungen in der Produktion und ggf. Änderungen in der Zulieferkette können höhere Anfangskosten mit sich bringen, wenn regionale Verfügbarkeiten berücksichtigt werden. 	
<p>Best Practices</p>	
<p>Bauprojekt</p> <p>In Norderstedt werden beim Pilotprojekt „UBS4“ 71 klimaschonende Sozialwohnungen im Rahmen der städtebaulichen Gesamtentwicklung „4HÖFE“ gebaut. Die Gebäude werden in Holzskelettbauweise auf Geopolymerbeton errichtet – eine Bauweise, die das Projekt im Norden Deutschlands zu einem landesweiten Vorzeigeobjekt macht. Dabei werden die Gebäude auf einem Stahlbetonsockel aus Geopolymerbeton errichtet und auch die standardisierten Fertigteilelemente wurden aus Geopolymer gefertigt. Um das Bindemittel zur Herstellung des zementfreien Betons zu aktivieren, wurde ein pulverförmiger DIBt-zugelassener Aktivatoren Compound der MC eingesetzt.</p> <p>Forschung</p> <p>Das Forschungsprojekt TOFFEE (Aufbereitung und Aktivierung von Tonböden für ressourceneffiziente Geopolymer-Baustoffe) zielt darauf ab, tonhaltige Böden zu nutzen, um nachhaltige Baumaterialien zu entwickeln. Das Hauptziel des Projekts ist die Reduzierung der CO₂-Emissionen und die Nutzung von Tonböden als Ersatz für konventionelle Baumaterialien. Hierbei werden Technologien wie die Kombination von calcinierten Tonen und alkalisch aktivierten Bindemitteln eingesetzt. Diese Materialien werden zur Herstellung von Geopolymer-Baustoffen für verschiedene Bauzwecke verwendet, darunter Straßenunterkonstruktionen, Verfüllbaustoffe und Innenausbau-Baustoffe. Der Prozess umfasst die Behandlung und Aktivierung von tonhaltigem Material durch Calcinierung nach geotechnischer Untersuchung.</p>	

Biokohlenstoffe in Beton	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Die Integration von Biokohlenstoffen in Betonrezepturen bietet eine Lösung, indem sie CO₂ bindet und nachhaltige, erneuerbare Materialien nutzt. Biokohlenstoffe können die Haltbarkeit und Festigkeit des Betons verbessern, was die Lebensdauer von Bauwerken verlängert und den Materialverbrauch reduziert.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Herstellungskosten von Betonen mit Biokohlenstoffen variieren stark je nach Prozess und Rohstoffverfügbarkeit. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Durch Pyrolyse (pyrolytische Karbonisierung) entstehen aus biogenen Abfällen – zum Beispiel Reststoffen aus Sägewerken, der Forstwirtschaft oder der Lebensmittelproduktion – unter Ausschluss von Sauerstoff hochwertige Biokohlenstoffe. Diese werden zu CO₂-negativen Zuschlägen weiterverarbeitet, die im Werk oder auf der Baustelle dem Beton zugemischt werden.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Wenn ein Teil des Zements durch Biokohle ersetzt wird, sinkt die Menge des verwendeten Zements, was wiederum die CO₂-Emissionen verringert. Darüber hinaus speichert Biokohle etwa 50 % des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs und hilft so zu vermeiden, dass Kohlendioxid in die Atmosphäre freigesetzt wird. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Um einen zählbaren Effekt erzielen zu können, müssen die Anlagen zur pyrolytischen Karbonisierung dezentral und in einem großen Maßstab etabliert werden.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> Die Einführung und Produktion neuer Materialien wie Biokohlenstoffen könnte Anfangsinvestitionen erfordern, insbesondere in die Umstellung der Herstellung. Die Versorgung mit Biomasse muss nachhaltig gewährleistet sein; bei Schwankungen könnte die Verfügbarkeit und der Preis beeinflusst werden. Da Biokohlenstoffe ein relativ neues Material in der Betonindustrie sind, müssen regulatorische Hürden abgebaut, und fehlende Standards erarbeitet werden. Die Einsparung, die durch den Einsatz von Biokohlenstoffen in der Bauindustrie erzielt werden können, sollten aber nicht „zu Lasten“ anderer Sektoren (z.B. Landwirtschaft) gehen. 	

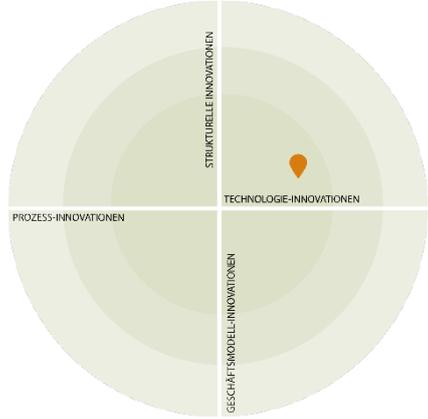
<p>Best Practices</p> <p>ecoLocked GmbH Berlin</p> <p>Das Unternehmen entwickelt Lösungen für den Bau von klimafreundlichen Gebäuden und Infrastrukturen, indem sie gebundenen Kohlenstoff in funktionale Materialien umwandeln. Der Hauptfokus liegt auf der Verwendung von Biokohle, einem stabilen kohlenstoffhaltigen Material, das aus der Biochar Carbon Removal (BCR)-Technologie gewonnen wird. Die Produkte, wie biokohle-basierte Betonzusatzstoffe, binden Kohlenstoff dauerhaft in Gebäuden und reduzieren gleichzeitig den Bedarf an Zement und Sand.</p> <p>carbonauten GmbH Giengen an der Brenz</p> <p>Entwicklung und Produktion CO₂-negativer Materialien in dezentralen Fabriken. Sie nutzen Biokohlenstoffe und Bioöle, die aus holzigen Biomasseresten durch pyrolytische Karbonisierung gewonnen werden. Diese Materialien, genannt NET-Materials® (Negative Emission Technology), binden dauerhaft CO₂ und dienen als Vorprodukte für verschiedene Industrien wie Kunststoff, Chemie, Agrar und Bau. Ein Merkmal der Technologie ist die Fähigkeit, bis zu 3,67 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Tonne Biokohlenstoff zu binden. Neben den Biokohlenstoffen entstehen auch Pyrolyseöle und Synthesegas, die weiterverarbeitet oder zur Energiegewinnung genutzt werden.</p>

Nichtmetallische Bewehrung, z.B. Carbonbeton	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Die Integration von Biokohlenstoffen in Betonrezepturen bietet eine Lösung, indem sie CO₂ bindet und nachhaltige, erneuerbare Materialien nutzt. Biokohlenstoffe können die Haltbarkeit und Festigkeit des Betons verbessern, was die Lebensdauer von Bauwerken verlängert und den Materialverbrauch reduziert.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p>  <p>The diagram is a circular radar chart divided into four quadrants: 'STRUKTURELLE INNOVATIONEN' (top), 'TECHNOLOGIE-INNOVATIONEN' (right), 'GESCHAFTSMODELL-INNOVATIONEN' (bottom), and 'PROZESS-INNOVATIONEN' (left). A small orange dot is located in the 'TECHNOLOGIE-INNOVATIONEN' quadrant, indicating the current position of the technology.</p>
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Aufgrund der deutlich niedrigeren Gewichte und Volumina der Carbonbetonbauteile sind die Transport- und Montagekosten dieser Fertigteile nur etwa halb so hoch wie die der Stahlbetonfertigteile. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Ein Vorteil von Carbonbewehrung gegenüber herkömmlicher Stahlbewehrung liegt in ihrer Korrosionsbeständigkeit, die eine deutlich längere Lebensdauer von Betonkonstruktionen ermöglicht. Da Carbon im Gegensatz zu Stahl keinen Schutz vor Korrosion benötigt, kann die Betonüberdeckung, die bei Stahlbeton mehrere Zentimeter beträgt, auf wenige Millimeter reduziert werden. Dadurch werden wesentlich dünnere Konstruktionen möglich, was zu Materialeinsparungen von über 50 % führen kann.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> CO₂-Einsparungen ergeben sich durch den geringeren Materialeinsatz von Beton bei nichtmetallischen Bewehrungen. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Carbonbetonbauteile können nur dann kostengünstiger werden, wenn die Materialpreise für

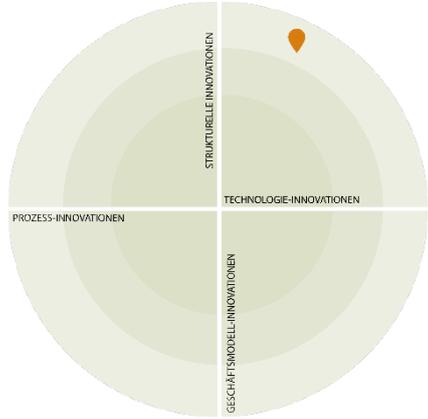
	die Carbonbewehrung im Vergleich zu Stahlbetonbauteilen sinken.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Produktions- und Materialkosten für Carbonbeton sind (aktuell noch) höher als bei herkömmlichem Beton, was abschreckend für einige Bauherren sein könnte. ▪ Da Carbonbeton noch relativ neu ist, könnten Bedenken hinsichtlich der Langzeitperformance und der Verfügbarkeit von Fachwissen bestehen. ▪ Der Einsatz neuer Materialien muss oft regulatorische Genehmigungen durchlaufen, was zu Verzögerungen führen kann. 	
Best Practices	
Verband Zu den Hauptaufgaben des C³Verbandes zählen, die teils noch vorhandenen Hürden, die einer flächendeckenden Nutzung im Weg stehen, fachlich und wissenschaftlich untermauert zu überwinden und die breite Anwendung somit zu ermöglichen. Die Informations- und Wissensvermittlung, der Technologietransfer sowie die internationale Ausweitung der Aktivitäten sind dabei Kernpunkte der Arbeiten im C ³ Verband.	

3D-Druck von Betonbauteilen in Verbindung mit Gradientenbeton	
<u>Kurzbeschreibung</u> Gradientenbeton ist ein innovativer Ansatz zur optimalen Verteilung des Betonvolumens innerhalb eines Bauteils, der darauf abzielt, Materialeinsparungen und Gewichtsreduktion zu ermöglichen. Durch die gezielte Integration von Poren im Betonvolumen werden die Materialeigenschaften – wie Festigkeit, Dichte, Steifigkeit oder Wärmeleitfähigkeit – so angepasst, dass der Beton genau dort platziert wird, wo er statisch benötigt wird, z.B. mithilfe 3D-Drucktechnologie. Die Anpassung der Steifigkeit erfolgt entweder durch die Verwendung von Beton mit unterschiedlichen Materialeigenschaften (Mikrogradierung) oder durch die gezielte Einbringung mineralischer Hohlräume (Mesogradierung), oft auch durch eine Kombination beider Methoden.	<u>Position im Innovationsradar</u> 
Nutzen der Innovation	
<u>Bezahlbarkeit</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufgrund der Neuartigkeit der Technologie sind die Kosten für Projekt derzeit noch sehr hoch. 	<u>Ressourceneffizienz</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die technologiegestützte, beanspruchungsgerechte Gestaltung des Beton- und Bewehrungsaufbaus ermöglicht eine erhebliche Reduzierung des Materialeinsatzes bei tragenden Stahlbetonbauteilen. Die daraus resultierende Gewichtsreduktion verringert die Materialanforderungen für das gesamte Tragwerk, einschließlich der weiterlastenden Bauteile bis hin zur Gründung.
<u>CO₂-Ausstoß</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ CO₂-Einsparungen ergeben sich durch den geringeren Materialeinsatz von herkömmlichem Beton. 	<u>Skalierbarkeit</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Fokus aktueller Forschungen liegt auf der Entwicklung von Methoden für die Serienproduktion der Hohlkörper, einer vollautomatisierten Fertigung und der rechtlichen Zulassung, um

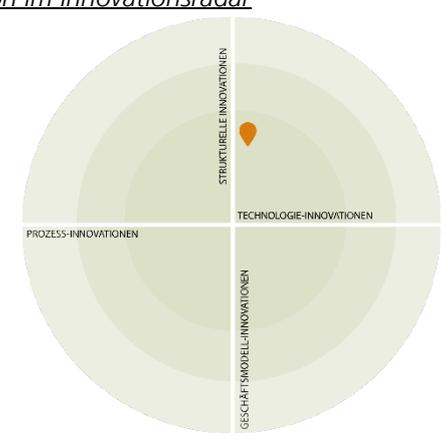
	diese Technologie bald flächendeckend im Bauwesen einzusetzen.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die präzise Gestaltung und Fertigung von Gradientenbeton oder Hohlkörpern erfordert spezialisierte Technologien und maschinelle Ausstattung, die hohe Anschaffungskosten und betrieblichen Aufwand mit sich bringen könnten. Für viele Bauunternehmen könnte dies wirtschaftlich schwer umsetzbar sein. ▪ Die Verwendung spezieller Materialmischungen und -strukturen setzt eine konstante Verfügbarkeit der entsprechenden Materialien und strikte Einhaltung der Standards voraus. Schwankungen in den Materialeigenschaften könnten die Qualität und Sicherheit der Bauteile beeinträchtigen. ▪ Da es sich um eine innovative Bauweise handelt, ist eine umfassende Prüfung und Zertifizierung notwendig, was den Planungs- und Genehmigungsaufwand erhöhen kann. Unvorhergesehene Mängel könnten die Genehmigungsfähigkeit in Frage stellen und zu Haftungsrisiken führen. 	
Best Practices	
Bauprojekt	
<p>In Österreich wurde erstmals eine gewichtsoptimierte Decke durch den Einsatz von 3D-gedruckten Hohlkörpern realisiert. Solche leichten Decken gab es bisher nur für kleinere Projekte, doch nun wurden bemerkenswerte Fortschritte in Länge und Spannweite erzielt. Am neuen Bauhof in Bludenz konnte eine Fläche von 717 Quadratmetern, eine Länge von 46 Metern und eine Spannweite von 14 Metern umgesetzt werden. Dies führte zu einer Einsparung von einem Drittel des Beton- und Stahlbedarfs sowie einer Reduktion der CO₂-Emissionen um insgesamt 25 Prozent. Diese Decke ist die weltweit größte ihrer Art und kombiniert erhebliche Materialeinsparungen mit einer leichten Rückbaubarkeit für zukünftige Nutzungsanpassungen. Möglich machen das „Verdrängungskörper“ des Start-up-Unternehmens Concrete 3D.</p>	

Betonteilaktivierung	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Thermische Bauteilaktivierung, auch bekannt als Betonkern- oder Baukernaktivierung, bezeichnet ein Klimatechniksystem, das Gebäudemassen zur Temperaturregulierung nutzt. Diese Technik kann entweder allein oder ergänzend zur Kühlung eines Gebäudes eingesetzt werden und gelegentlich auch zur Beheizung. Dabei werden vor dem Gießen von Betondecken, -wänden oder Bohrpfählen Rohrleitungen in die Schalung oder das Bohrloch eingebracht, meist aus Kunststoff und teils in Form von Kapillarrohrmatten. Durch diese Leitungen zirkuliert Wasser als Heiz- und Kühlmedium, und die durchströmte massive Gebäudestruktur dient als Wärmespeicher, um eine gleichmäßige Temperierung zu gewährleisten.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Da die technische Gebäudeausstattung bereits in die Deckensysteme integriert ist, entfallen zusätzliche Installationsarbeiten und die damit verbundenen Kosten. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Kühlfunktion der thermischen Bauteilaktivierung stellt bereits heute, auch bei Wohngebäuden, einen wertvollen und oft notwendigen Beitrag zur Sicherstellung eines ganzjährig hohen thermischen Komforts dar. Angesichts des fortschreitenden Klimawandels wird dieses Thema in naher Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.

<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Die Betonteilaktivierung ermöglicht eine effizientere Nutzung von Wärmeenergie, was den Energieverbrauch und damit verbundene CO₂-Emissionen reduziert. Durch die Reduzierung des Bedarfs an separaten Heizungs- und Kühlsystemen werden die mit ihrer Nutzung verbundenen Treibhausgasemissionen verringert. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Die Betonteilaktivierung kann in einer Vielzahl von Bauwerken eingesetzt werden, von Wohn- und Bürogebäuden bis hin zu Industrieanlagen und öffentlichen Einrichtungen.
<p>Hemmnisse der Innovation</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Die Integration des Rohrsystems in Bauteile erfordert präzise Planung und fachkundige Installation. Fehler in der Verlegung oder ungenaue Berechnungen können die Effizienz beeinträchtigen und Reparaturen sehr aufwendig machen. Im Falle von Lecks oder anderen Schäden am Rohrsystem kann die Reparatur sehr kostspielig und aufwendig sein, da betroffene Bauteile geöffnet oder neu gegossen werden müssen. Ähnliches gilt für das Recycling der Bauteile. 	
<p>Best Practices</p>	
<p>Innogration GmbH Bernkastel-Kues</p> <p>Das Unternehmen entwickelt und produziert Deckensysteme mit integrierter Gebäudetechnik. Durch die thermische Bauteilaktivierung wird die in den Betondecken gespeicherte thermische Energie genutzt, um Räume zu heizen oder zu kühlen. Dies führt zu einer erheblichen Reduktion des Energieverbrauchs und trägt zur Schaffung eines angenehmen Raumklimas bei. Gleichzeitig wird der Betonverbrauch um bis zu 40% reduziert, was die Nachhaltigkeit des Bauprozesses weiter erhöht.</p>	

<p>Hochofenroute mit Wasserstoff</p>	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Die klassische Hochofenroute ist besonders komplex, weil sie Kohle gleichzeitig als Reduktionsmittel, Stützgerüst, Drainage und Energiequelle nutzt. Beispielsweise wurden pro Tonne Roheisen etwa 330 Kilogramm Koks sowie zusätzlich 170 Kilogramm Einblaskohle benötigt. Diese Einblaskohle kann schrittweise durch Wasserstoff ersetzt werden. Zukünftig soll der Hochofen je nach Verfügbarkeit grünen Wasserstoff, Einblaskohle oder eine Mischung beider Reduktionsmittel nutzen. Die technische Herausforderung liegt darin, dass Wasserstoff im Vergleich zur Einblaskohle eine andere Reaktionskinetik hat, was bedeutet, dass er im Ofen anders und schneller reagiert. Zudem setzt Wasserstoff mehr Hitze frei als Kohle, wodurch die Blasformen einer höheren Belastung ausgesetzt sind.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
<p>Nutzen der Innovation</p>	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Die Investitionen in neue Technologien, wie die Koksgaseindüsungsanlage, sind zunächst hoch. Beispielsweise wurde eine Investition von 14 Millionen Euro getätigt. Langfristig können jedoch durch die Reduktion von 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Die Nutzung von Wasserstoff als Reduktionsmittel und die Anreicherung von Synthesegas mit Wasserstoff tragen zur Reduktion des Koksverbrauchs bei.

CO ₂ -Emissionen und den geringeren Einsatz von Koks Kosten eingespart werden.	
<u>CO₂-Ausstoß</u> <ul style="list-style-type: none"> Im Hochofenprozess wird wasserstoffreiches Koksgas eingedüst, wobei der Wasserstoff die Rolle des Kohlenstoffs als Reduktionsmittel und Energieträger übernimmt. Mit dieser neuen Anlage soll der CO₂-Ausstoß reduziert und wertvolle Erfahrungen im Einsatz von Wasserstoff in der Stahlproduktion gesammelt werden. Stahlproduzenten können ihre CO₂-Emissionen so um 40 Prozent senken und die Stahlherstellung vollständig auf Wasserstoff umstellen. 	<u>Skalierbarkeit</u> <ul style="list-style-type: none"> Stahlwerke können mit Koksgaseindüsungsanlagen nachgerüstet werden.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> Der Preisunterschied zwischen klimafreundlich produziertem Stahl und importierten, subventionierten Produkten könnte deutsche Hersteller wirtschaftlich stark belasten. Ohne Maßnahmen zur Energiekostensicherung könnte ein Teil der Industrie ins Ausland verlagern, was wiederum Beschäftigung und Wertschöpfung in Deutschland gefährdet. Die hohen Investitionskosten für die Umstellung sind für die Unternehmen allein schwer tragbar und könnten ohne stabile Rahmenbedingungen zu einem Stopp oder Verzögerungen der Umstellung führen. 	
Best Practices	
AG der Dillinger Hüttenwerke & Saarstahl AG Dillingen/Saar & Völklingen Die beiden Unternehmen sind führende Hersteller von Grobblechen sowie Stab- und Drahtprodukten. Sie setzen auf 100% recyclingfähigen Stahl. Ein zentraler Aspekt ihrer Strategie ist die Nutzung von Wasserstoff zur Reduzierung von CO ₂ -Emissionen, mit dem Ziel, bis 2050 klimaneutral zu produzieren. Ein Beispiel hierfür ist die „Koksgaseindüsungsanlage“, die hochwasserstoffreiches Koksgas als Reduktionsmittel verwendet. Zudem arbeiten sie an Innovationsprojekten wie „H2SYNGas“, das Synthesegas mit Wasserstoff anreichert, um den Koksverbrauch zu reduzieren und CO ₂ -Emissionen zu vermeiden.	

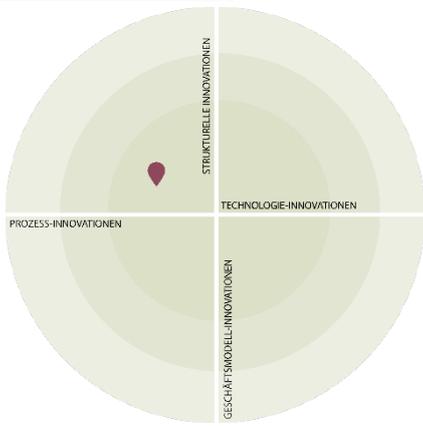
Direktreduktion (DRI) und Elektrolichtbogenofen (EAF)	
<u>Kurzbeschreibung</u> Im Hochofen wird Kokskohle genutzt, um aus Eisenerz Roheisen zu machen. Und wo Kohle eingesetzt wird, entsteht Kohlenstoffdioxid. Eine Direktreduktionsanlage (DRI-Anlage) kommt hingegen ohne Kokskohle aus. Heutige Aggregate nutzen für die Reduktion vor allem Erdgas und emittieren deshalb grob gerechnet nur halb so viel CO ₂ pro Tonne Stahl wie ein Hochofen. Für die Weiterführung der Prozesskette gibt es die Möglichkeit, Stahl im Elektrolichtbogen zu produzieren oder das direkt reduzierte Eisen im Elektrolichtbogenofen (EAF, electric arc furnace) einzuschmelzen und anschließend zu Stahl zu legieren.	<u>Position im Innovationsradar</u> 
Nutzen der Innovation	
<u>Bezahlbarkeit</u>	<u>Ressourceneffizienz</u>

<ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristig ist nicht mit einer Kostensenkung zu rechnen. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stahl niedriger Güte wird schon seit vielen Jahrzehnten per EAF aus Recycling verwendet, weil es per se effizienter war.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Prozessvorgang entspricht im Wesentlichen dem bereits für den Schrott eingesetzte Route über dem Elektrolichtbogenofen. Die Direktreduktion DRI kann aber den stark CO₂-belasteten ersten Hochofenprozess ersetzen. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Chance besteht darin, über diese Technologie in Verbindung mit der parallel bestehenden Route der Schrottverwertung über EAF eine durchgängige Kreislaufwirtschaft zu erzeugen.
<p>Hemmnisse der Innovation</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Umrüstung der Stahlwerke ist kostenintensiv. Als allgemeine Regel wird angenommen, dass der Aufbau der DRI-Route für jeden Hochofen mit einer Kapazität von 1 Million Tonnen Roheisen rund 1 Milliarde Euro kostet. ▪ Die Eisenerzrohstoffe werden knapp. Die Anforderungen an das Erz sind auf der DRI-Route hoch. Es muss erstens Reduktionsgas durchströmen lassen und zweitens mechanisch belastbar sein, sodass es auch bei Temperaturen knapp unter 1000 °C nicht erweicht. 	
<p>Best Practices</p> <p>Bauprojekt</p> <p>Die Hochbahn AG als Auftraggeber des Infrastrukturprojekts U5 in Hamburg hat für den Bewehrungsstahl anstelle des Branchendurchschnitts das Ziel von 0,5 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Tonne Bewehrungsstahl vorgegeben. Die Unternehmensgruppe SÜLZLE als Lieferant und Biegebetrieb konnte durch seine Beschaffungsressourcen diesen Grenzwert bereits heute schon erfüllen. Für das nächste Los der Beauftragung möchte die Hochbahn AG einen Wert von 0,4 Tonnen CO₂-Äquivalente erreichen, was mit aktuellen Lieferanten durch die SÜLZLE Gruppe auch für ein Projekt in dieser Größenordnung und Menge voraussichtlich möglich sein wird.</p>	

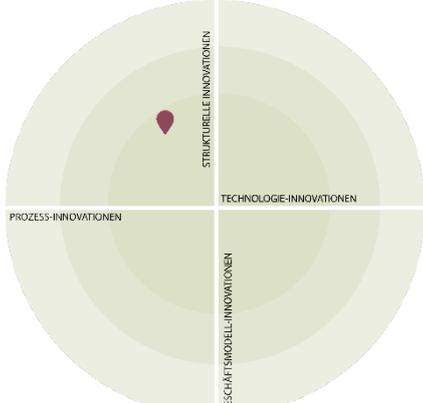
<p>Etablierung eines Klassifizierungssystems für Stahl (LESS)</p>	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Ein Klassifizierungssystem wie „LESS“ der Wirtschaftsvereinigung Stahl bietet eine Lösung für die Leitmärkte als ein zentraler Baustein zur Flankierung der Dekarbonisierung der Stahlindustrie, indem es Stahlprodukte nach ihrem CO₂-Fußabdruck klassifiziert. Dies fördert die Produktion und den Einsatz von emissionsarmem Stahl, erhöht die Ressourceneffizienz und unterstützt die Skalierbarkeit nachhaltiger Baupraktiken. Durch klare Standards und transparente Informationen wird die Transformation der Bauindustrie hin zu mehr Nachhaltigkeit beschleunigt. Die Schwellenwerte leiten sich aus dem Zielzustand „Near Zero“ ab.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p>
<p>Nutzen der Innovation</p>	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mit zunehmender Skalierung und Etablierung des Standards, sinken die Preise für Produkte besserer Emissionsklassen. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bewertet sowohl die Menge an CO₂-Emissionen pro Tonne Stahl als auch den Anteil an Schrottstahl auf einer Skala von der höchsten Stufe A bis zur niedrigsten Stufe D, was zur Erhöhung von Recyclingquoten beiträgt.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p>	<p><u>Skalierbarkeit</u></p>

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unternehmen werden motiviert, ihre Produktionsprozesse zu verbessern, um in eine bessere Emissionsklasse zu gelangen, was insgesamt zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen führt. Die Klassifizierung ermöglicht es, den CO₂-Fußabdruck verschiedener Stahlsorten besser zu überwachen und zu kontrollieren, was die Einhaltung von Emissionszielen unterstützt. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein Klassifizierungssystem wie "LESS" schafft einheitliche Standards, die leicht skaliert und in der gesamten Bauindustrie implementiert werden können, was die Transformation der Branche unterstützt. Mit klaren Klassifizierungen können Architekten und Bauherren einfacher nachhaltige Materialien auswählen, was die Skalierbarkeit nachhaltiger Baupraktiken fördert.
<p>Hemmnisse der Innovation</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Die standardisierte Definition für grünen Stahl nach LESS ist ein wichtiger erster Schritt, der bereits von den deutschen Herstellern und somit rund der Hälfte des gesamten europäischen Marktes unterstützt wird. Allerdings sollte dies nicht nur eine deutsche Insellösung bleiben. Um einen echten grünen Leitmarkt zu schaffen, ist eine breite Verankerung auf europäischer Ebene unerlässlich. 	
<p>Best Practices</p> <p>Die LESS-Klassifizierung bewertet sowohl die Menge an CO₂-Emissionen pro Tonne Stahl als auch den Anteil an Schrotstahl auf einer Skala von der höchsten Stufe A bis zur niedrigsten Stufe D. Damit werden zwei Ziele verfolgt: Einerseits soll der Wandel in der Primärstahlproduktion angeregt werden, andererseits soll die Nachfrage nach Schrotstahl gesteigert werden.</p>	

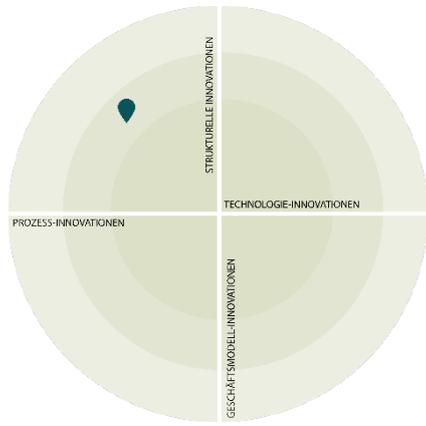
A.2 Steckbriefe zum Fokusthema Modulares Bauen

<p>Plug and Play-Funktionsmodule und das herstellerunabhängige Standardraster (BaWü-Raster)</p>	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Individuelle Baupläne sind oft kosten- und zeintensiv. Die Kombination von Plug and Play Systemen und dem herstellerunabhängigen BaWü-Raster setzt neue Maßstäbe für Effizienz, Flexibilität und Nachhaltigkeit im Bauwesen. Das BaWü-Raster ist ein standardisiertes, herstellerunabhängiges Planungsraster, das die Grundlage für modulare Bauweisen schafft. Es definiert flexible Grundmaße und Schnittstellen, die eine nahtlose Integration verschiedener Module – wie Plug and Play Systeme – ermöglichen. Plug and Play Systeme sind vorgefertigte, einsatzbereite Module, etwa für Nasszellen, Wohnräume oder sensorbestückte Räume. Diese Module lassen sich durch das Raster leicht in Gebäude einfügen, da Anschlussstellen und Abmessungen bereits abgestimmt sind.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
<p>Nutzen der Innovation</p>	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Standardisierte Module und Grundrisse ermöglichen Massenproduktion, geringere Planungsaufwände und reduzierte Entwicklungskosten. ▪ Integrierte Sensorik und Technologien minimieren Nachrüstkosten und Anpassungsaufwände nach der Bauphase. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plug and Play-Module können ersetzt oder recycelt werden, was den Bedarf an neuen Rohstoffen senkt und die Ressourceneffizienz steigert. ▪ Standardraster ermöglichen präzisen Zuschnitt und verringern Materialabfälle durch effiziente Planung und Ausführung.

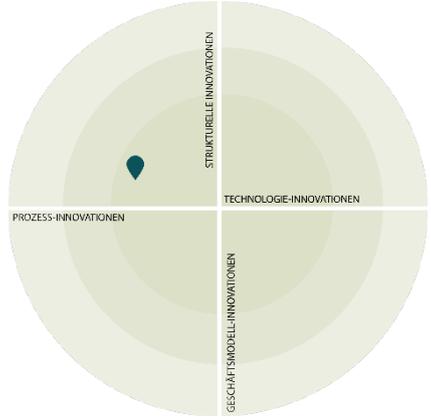
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Standardisierte Bauprozesse sind in der Regel effizienter und erzeugen weniger Abfall, was den CO₂-Ausstoß reduziert. ▪ Standardisierte Grundrisse erleichtern die Wiederverwendung und das Recycling von Materialien, was den CO₂-Fußabdruck der Bauprojekte verringert. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plug-and-Play-Systeme und Standard-Grundrisse reduzieren die Bauzeit durch vorgeplante und optimierte Abläufe, ideal für große oder dringende Projekte. ▪ Standardisierte Module können leicht auf verschiedene Bauanforderungen zugeschnitten werden, was die Skalierbarkeit erleichtert. ▪ -Bereits geprüfte und freigegebene Standard-Grundrisse ermöglichen eine zügigere Abwicklung von Genehmigungsprozessen und fördern die schnelle Umsetzung von Bauprojekten
<p>Hemmnisse der Innovation</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jedes Modulbau-Projekt erfordert separate statische Nachweise, was den Planungsaufwand und die Kosten erhöht. ▪ Die Notwendigkeit individueller Genehmigungen für jedes Modul erhöht die bürokratischen Hürden und verlangsamt den Bauprozess. ▪ Der Modulbau leidet unter einem negativen Image, das ihn mit minderwertiger Bauweise und dem Erbe des Plattenbaus verbindet. ▪ Die signifikant geringeren Planungskosten im Vergleich zu traditionellen Bauweisen werden oft nicht ausreichend berücksichtigt. ▪ Lange Lieferwege für Module machen den Modulbau ökologisch und ökonomisch weniger attraktiv. 	
<p>Best Practices</p>	
<p>Bundesverband Bausysteme e. V.</p> <p>Bonn</p> <p>Der Bundesverband Bausysteme ist ein Zusammenschluss führender deutscher Hersteller von Bauprodukt- und Raumsystemen. Ziel des Verbandes ist es, innovative Baukonzepte auf technischer und wissenschaftlicher Grundlage zu fördern. Dazu gehören unter anderem die Fachverbände „Bauprodukte Digital“ und „vorgefertigte Raumsysteme“ sowie die Fachgruppen „Serieller Modulbau“ und „Temporäre Raumsysteme“.</p> <p>Bauprojekt</p> <p>Das Hochbauamt Heidelberg entwickelte den „Heidelberger Kita-Baukasten“. Auf Basis eines feststehenden Rasters können Moduleinheiten flexibel angeordnet werden. Die wurden vorgefertigt und bereits im Werk mit Einbaumöbeln, Leuchten und Sanitäreinrichtung ausgestattet. Die notwendige Lüftung erfolgt über eine mechanische Lüftungsanlage in Verbindung mit einbruchssicheren Lüftungslamellenfenstern zur sommerlichen Nachtauskühlung. Das Dach ist mit einer extensiven Begrünung und Photovoltaikanlage ausgeführt.</p>	

Entwicklung einer Modulbibliothek oder Plattform zur Weiter- und Wiederverwendung von Bauteilen und Modulen	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Eine Modulbibliothek oder Plattform zur Weiter- und Wiederverwendung ermöglicht es, gebrauchte Bauteile und Module zu katalogisieren und für zukünftige Projekte verfügbar zu machen. Diese Innovation fördert die nachhaltige Nutzung von Ressourcen, reduziert Bauabfälle und senkt Materialkosten.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Wiederverwendbare Module senken die Materialkosten erheblich, da weniger neue Ressourcen gekauft werden müssen. Der Zugriff auf vorgefertigte Bauteile erleichtert den Planungsprozess und reduziert Zeit- und Arbeitsaufwände. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Bestehende Bauteile werden maximal genutzt, wodurch der Bedarf an neuen Materialien sinkt.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Die Wiederverwendung vorhandener Bauteile verringert den CO₂-Fußabdruck, der mit der Herstellung neuer Materialien verbunden ist. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Eine zentrale Plattform erleichtert den Zugang zu wiederverwendbaren Modulen und fördert deren Einsatz in unterschiedlichen Projekten. Die große Auswahl an verfügbaren Bauteilen ermöglicht eine einfache Umsetzung, insbesondere bei größeren Bauprojekten.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> Es herrscht Unklarheit darüber, was genau unter "modular" verstanden wird, was zu Missverständnissen führt. Obwohl der Modulbau kosteneffizient ist, fehlt es an Aufklärung über die tatsächlichen Einsparpotenziale, was seine Verbreitung hemmt. 	
Best Practices	
<p>Bauteilnetz</p> <p>Bremen</p> <p>Das bauteilnetz Deutschland ist ein bundesweites Kooperationsprojekt zur Förderung der Wiederverwendung gebrauchter Bauteile. Es bündelt langjährige Erfahrungen in den Bereichen Kommunikation, Logistik und Präsentation und unterstützt die Einrichtung neuer Bauteilbörsen sowie die Beratung und Öffentlichkeitsarbeit. Aktuell sind an neun Standorten Bauteilbörsen aktiv oder im Aufbau.</p>	

A.3 Steckbriefe zum Fokusthema Automatisierte Baustelle und Robotik

Allgemeingültige Schnittstelle für Robotik und Automatisierungslösungen	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Das Problem bei Robotik- und Automatisierungslösungen liegt in der fehlenden Standardisierung von Schnittstellen, was die Integration und Kommunikation verschiedener Systeme erschwert. Technisch ermöglichen allgemein gültige Schnittstellen die nahtlose Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Robotik- und Automatisierungskomponenten durch standardisierte Protokolle und Datenformate. Die Lösung besteht in der Entwicklung einer KI bzw. eines LLM, das eine reibungslose Integration und Steuerung diverser Systeme und Austauschformate ermöglicht. Es wird nicht als notwendig angesehen, eine neue einheitliche Datenschnittstelle zu entwickeln und zu implementieren. Dies optimiert die Effizienz, reduziert Integrationskosten und erleichtert die Skalierbarkeit und Anpassung von Automatisierungslösungen in verschiedenen industriellen Anwendungen.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Skaleneffekte: Durch die Nutzung einheitlicher Standards können Produktionsprozesse sowohl in der Vorfertigung als auch auf Baustellen standardisiert und Baukomponenten massenproduziert werden, was die Preise senkt. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Optimierte Ressourcennutzung: Standardisierte Schnittstellen ermöglichen eine effizientere Nutzung von Materialien und Werkzeugen. Minimierung von Abfällen: Durch präzisere Steuerung und Abstimmung der Systeme wird Materialabfall reduziert.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Effizienter Ressourceneinsatz: Optimierte Integration von Systemen führt zu weniger Materialverschwendung und senkt den CO₂-Ausstoß. Energiesparende Systeme: Harmonische Zusammenarbeit verschiedener Systeme minimiert Energieverluste und reduziert den CO₂-Fußabdruck. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Einfache Erweiterbarkeit: Standardisierte Schnittstellen erleichtern die Skalierung von Automatisierungslösungen in verschiedenen Projektgrößen. Flexibilität: Unternehmen können leichter neue Technologien integrieren und anpassen, was die Transformationsfähigkeit der Branche verbessert. Globale Kompatibilität: Einheitsstandards ermöglichen internationale Zusammenarbeit und die Anwendung von Best Practices weltweit.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> Datensicherheit und Qualitätsmanagement von KI: Robotik- und Automatisierungslösungen basieren auf der Verarbeitung von digitalen Daten. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine praktikablen und klaren Lösungen für das Data-Ownership und damit verbundene Risiken zu Personen- und Datenschutz, ebenso wie offene Fragen zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Fehlendes Inkubationsumfeld: Zur Erprobung und Validierung innovativer Robotik- und Automatisierungslösungen fehlt es an einem Inkubationsumfeld, welches diverse Player zusammenbringt und finanzielle sowie rechtliche Rahmenbedingungen für das Prototyping festlegt. 	

Best Practices
<p>Forschung:</p> <p>ROSBIM ist eine von Fraunhofer Italia entwickelte Schnittstelle, die Building Information Modeling (BIM) mit dem Robot Operating System (ROS) verbindet. Diese Integration ermöglicht es mobilen Robotern, auf Baustellen effizient zu navigieren, indem sie sowohl Sensordaten als auch aktuelle BIM-Informationen nutzen. Durch die Kombination von Echtzeit-Sensordaten mit den im BIM-Modell enthaltenen Planungs-Informationen können Roboter dynamische Hindernisse erkennen und umgehen, was ihre Navigation in sich ständig verändernden Bauumgebungen verbessert.</p>

Bauprozesssimulationssoftware	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Ein Problem bei Bauprojekten liegt in der Komplexität der Planung und Ausführung, was zu ineffizienten Abläufen und Kostenüberschreitungen führt. Technisch ermöglicht eine Bauprozesssimulationssoftware die virtuelle Modellierung und Analyse des gesamten Bauprozesses. Die Lösung besteht darin, mithilfe dieser Software verschiedene Szenarien zu simulieren, Ressourcen optimal zu planen und potenzielle Engpässe frühzeitig zu erkennen. Durch die visuelle Darstellung und Analyse können Planungsfehler vermieden, Bauzeiten verkürzt und Kosten gesenkt werden. Somit verbessert die Bauprozesssimulationssoftware die Effizienz und Qualität von Bauprojekten erheblich.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kosteneffiziente Bauprozesse: Durch Simulationen können Kostenoptimierungen identifiziert und umgesetzt werden, was zu bezahlbarerem Wohnraum führt. ▪ Reduzierung von Bauverzögerungen: Frühzeitiges Erkennen von Problemen im Bauablauf wie Engpässen ermöglicht eine rechtzeitige Gegensteuerung, um Verzögerungen und damit verbundene Kosten zu minimieren. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Präzise Ressourcenplanung: Die Simulation hilft, den Bedarf an Materialien und Arbeitskräften genau zu bestimmen, um Ressourcen effizienter einzusetzen.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatz nachhaltiger Materialien: Die Software ermöglicht die Simulation verschiedener Materialoptionen und fördert den Einsatz umweltfreundlicher Alternativen, um den CO₂-Fußabdruck zu verringern. ▪ Minimierung von Bauprozessschritten: Effizientere Planung führt zu kürzeren Bauzeiten und reduziert den Energieverbrauch während des Bauprozesses. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anpassungsfähigkeit an verschiedene Projekte: Die Software ist flexibel einsetzbar und kann auf Projekte unterschiedlicher Größe und Komplexität angewendet werden, was die Skalierbarkeit erhöht. ▪ Vereinfachung der Zusammenarbeit: Durch die Visualisierung von Bauabläufen können Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Akteuren verbessert werden, was die Skalierbarkeit fördert.
Hemmnisse der Innovation	

- Datensicherheit und Qualitätsmanagement von KI: Robotik- und Automatisierungslösungen basieren auf der Verarbeitung von digitalen Daten. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine praktikablen und klaren Lösungen für das Data-Ownership und damit verbundene Risiken zu Personen- und Datenschutz, ebenso wie offene Fragen zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz.
- Generationenübergang: Die demographische Struktur in den Betrieben sowohl der Hersteller von Robotik- und Automatisierungslösungen als auch anwendenden Bauunternehmen hat zur Folge, dass viele Fachkräfte und Entscheidungsträger wenige Jahre vor Renteneintritt stehen. Dies hat eine grundlegend abwartende und wenig innovationsfreudige Ausrichtung zur Folge.
- Skepsis gegenüber Innovationen: Es herrscht eine grundlegende Skepsis gegenüber Innovationen in der Baubranche. Insbesondere bei KMU, welche nach wie vor sehr tradierte Prozesse zur Herstellung von Gebäuden durchführen.

Best Practices

SIMPLAN AG

Hanau

Die SimPlan AG bietet Baustellenlogistik im Rahmen des Forschungsprojekts mefisto mit weiteren Partnern (TU Dresden, Ruhr-Universität Bochum, Ed. Züblin AG, Max Bögl u.a.) spezialisierte Simulationslösungen für Bauprozesse an, die darauf abzielen, Planungs- und Bauabläufe zu optimieren. Durch den Einsatz von Simulationstechnologien können Bauprojekte in virtuellen Umgebungen modelliert und analysiert werden, um potenzielle Engpässe zu identifizieren und verschiedene Szenarien zu testen. Dies ermöglicht eine fundierte Entscheidungsfindung und trägt zur Effizienzsteigerung im Bauwesen bei.

Building Information Innovator GmbH (BII GmbH)

Biberach an der Riß

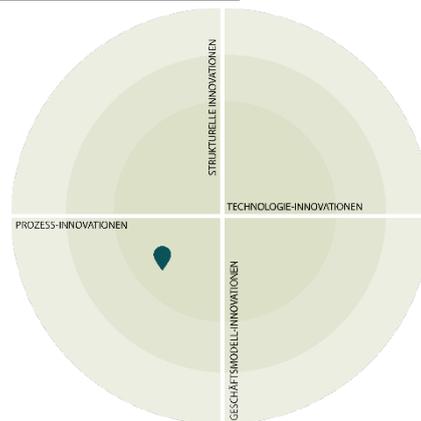
Mit ihrem Hauptprodukt dProB bietet die BII GmbH eine visuelle Planungs- und Simulationssoftware an, die modernste Gaming-Technologie nutzt, um Bauprozesse realitätsnah zu simulieren. Diese Anwendung ermöglicht es, Bauabläufe in Echtzeit zu planen, potenzielle Risiken frühzeitig zu erkennen und verschiedene Planungsszenarien hinsichtlich Kosten, Zeit und CO₂-Emissionen zu bewerten. Durch die intuitive Visualisierung komplexer Daten fördert dProB ein tieferes Verständnis der Bauprojekte und unterstützt eine proaktive Risikomanagementstrategie.

KI-gestützte Bauprozessanalyse

Kurzbeschreibung

Ein Problem bei Bauprojekten sind ineffiziente Abläufe und Fehler, die Zeit und Kosten erhöhen. Technisch ermöglicht die KI-gestützte Bauprozessanalyse die automatische Erfassung und Analyse von Baufortschritt und Qualitätskontrolle durch Livedaten und Algorithmen. Die Lösung besteht in der Implementierung von KI-Systemen, die Baustellendaten in Echtzeit auswerten, Abweichungen erkennen und Optimierungspotenziale identifizieren. Dies führt zu präziseren Bauabläufen, verringert Fehler und Nacharbeiten und optimiert Ressourcen- und Zeiteinsatz. So steigert die KI-gestützte Bilderkennung die Effizienz und Qualität in Bauprojekten erheblich.

Position im Innovationsradar



Nutzen der Innovation

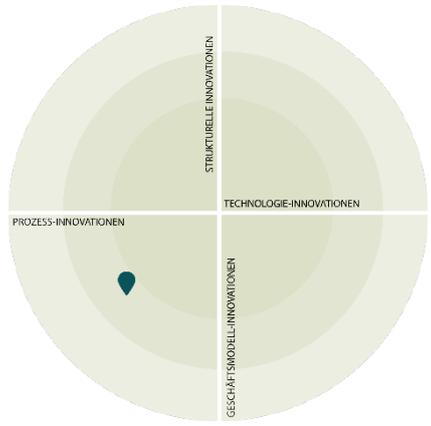
Bezahlbarkeit

- Vermeidung von Verzögerungen: Frühzeitiges Erkennen von Problemen ermöglicht

Ressourceneffizienz

- Effiziente Nutzung von Arbeitskräften: KI-gestützte Analyse hilft dabei, Arbeitskräfte optimal

<p>eine rechtzeitige Intervention, um Bauverzögerungen zu minimieren und Baukosten zu senken.</p>	<p>einsetzen und Engpässe zu vermeiden, was die Effizienz steigert und Kosten senkt.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserte Nutzung von Maschinen und Geräten: Durch präzise Planung und Überwachung können Maschinen optimal ausgelastet und Ressourcen effektiver genutzt werden.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ressourceneffiziente Materialnutzung: Durch präzise Analyse der Materialflüsse kann der Verbrauch optimiert und somit der CO₂-Fußabdruck verringert werden. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anpassungsfähige Technologie: KI-Lösungen sind skalierbar und können an die Anforderungen verschiedener Bauprojekte angepasst werden, was die Transformation der Baubranche erleichtert. ▪ Einfache Integration in bestehende Prozesse: KI-gestützte Analyse kann nahtlos in bestehende Bauprozesse integriert werden, was die Akzeptanz und Skalierbarkeit erhöht.
<p>Hemmnisse der Innovation</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datensicherheit und Qualitätsmanagement von KI: Robotik- und Automatisierungslösungen basieren auf der Verarbeitung von digitalen Daten. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine praktikablen und klaren Lösungen für das Data-Ownership und damit verbundene Risiken zu Personen- und Datenschutz, ebenso wie offene Fragen zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz. ▪ Generationenübergang: Die demographische Struktur in den Betrieben sowohl der Hersteller von Robotik- und Automatisierungslösungen als auch anwendenden Bauunternehmen hat zur Folge, dass viele Fachkräfte und Entscheidungsträger wenige Jahre vor Renteneintritt stehen. Dies hat eine grundlegend abwartende und wenig innovationsfreudige Ausrichtung zur Folge. ▪ Skepsis gegenüber Innovationen: Es herrscht eine grundlegende Skepsis gegenüber Innovationen in der Baubranche. Insbesondere bei KMU, welche nach wie vor sehr tradierte Prozesse zur Herstellung von Gebäuden durchführen. 	
<p>Best Practices</p>	
<p>OpenSpace San Francisco</p> <p>Das kalifornische Unternehmen OpenSpace nutzt künstliche Intelligenz (KI) und 360°-Kameratechnologie, um Bauprozesse effizient zu analysieren. Durch das Anbringen einer 360°-Kamera auf einem Schutzhelm können Bauleiter während regulärer Begehungen kontinuierlich Bilder des Baufortschritts erfassen. Die erfassten Daten werden automatisch zu einer durchsuchbaren, virtuellen Darstellung der Baustelle zusammengefügt, die es ermöglicht, den Baufortschritt zu überwachen, Qualitätskontrollen durchzuführen und die Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten zu verbessern.</p> <p>Oculai München</p> <p>Das Unternehmen oculai setzt künstliche Intelligenz (KI) zur Analyse von Bauprozessen ein, indem es Baustellen mit 3D-Kameras überwacht und die erfassten Daten in Echtzeit auswertet. Durch die automatische Erkennung von Bauaktivitäten und -fortschritten ermöglicht oculai eine präzise Dokumentation und Optimierung von Bauabläufen. Diese Technologie unterstützt Bauunternehmen dabei, Ressourcen effizienter zu nutzen, potenzielle Verzögerungen frühzeitig zu identifizieren und die Gesamtproduktivität auf Baustellen zu steigern.</p>	

Digitale Lieferketten	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Digitale Lieferketten in der Baubranche vereinen Technologien wie Building Information Modeling (BIM), das Internet der Dinge (IoT) und Blockchain für mehr Effizienz und Transparenz. Ein zentraler Bestandteil ist die Nutzung digitaler Produktdaten, die präzise Informationen zu Materialien, Bauteilen und Maschinen bereitstellen. Diese Daten werden in zentralen Plattformen verwaltet und erlauben den Echtzeitaustausch zwischen Planern, Lieferanten und Baustellenpersonal. So können z. B. Baustoffe mithilfe von Sensoren überwacht und bei Bedarf automatisch nachbestellt werden. Ergänzt durch IoT und digitale Zwillinge lassen sich Materialflüsse, Maschinenbewegungen und Bauprozesse simulieren und optimieren.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Optimierte Materialbeschaffung: Digitale Lieferketten optimieren Materialbeschaffungen, wodurch Verschwendungen minimiert werden. Diese Einsparungen können an Endkunden weitergegeben werden. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Reduzierte Materialverschwendung: Echtzeitdaten und Automatisierung vermeiden Überbestände und reduzieren Materialverschwendung auf der Baustelle. Wiederverwendbarkeit: Die Rückverfolgbarkeit von Baustoffen erleichtert deren Wiederverwendung und fördert die Kreislaufwirtschaft.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Effiziente Logistik: Effiziente Logistikplanung und bedarfsgerechte Materiallieferungen reduzieren unnötige Transporte und damit verbundene Emissionen. Nachhaltige Materialien: Die Nutzung digitaler Produktdaten ermöglicht eine präzisere Auswahl nachhaltiger Materialien und fördert eine klimafreundliche Bauweise. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Höherer Automatisierungsgrad: Automatisierte Prozesse und die Integration von Technologien wie IoT und BIM reduzieren manuelle Eingriffe, was die schnelle Ausweitung auf neue Bauprojekte erleichtert.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> Datensicherheit und Qualitätsmanagement von KI: Robotik- und Automatisierungslösungen basieren auf der Verarbeitung von digitalen Daten. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine praktikablen und klaren Lösungen für das Data-Ownership und damit verbundene Risiken zu Personen- und Datenschutz, ebenso wie offene Fragen zum Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Fehlendes Wissen zu Robotik- und Automatisierungslösungen: Um eine erhöhte Nachfrage von Robotik- und Automatisierungslösungen auf Baustellen zu generieren, fehlt derzeit das notwendige Wissen über die Technologien und deren Einsatzmöglichkeiten bei den anwendenden Bauunternehmen. 	

<p>Best Practices</p> <p>Gartner Deutschland GmbH München</p> <p>Gartner unterstützt Unternehmen bei der digitalen Transformation ihrer Lieferketten durch die Entwicklung maßgeschneiderter Roadmaps, die sowohl kurzfristige Verbesserungen als auch eine strategische Langzeitvision umfassen. Zudem bietet Gartner Tools wie das "Supply Chain Digital Roadmap Prioritization Tool" an, das Führungskräften hilft, digitale Initiativen zu bewerten und zu priorisieren, um eine erfolgreiche Implementierung sicherzustellen.</p> <p>Forschung:</p> <p>Im Teilvorhaben „Digitale Lieferkette für Bauprodukte“ des Verbundforschungsvorhabens SDaC – Smart Design and Construction werden digitale Lieferkettenlösungen für die Baubranche erforscht. Das langfristige Ziel ist die Kombination aus digitalisierter Lieferkette und KI-basierten Assistenzsystemen. Dabei geht es im ersten Schritt darum, die bestehenden Lieferscheine zu digitalisieren, um zukünftig Muster in den gewonnenen Daten zu erkennen.</p>

A.4 Steckbriefe zum Fokusthema Serielle Sanierung

Fassadenintegrierte TGA-Module	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Bei herkömmlichen Sanierungsprojekten erfordert die Modernisierung von Lüftungs-, Heizungs- und Warm-/Kaltwasserleitungen oft eine aufwendige Strangsanierung, was mit erheblichen Bauarbeiten und einer hohen Belastung für die Mieter einhergeht. Eine innovative Lösung besteht darin, Versorgungsleitungen in vorgefertigten Fassadenmodulen zu verlegen. Die Anschlüsse der Leitungen erfolgen mittels einfacher Steck- oder Schraubverbindungen. Die vorhandene TGA wird stillgelegt und unberührt im Bestand belassen. Durch dieses Vorgehen wird eine Strangsanierung vermieden, was nicht nur die Bauarbeiten vereinfacht, sondern auch die Sanierungszeiten verkürzt. Diese Methode reduziert somit die Belastung für die Mieter erheblich.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p>
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduzierte Installationskosten: Durch die Integration der TGA-Module in die Fassade können separate Installationen für Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage minimiert werden. Dies senkt die Arbeitskosten und verkürzt die Bauzeit ▪ Niedrigere Betriebskosten: Fassadenintegrierte Systeme können effizienter sein, was zu niedrigeren Energieverbrauchskosten führt. Die Investitionskosten könnten sich langfristig durch die Einsparungen amortisieren. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Materialeinsparung: Durch die Integration mehrerer Funktionen in ein Bauelement werden weniger Materialien benötigt, was den Ressourcenverbrauch senkt. ▪ Lebenszyklus: Längere Lebensdauer und weniger Wartungsaufwand durch optimierte, integrierte Systeme reduzieren den Ressourcenverbrauch über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p>	<p><u>Skalierbarkeit</u></p>

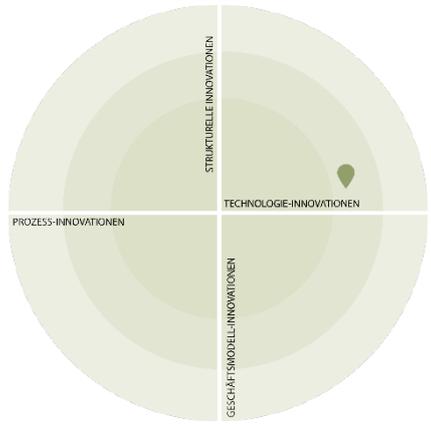
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energieeffizienz: Integrierte Systeme sind oft besser isoliert und können effizienter arbeiten, was den Energieverbrauch und damit den CO₂-Ausstoß reduziert. ▪ Erneuerbare Energien: Diese Module können leicht mit erneuerbaren Energiequellen kombiniert werden, wie z.B. Solarthermie oder Photovoltaik, um den CO₂-Fußabdruck weiter zu verringern. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Standardisierung: Fassadenintegrierte TGA-Module können standardisiert und vorgefertigt werden, was die Skalierbarkeit und die schnelle Implementierung in verschiedenen Bauprojekten erleichtert. ▪ Modularität: Die modulare Bauweise ermöglicht eine einfache Anpassung und Erweiterung, was die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Gebäudearten und -größen erhöht.
---	--

Hemmnisse der Innovation

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zu geringer Bekanntheitsgrad positive Beispiele: Erfolgreich umgesetzte Serielle Sanierungen gibt es deutschlandweit. Diese haben jedoch einen zu geringen Bekanntheitsgrad. Bekannte Beispiele treffen häufig nur auf selten vorhandene Bausubstanz zu. ▪ Mangelndes Vertrauen: Anbieter Serieller Sanierung sehen sich Skepsis derer Systeme gegenüber. ▪ Wirtschaftlichkeit: Die Kosten einer Sanierung amortisieren sich häufig erst nach sehr langen Perioden, da serielle Sanierung bisher keinen großen Kostenvorteil bieten, bleibt dieses Problem bestehen. ▪ Versorgungsstränge im Gebäudeinneren: Bei vielen Gebäuden liegen die Verbrauchseinheiten von Wasser, Strom, Lüftung etc. im Gebäudeinneren. Das hat zur Folge, dass Serielle Sanierungen mit TGA-integrierten Elementen nur bedingt durchführbar sind. Für die Erschließung im Inneren muss nach wie vor „klassisch“ saniert werden.
--

Best Practices

<p>Ecoworks Berlin Serielle Sanierung von Mehrfamilienhäusern mit vorgefertigten Modulen mit integrierter Gebäudetechnik nach dem Energie-sprung-Konzept.</p> <p>Brüninghoff Group Heiden Kernprodukt sind vorgefertigte Elemente für Fassade und Dach, die als Holzrahmenkonstruktion mit nachhaltigen Dämmstoffen und integrierter Gebäudetechnik sowie neuen Fenstern industriell hergestellt werden.</p> <p>Forschung Forschende vom Fraunhofer IBP und vom Fraunhofer IEE entwickeln dazu ein Fassadenmodul, das die technische Gebäudeaus-rüstung (TGA) integriert und mit regenerativer Energie versorgt, um die dahinter liegenden Räume zu heizen, zu kühlen und zu lüften. Herzstück der sogenannte Erneuerbare-Energien-Modulfassade (EE-Modulfassade) ist eine Photovoltaik-Anlage (PV), die mit einer Wärmepumpe als hocheffizientem Wärme- und Kälteerzeuger kombiniert ist, sowie ein dezentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung.</p>

Außenliegende Erschließung	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Gebäude in städtischen Gebieten haben oft begrenzte Zugänge und beengte Innenräume, was die Nutzbarkeit und den Komfort einschränkt. Ein nachträglich bei der Sanierung von Gebäuden außen errichteter Laubengang bietet eine Lösung, indem er zusätzliche Zugänge schafft und die Erschließung des Gebäudes verbessert. Dieser Laubengang ermöglicht es, Wohn- und Nutzräume von außen zugänglich zu machen, ohne den Innenraum zu beeinträchtigen. Zudem kann er zur Fluchtwegsicherung beitragen und das Gesamtbild des Gebäudes aufwerten. Die äußere Anbringung ist besonders vorteilhaft bei Sanierungen, da sie die bestehenden Strukturen minimal beeinflusst.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p> 
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kosteneffiziente Sanierung: Durch die Anbringung eines außenliegenden Laubengangs können bestehende Gebäude erschlossen und umgebaut werden, ohne teure Umbauten im Innenbereich vornehmen zu müssen. ▪ Mehr Wohnraum: Der nicht mehr für die Erschließung benötigte innenliegende Erschließungsraum kann in zusätzlichen Wohnraum umgewandelt werden. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutzung vorhandener Strukturen: Die äußere Anbringung nutzt den vorhandenen Raum effizienter und minimiert den Bedarf an neuen Baumaterialien, was zu Kosteneinsparungen führt.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduzierter Bedarf an Neubauten: Durch die Möglichkeit der Umnutzung bestehender Gebäude, auch ursprünglich nicht als Wohngebäude errichtete Gebäude, durch eine außenliegende Erschließung, anstelle eines Neubaus können die CO₂-Emissionen, die mit dem Bau neuer Strukturen verbunden sind, reduziert werden. ▪ Energieeffizienzoptimierung: Ein gut gestalteter Laubengang kann den Energieverbrauch des Gebäudes durch verbesserte Belüftung und natürliche Lichtnutzung senken, was den CO₂-Fußabdruck weiter verringert. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilität in der Anpassung: Außenliegende Laubengänge können an verschiedene Gebäudestrukturen angepasst werden und ermöglichen somit eine skalierbare Lösung für die Erschließung und Umnutzung von Gebäuden. ▪ Städtebauliche Integration: Die Implementierung solcher Strukturen in städtische Planungen fördert die Transformation der Baubranche, indem sie zu einer nachhaltigeren und effizienteren Nutzung des städtischen Raums beiträgt.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zu geringer Bekanntheitsgrad positive Beispiele: Erfolgreich umgesetzte Serielle Sanierungen gibt es deutschlandweit. Diese haben jedoch einen zu geringen Bekanntheitsgrad. Bekannte Beispiele treffen häufig nur auf selten vorhandene Bausubstanz zu. ▪ Fehlendes Wissen in Genehmigungsbehörden: Bei der Genehmigung Serieller Sanierungen ist viel Fachwissen in der Genehmigungsbehörde notwendig, welches derzeit häufig noch nicht vorhanden ist. ▪ Mangelndes Vertrauen: Anbieter Serieller Sanierung sehen sich Skepsis derer Systeme gegenüber. 	

- Wirtschaftlichkeit: Die Kosten einer Sanierung amortisieren sich häufig erst nach sehr langen Perioden, da Serielle Sanierung bisher keinen großen Kostenvorteil bieten, bleibt dieses Problem bestehen.

Best Practices

ACMS Architekten GmbH

Wuppertal

Wohnheim für Studierende in Essen

Das Studierendenwohnheim Tiegelstraße in Essen, entworfen von ACMS-Architekten, ist ein Beispiel für die erfolgreiche Umnutzung eines ehemaligen Gemeindehauses aus dem Jahr 1957. Durch den Rückbau auf die Primärkonstruktion und die Aufstockung um ein Staffelgeschoss in Holztafelbauweise konnte die Nutzfläche mehr als verdoppelt werden. Die Erschließung der 36 Apartments erfolgt über umlaufende Laubengänge, die mit horizontalen Holzlamellen verkleidet sind. Diese außenliegenden Erschließungselemente schaffen nicht nur zusätzliche Wohnfläche im Inneren, sondern fördern auch die Kommunikation unter den Bewohnern und integrieren das Gebäude harmonisch in die umgebende Grünanlage.

Quartier Campus Rosenheim

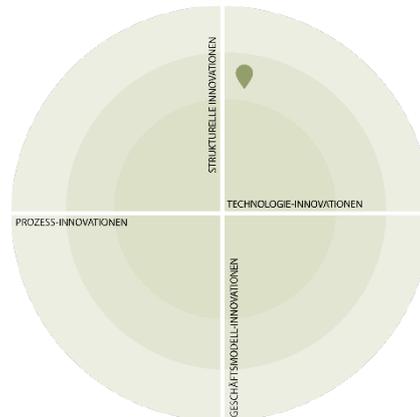
Das Neubau Wohnprojekt CampusRO von ACMS-Architekten mit einer Bruttogrundfläche von 9.925 Quadratmetern, zeichnet sich durch eine außenliegende Erschließung mit Laubengängen aus. Diese führen nicht nur zu den Wohnungen, sondern auch zu bepflanzten Treffpunkten auf großzügig ausgebildeten Terrassenflächen.

Externe Versorgungsmodule

Kurzbeschreibung

Bei der Sanierung von Gebäuden kann es herausfordernd sein, externe Versorgungsmodule wie Klimaanlage, Heizungsanlagen oder Stromverteiler effizient zu integrieren. Das Platzproblem und der Bedarf an zusätzlichen Installationen können die Kosten erhöhen und den ästhetischen Wert beeinträchtigen. Eine Lösung bieten externe Versorgungsmodule, die als eigenständige Einheiten außerhalb des Gebäudes positioniert werden. Diese Module sind flexibel anpassbar und können verschiedene Versorgungsfunktionen aufnehmen, ohne die Gebäudestruktur zu beeinträchtigen. Sie bieten eine kosteneffiziente und ästhetisch ansprechende Lösung für die Sanierung von Gebäuden, indem sie Platzbedarf und Installationen minimieren.

Position im Innovationsradar



Nutzen der Innovation

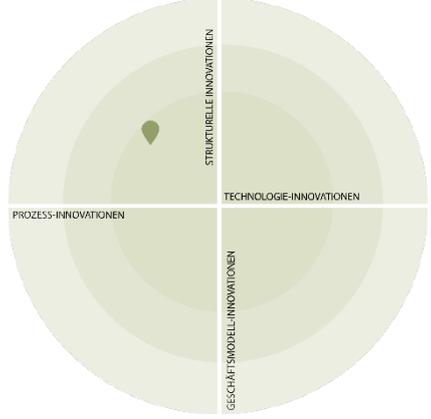
Bezahlbarkeit

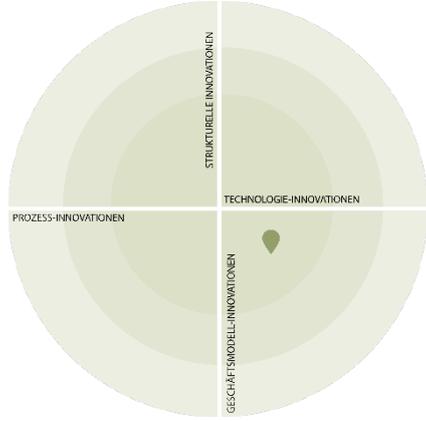
- Reduzierte Installationskosten: Externe Versorgungslösungen wie Klimaanlage, Heizungsanlagen oder Stromverteiler können als vorgefertigte Module geliefert und installiert werden, wodurch die Installationskosten und Bauzeiten reduziert werden.
- Wartung während dem Betrieb: Da diese Module außerhalb des Gebäudes installiert werden, sind Wartungen zentral und außerhalb des Wohnraums möglich. Auf diese

Ressourceneffizienz

- Optimierte Materialnutzung: Durch den Einsatz vorgefertigter und modularer Versorgungseinheiten wird der Materialverbrauch optimiert, da keine einzelnen Module je Wohneinheit verbaut werden müssen.
- Wiederverwendbarkeit: Externe Module können bei Bedarf leicht ausgetauscht oder an anderen Gebäuden wiederverwendet werden, was die Ressourceneffizienz erhöht.

Weise können die Gebäude ohne Unterbrechung bewohnt/betrieben werden.	
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Effiziente Energieversorgung: Moderne externe Versorgungslösungen sind oft energieeffizienter und können dazu beitragen, den CO₂-Ausstoß des sanierten Gebäudes zu reduzieren. ▪ Integration erneuerbarer Energien: Diese Module können leicht mit erneuerbaren Energiequellen wie Solarpaneelen oder Wärmepumpen kombiniert werden, was den CO₂-Fußabdruck weiter verringert. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einfache Nachrüstung: Externe Versorgungslösungen können problemlos an bestehenden Gebäuden nachgerüstet werden, was die Skalierbarkeit und Flexibilität bei Sanierungsprojekten erhöht. ▪ Standardisierung: Versorgungsmodule sind standardisierbar und industriell herstellbar, was sie zu einer skalierfähigen Lösung macht.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zu geringer Bekanntheitsgrad positive Beispiele: Erfolgreich umgesetzte Serielle Sanierungen gibt es deutschlandweit. Diese haben jedoch einen zu geringen Bekanntheitsgrad. Bekannte Beispiele treffen häufig nur auf selten vorhandene Bausubstanz zu. ▪ Fehlendes Wissen in Genehmigungsbehörden: Bei der Genehmigung Serieller Sanierungen ist viel Fachwissen in der Genehmigungsbehörde notwendig, welches derzeit häufig noch nicht vorhanden ist. ▪ Mangelndes Vertrauen: Anbieter Serieller Sanierung sehen sich Skepsis derer Systeme gegenüber. ▪ Wirtschaftlichkeit: Die Kosten einer Sanierung amortisieren sich häufig erst nach sehr langen Perioden, da Serielle Sanierung bisher keinen großen Kostenvorteil bieten, bleibt dieses Problem bestehen. 	
Best Practices	
<p>Sistems Gmbh Markt Schwaben</p> <p>Die externen Versorgungsmodule der sistems GmbH sind vorkonfektionierte, modulare Energiezentralen, die außerhalb des Gebäudes installiert werden, um eine effiziente und skalierbare Energieversorgung zu gewährleisten. Ein zentrales Beispiel ist der SYSTEMS GROUND CUBE, der unterirdisch platziert wird und die gesamte Gebäudetechnik, einschließlich Wärme-, Strom- und Wasserversorgung, integriert. Diese Lösung reduziert den baulichen Eingriff im Bestand, minimiert Bauzeiten und ermöglicht eine wirtschaftliche sowie klimafreundliche Sanierung durch standardisierte, serielle Prozesse.</p>	

Open-Source Konstruktionsbibliothek	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>In der Baubranche mangelt es oft an zugänglichen Konstruktionsdaten für serielle Sanierungen. Die Lösung besteht in der Entwicklung einer Open-Source-Konstruktionsbibliothek für Serielle Sanierungen. Diese Plattform bietet Bauunternehmen und Planern kostenlosen Zugang zu standardisierten Bauplänen, Materiallisten und Konstruktionsdetails für eine Vielzahl von Sanierungsprojekten. Durch die gemeinsame Nutzung von Wissen und Ressourcen wird die Effizienz gesteigert, die Planungszeit verkürzt und die Qualität der Sanierungsarbeiten verbessert. Die Open-Source-Konstruktionsbibliothek fördert Innovation und Zusammenarbeit in der Baubranche, um die Transformation hin zu nachhaltigen Sanierungen voranzutreiben</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p>  <p>The diagram is a circular radar chart divided into four quadrants: STRUKTURELLE INNOVATIONEN (top), TECHNOLOGIE-INNOVATIONEN (right), GESCHAFTSMODELL-INNOVATIONEN (bottom), and PROZESS-INNOVATIONEN (left). A green dot is positioned in the top-left quadrant, overlapping the 'STRUKTURELLE INNOVATIONEN' and 'PROZESS-INNOVATIONEN' areas.</p>
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kosteneinsparungen durch Standardisierung: Standardisierte Konstruktionsdaten reduzieren die Planungskosten und ermöglichen effizientere Bauprozesse, was zu niedrigeren Gesamtkosten führt. ▪ Einfacher Zugang zu Ressourcen: Die kostenlose Verfügbarkeit von Konstruktionsdaten senkt die Eintrittsbarrieren für kleinere Bauunternehmen und fördert den Wettbewerb, was zu günstigeren Preisen führen kann. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Effizientere Nutzung von Baumaterialien: Durch die standardisierte Verwendung von Bauplänen und Materiallisten wird der Materialverbrauch optimiert, was Ressourcen einspart. ▪ Längere Lebensdauer der Gebäude: Qualitativ hochwertige Konstruktionsdaten und Bauanleitungen können zu langlebigeren Gebäuden führen, was die Ressourceneffizienz verbessert.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimierte Materialauswahl: Zugang zu umfassenden Konstruktionsdaten ermöglicht eine bessere Auswahl umweltfreundlicher Materialien und Bauverfahren, was den CO₂-Ausstoß verringert. ▪ Reduzierung von Baufehlern: Standardisierte Konstruktionsdaten minimieren Fehler und heben Optimierungspotenziale während der Bauphase, was den Energieverbrauch und damit den CO₂-Ausstoß senken kann. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Leichtere Anpassung an verschiedene Projekte: Die Flexibilität von Open-Source-Konstruktionsdaten ermöglicht eine einfache Anpassung an verschiedene Sanierungsprojekte, was die Skalierbarkeit der Sanierungsbemühungen unterstützt. ▪ Förderung von Innovation und Zusammenarbeit: Offene Konstruktionsdaten fördern Innovationen und Zusammenarbeit in der Baubranche, was die Transformation der Baubranche insgesamt vorantreibt.
Hemmnisse der Innovation	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Silodenken: Vorhandenes Wissen über Lösungen beim Seriellen Sanieren, wie technische Details oder funktionierende Prozesse und Softwarelösungen wird nicht geteilt. 	
Best Practices	
<p>Metsä Group Finnland</p> <p>Die Open Source Wood-Initiative von Metsä Wood ist eine kollaborative Plattform, die Architekten, Ingenieuren und anderen Fachleuten ermöglicht, ihre Innovationen im modularen Holzbau zu teilen und gemeinsam weiterzuentwickeln. Sie bietet eine umfangreiche Bibliothek von 3D-Entwurfsobjekten für BIM- und CAD-Software sowie eine Sammlung von Berechnungstools für die Holzbauplanung. Ziel ist es, den Wissenstransfer zu fördern und die Nutzung von Holz im Bauwesen zu steigern.</p>	

All-Inclusive Sanierung	
<p><u>Kurzbeschreibung</u></p> <p>Bei der Sanierung von Gebäuden können unkoordinierte Planungs- und Bauprozesse zu Verzögerungen und erhöhten Kosten führen. Die Lösung bietet ein Geschäftsmodell, bei dem die gesamte Sanierung als All-Inclusive-Leistung aus einer Hand angeboten wird. Dies umfasst automatisiertes Aufmaß, digitale Planung und den Einsatz seriell gefertigter Fassadenelemente, um Effizienz und Präzision zu maximieren. Alle Schritte vom Aufmaß über die Planung und Ausführung bis hin zum Betrieb erfolgen innerhalb einer vordefinierten Zeit. Dadurch werden Zeit- und Kostenrisiken minimiert, die Qualität und Effizienz der Sanierung gesteigert und die Koordination zwischen den einzelnen Gewerken optimiert. Die Bewohner werden nur minimal in ihrem Alltag gestört, da das Modell auch die Möglichkeit einschließt, den Bewohnern während der Montage tage einen bezahlten Urlaub zu bieten, sodass sie bei ihrer Rückkehr ein vollständig saniertes Gebäude vorfinden.</p>	<p><u>Position im Innovationsradar</u></p>  <p>The diagram is a circular radar chart divided into four quadrants: STRUKTURELLE INNOVATIONEN (top), TECHNOLOGIE-INNOVATIONEN (right), GESCHÄFTSMODELL-INNOVATIONEN (bottom), and PROZESS-INNOVATIONEN (left). A green dot is positioned in the TECHNOLOGIE-INNOVATIONEN quadrant, indicating the primary focus of the innovation.</p>
Nutzen der Innovation	
<p><u>Bezahlbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Effizienz durch Standardisierung: Das All-Inclusive-Modell standardisiert Prozesse und den Materialeinsatz, was zu Effizienzgewinnen und damit zu Kosteneinsparungen führt, welche an die Mieter weitergegeben werden können. ▪ Klare Kostenstrukturen: Einheitliche Preise und klar definierte Leistungen erleichtern die Budgetplanung und senken potenzielle Kostenüberschreitungen für Bauherren, welche die Kostenvorteile an Mieter weitergeben können. 	<p><u>Ressourceneffizienz</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Effizienter Materialeinsatz: Die Standardisierung führt zu einem optimierten Einsatz von Materialien, reduziert den Abfall und maximiert die Ressourceneffizienz. ▪ Längere Lebensdauer: Hochwertige Materialien und eine gründliche Planung erhöhen die Lebensdauer der sanierten Gebäude, was zu einer langfristig effizienteren Nutzung von Ressourcen führt.
<p><u>CO₂-Ausstoß</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimierte Logistik: Durch standardisierte Prozesse und Bauteile werden Transportwege und -zeiten minimiert, was den CO₂-Fußabdruck verringert. 	<p><u>Skalierbarkeit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reproduzierbarkeit an verschiedenen Standorten: Das standardisierte All-Inclusive-Modell ermöglicht die schnelle Reproduktion erfolgreicher Sanierungsprojekte an verschiedenen Standorten, was die Skalierbarkeit erleichtert. ▪ Anpassungsfähigkeit an verschiedene Gebäudetypen: Die Flexibilität des Modells erlaubt eine einfache Anpassung an verschiedene Gebäudetypen und -größen, was die Transformation der Baubranche in breiterem Maße fördert.

Hemmnisse der Innovation

- Zu geringer Bekanntheitsgrad positive Beispiele: Erfolgreich umgesetzte Serielle Sanierungen gibt es deutschlandweit. Diese haben jedoch einen zu geringen Bekanntheitsgrad. Bekannte Beispiele treffen häufig nur auf selten vorhandene Bausubstanz zu.
- Silodenken: Vorhandenes Wissen über Lösungen beim Seriellen Sanieren, wie technische Details oder funktionierende Prozesse und Softwarelösungen wird nicht geteilt.

Best Practices

B&O Bau GmbH

Köln

Die B&O Bau GmbH setzt als Generalunternehmer auf sogenannte Bauteam-Modelle, bei denen bereits in einer sehr frühen Phase gemeinsam mit dem Architekten, dem Bauherrn und den ausführenden Unternehmen von Anfang an gemeinsam geplant wird.

Renowate GmbH

Düsseldorf

RENOWATE verfolgt ein innovatives Konzept zur energetischen Sanierung, das auf Serialisierung und End-to-End-Prozesse gemäß dem Energiesprung-Prinzip setzt. Durch den Einsatz vorgefertigter Dach- und Fassadenmodule sowie eine gewerkeübergreifende, integrierte Planung werden sowohl Zeit- als auch Kostenaufwand signifikant reduziert. Das skalierbare System ermöglicht die Anwendung auf verschiedene Gebäudetypen. In der Produktion kooperiert RENOWATE ausschließlich mit erfahrenen Partner*innen und verwendet nachhaltige Materialien

Ecoworks

Berlin

Das Geschäftsmodell von ecoworks basiert auf der seriellen Sanierung von Bestandsgebäuden durch Digitalisierung und Industrialisierung. Mithilfe vorgefertigter thermischer Gebäudehüllen, die Dämmung, Fenster, Wärmeschutz und Wohnraumlüftung bereits integriert haben, werden Sanierungsprozesse beschleunigt und Qualitätsstandards verbessert. Die Methode reduziert Bauzeiten, steigert die Energieeffizienz und ermöglicht die Umstellung auf erneuerbare Wärmezeugung. Zudem kann der NetZero-Standard erreicht werden, bei dem Gebäude ihre Energie für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom selbst erzeugen. Neben der Sanierung bietet ecoworks auch Lösungen zur Wohnraumerweiterung, darunter Balkonsysteme und Aufstockungen um bis zu neun Geschosse.

Sistems GmbH

Markt Schwaben

Mit ihrem standardisierten energetischen Sanierungskonzept SYSTEMS ONE adressiert das Unternehmen die Immobilienwirtschaft, den Einzelhandel und die Industrie. Dieses Konzept ermöglicht eine rentable Dekarbonisierung von Bestandsgebäuden durch serielle und sektorenübergreifende Ansätze inklusive der Refinanzierung von Sanierungsprojekten durch neue Geschäftsmodelle.