Fraunhofer IAO

Edith Schwimmer | Günter Wenzel | Steffen Braun | Tiziana Manca

Strategie-Roadmap »Baustelle 2045«

Auf dem Weg zur klimaneutralen Baustelle 2045

Hrsg.: Oliver Riedel | Katharina Hölzle | Wilhelm Bauer

Vorwort

Die nationalen und globalen Anstrengungen für die Dekarbonisierung unserer Wirtschaft und Gesellschaft sind nicht nur eine klimaschutzrelevante Generationenaufgabe unserer Zeit, sondern gleichzeitig eine gewaltige Chance für Innovation, neue Wertschöpfung, gesellschaftliche Resilienz und langfristige Sicherheit. Somit kommt jedem Sektor in Deutschland bei der Erreichung der Klimaschutzziele die Entscheidung zu, diese Optionen aktiv zu erörtern und neue Strategien über den eigenen Tellerrand hinaus zu entwickeln. Eine nachhaltige Zukunft kann nur entstehen, indem man sie proaktiv gestaltet.

Gemeinsam mit dem Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (HDB) und dem VDMA e. V. Baumaschinen und Baustoffanlagen hat das Fraunhofer IAO eine strategische Roadmap mit den erfolgskritischen Maßnahmen für eine Dekarbonisierung der Baustelle als Ort der Bauausführung bis zum Jahr 2045 erarbeitet. Beide Verbände repräsentieren zum einen eine jährliche Wertschöpfung von fast 400 Mrd. €[1] für den Wirtschaftsstandort Deutschland (2022), zum anderen symbolisieren sie zusammen die immer wichtiger werdende Schnittstelle zwischen klassischen Baugewerken und der zunehmenden Automatisierung bei Baumaschinen und industrieller Fertigung.

Auch wenn Unternehmen des Baugewerbes im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen einen Anteil von nur 1,2 Prozent[2] für die »Produktion« von Gebäuden und Infrastruktur an den gesamten CO_2-Emissionen erzeugen, kann die Vision der klimaneutralen Baustelle ein wichtiger Katalysator in der Transformation unserer gebauten Umgebung sein. Die Bau- und Maschinenbauindustrie kann dabei zusammen Innovationstreiber sowie Impulsgeber für den Hoch- und Tiefbau von morgen sein.

Bereits im Vorgängerprojekt »Bauen 2030«[3] (Wenzel et al., 2022) wurden hierzu mit weiteren Partnern strategische Zukunftsszenarien für die Bau-, Immobilien- und Maschinenbaubranche im Kontext von Klimawandel, Digitalisierung, Strukturwandel, Urbanisierung und vielen weiteren Faktoren erarbeitet. Dabei war die Baustelle als ›genius loci‹ der Bauausführung ein kritischer Schritt im Lebenszyklus von Gebäuden oder Infrastrukturen, die mit dieser vorliegenden Roadmap und weiterer Expertise vertieft betrachtet wurde. Immer wichtiger wird dabei die Rolle von Ökosystemen und Innovationsprozessen entlang der Wertschöpfungskette Bau – weg von linearen Prozessen hin zu integrierten und vernetzten Geschäftsmodellen und neuen Dienstleistungen.

Die folgenden zwölf Handlungsräume der »Strategie-Roadmap Baustelle 2045« geben dabei Antworten auf die erforderlichen Maßnahmen in Politik, Wirtschaft, Bildung, Technik oder Marktdesign: Ausschreibung und Vergabe; Regelwerk, Normen und Zertifizierung; Forschung und Entwicklung; Studium, Aus-/Weiterbildung und Qualifizierung; Prozesse; Digitale Abbilder, Daten und Schnittstellen; Zusammenarbeit und Ökosystem; Baumaschinenpark; Energieversorgung; Wirtschaftlichkeit und Investitionen; Kommunikationstechnologien auf der Baustelle sowie Zirkuläre Baustelle.

Lassen Sie uns gemeinsam Zukunft gestalten!

Steffen Braun

1 Maschinenbau in Zahl und Bild, VDMA, April 2022, abgerufen am 26. Juli 2022.

2 auf den Punkt gebracht »Energieverbrauch und Klimaschutz im Baugewerbe – Eine Datensammlung.« BAU-Industrie 23.3.2023.

3 www.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/images/dokumente/Bauen%202030_Kurzbericht.pdf

Inhalt

1. Einleitung 4

2. Die Baustelle 2045 5
2.1 Definition 5
2.2 Das Ökosystem »Baustelle 2045« 5

3. Roadmap zur klimaneutralen Baustelle 2045 8
3.1 Übersicht der Handlungsräume 8
3.2 Synergien zwischen Handlungsräumen/Abhängigkeiten 10

4. Handlungsräume und Maßnahmen 11
4.1 Ausschreibung und Vergabe 11
4.2 Regelwerk, Normen und Zertifizierung 13
4.3 Forschung und Entwicklung 15
4.4 Studium, Aus-/Weiterbildung und Qualifizierung 17
4.5 Prozesse 19
4.6 Digitale Abbilder, Daten und Schnittstellen 21
4.7 Zusammenarbeit und Ökosystem 23
4.8 Baumaschinenpark 25
4.9 Energieversorgung 27
4.10 Wirtschaftlichkeit und Investitionen 28
4.11 Kommunikationstechnologien auf der Baustelle 30
4.12 Zirkuläre Baustelle 31

5. Ausblick und wissenschaftliche Implikation 33
5.1 Veränderung als kontinuierlicher Prozess 33
5.2 Innovation aus Nischen heraus gestalten 34

6. Abbildungsverzeichnis 36

1. Einleitung

Die vorliegende Strategie-Roadmap »Auf dem Weg zur klimaneutralen Baustelle 2045« betrachtet das »Ökosystem Baustelle« mit allen relevanten Akteuren. In zwölf Handlungsräumen wird der Weg hin zur klimaneutralen Baustelle 2045 skizziert. Auf die Handlungsräume verteilen sich 131 Maßnahmen in 83 Maßnahmenbündel.

Sie wurde erstellt unter Einbindung zahlreicher Experten der beteiligten Verbände, des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie e. V. und des Fachverbands Baumaschinen und Baustoffanlagen im VDMA e. V. Das Fraunhofer IAO übernahm die Organisation, die Moderation in verschiedenen Workshops, unterstützte mit begleitender Forschung und fasste die Ergebnisse zusammen.

Folgende Kernfragen wurden bearbeitet:

- Durch welche Maßnahmen und in welchen Handlungsräumen kann die Bauwirtschaft zur Erreichung der Klimaziele beitragen?
- Von welchen Randbedingungen hängen diese Maßnahmen ab, und zu welchem Zeitpunkt ist eine Umsetzung möglich?

Die Roadmap soll als Diskussionsgrundlage dienen, um daraus Handlungsempfehlungen für die beteiligten Verbände und weitere Stakeholder über die gesamte Wertschöpfungskette Bau sowie Forderungen an die Politik abzuleiten. Grundlage dafür sind die den Handlungsräumen zugeordneten Maßnahmen und damit verbundenen Zeitschienen.

2. Die Baustelle 2045

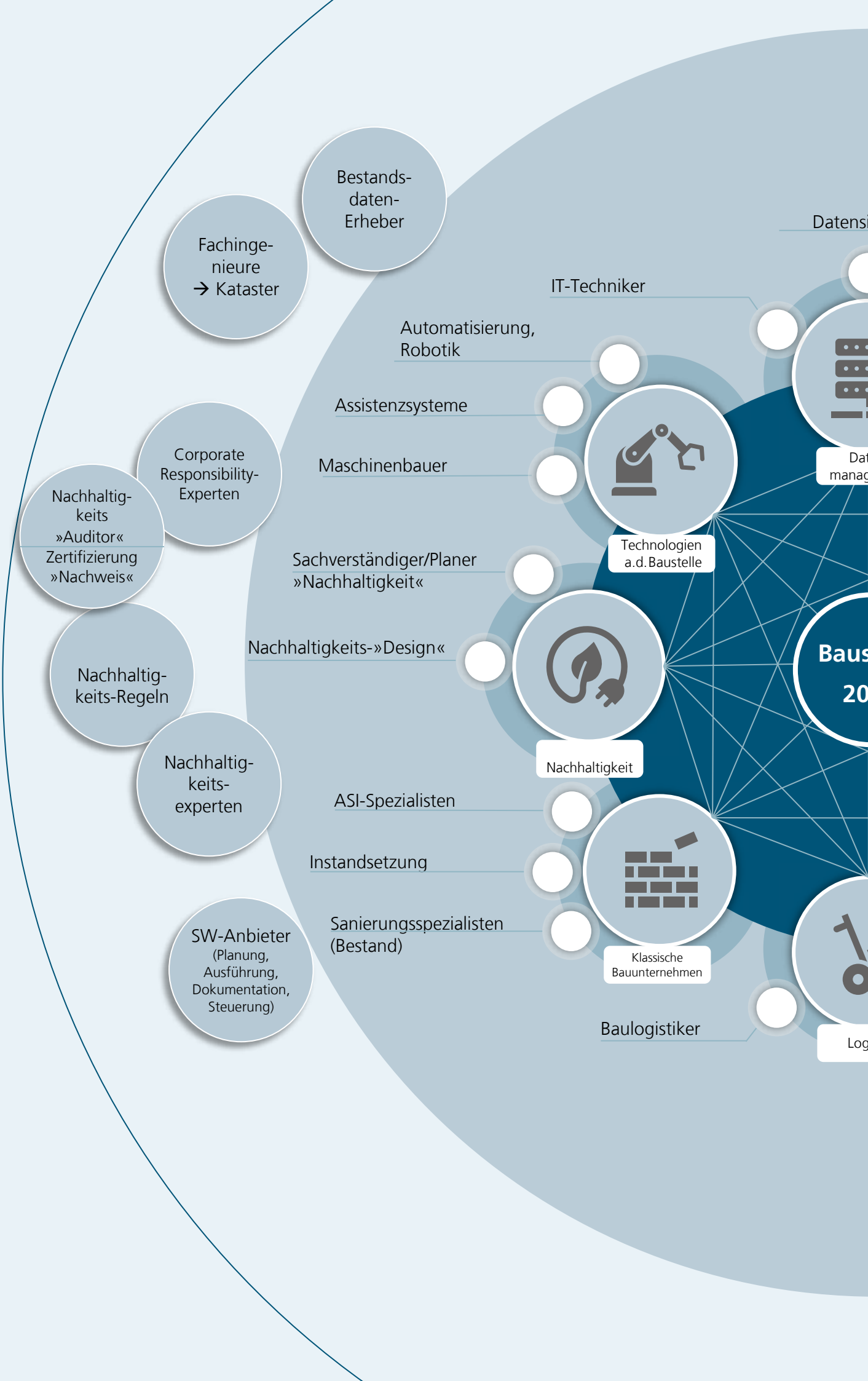
2.1 Definition

Im Jahr 2045 ist die Baustelle durchgängig digitalisiert. Dies bedeutet, dass die Bauindustrie von Anfang an in die digitale Planung des Bauwerks einbezogen wird.

»Baustelle« beinhaltet alle Phasen im bauprojektspezifischen Produktionsprozess bis zur Fertigstellung eines Bauwerks. Damit umfasst die Baustelle auch vor- und nachgelagerte Prozesse wie die Vorfertigung oder das Recycling, die auch an anderen Orten stattfinden können. Berücksichtigt werden auch die mit der Baustelle verbundenen Logistikprozesse und weitere Nachhaltigkeitsaspekte wie z. B. Einflüsse auf die Umgebung. Darüber hinaus werden auch Baumaschinentechnik, Infrastruktur und Management von Energie und Daten miteinbezogen.

2.2 Das Ökosystem »Baustelle 2045«

Die folgende Abbildung stellt schematisch die Zusammenarbeit der Akteure im Ökosystem der Baustelle 2045 dar.


Bestands-
daten-
Erheber
Fachinge-
nieure
→ Kataster
Datensi
IT-Techniker
Automatisierung,
Robotik
Assistenzsysteme
Maschinenbauer
Corporate
Responsibility-
Experten
Nachhaltig-
keits
»Auditor«
Zertifizierung
»Nachweis«
Technologien
a.d. Baustelle
Sachverständiger/Planer
»Nachhaltigkeit«
Nachhaltigkeits-»Design«
Nachhaltig-
keits-Regeln
Nachhaltigkeit
Nachhaltig-
keits-
experten
ASI-Spezialisten
Instandsetzung
Sanierungsspezialisten
(Bestand)
SW-Anbieter
(Planung,
Ausführung,
Dokumentation,
Steuerung)
Klassische
Bauunternehmen
Baulogistiker

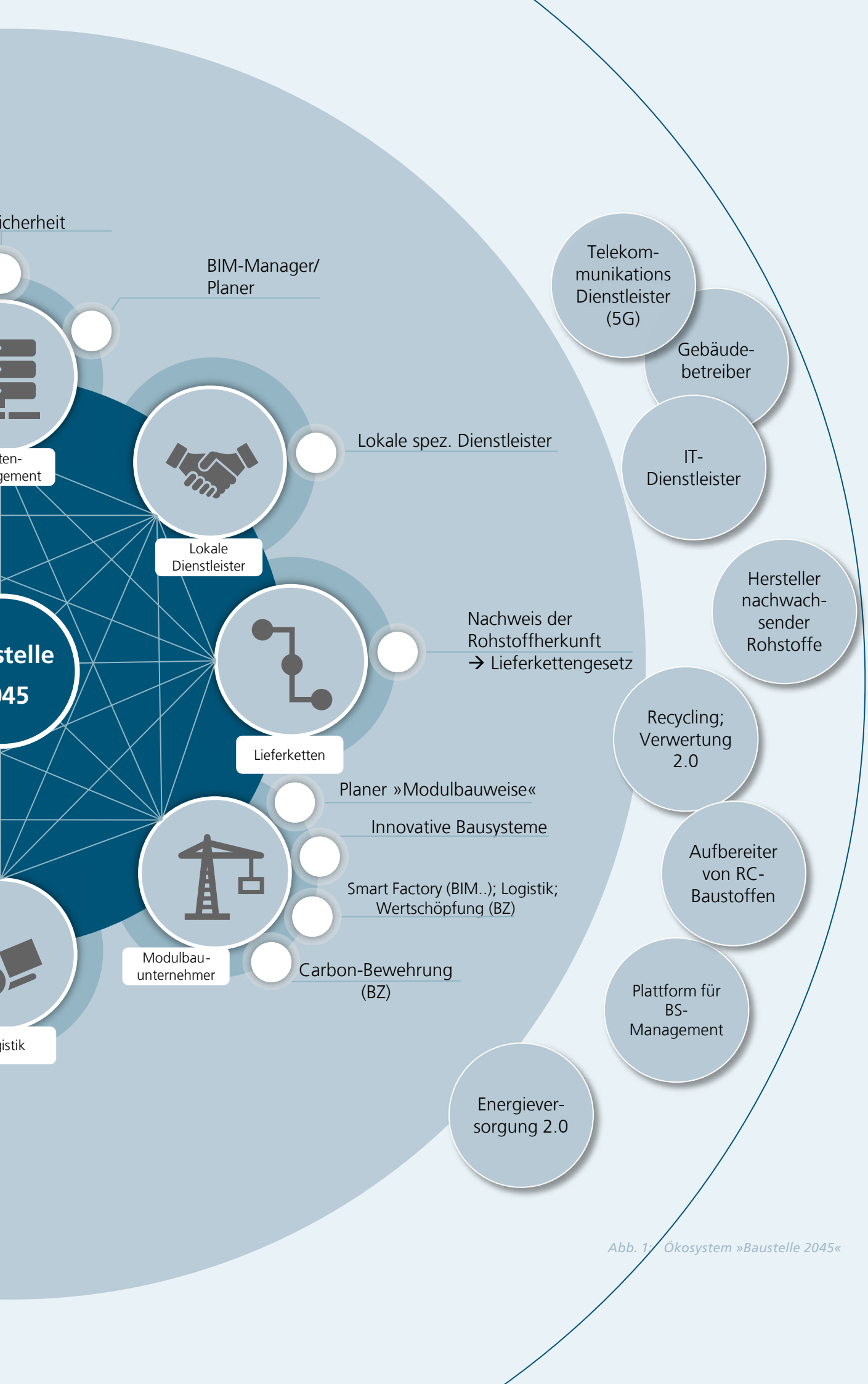


Abb. 1: Ökosystem »Baustelle 2045«

3. Roadmap zur klimaneutralen Baustelle 2045

Im Rahmen des Projektes sind zwölf Handlungsräume entstanden, in denen 131 Teilmaßnahmen in 83 Maßnahmenbündeln auf einer Zeitschiene von heute bis 2045 verortet und adressiert werden können. Ziel ist es, Klarheit in Bezug auf die erforderlichen Rahmenbedingungen und strategischen Weichenstellungen zu erhalten. Auf dieser Grundlage können die notwendigen Instrumente, Maßnahmen und Zwischenschritte für eine erfolgreiche Umsetzung identifiziert werden.

3.1 Übersicht der Handlungsräume

Die folgende Abbildung stellt den Handlungstrichter auf dem Weg zur klimaneutralen Baustelle 2045 dar. Im Zentrum des Trichters befinden sich die im Kern des Ökosystems angesiedelten Handlungsräume, an den Rändern die peripheren Handlungsräume, denen dennoch eine große Bedeutung zugemessen wurde.

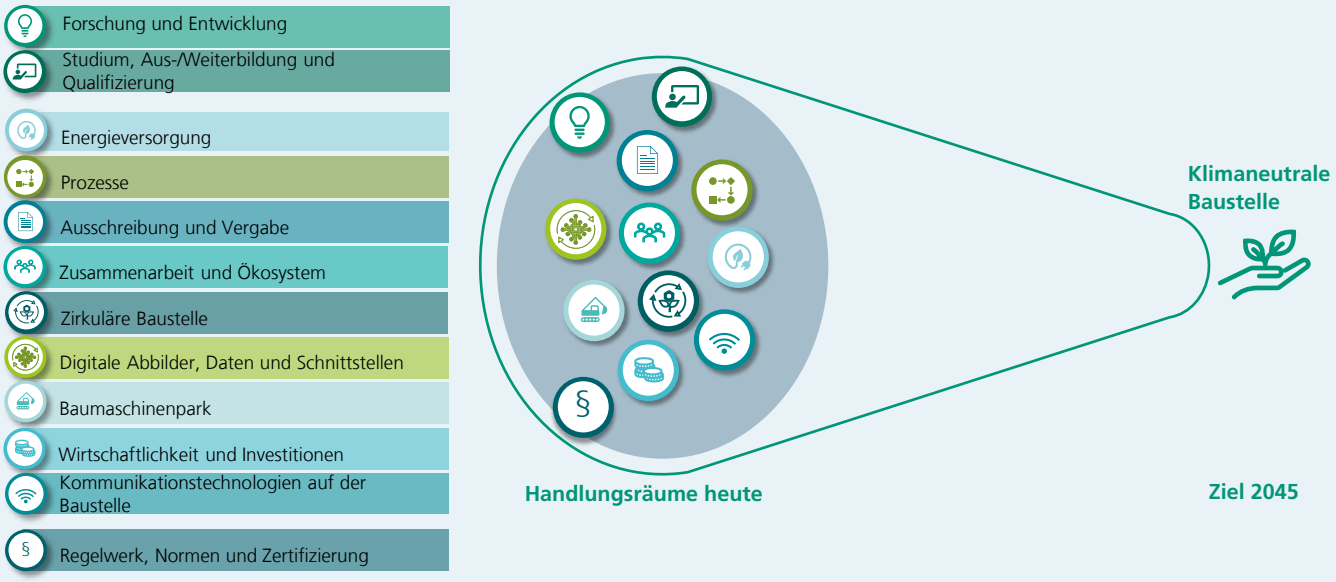


Abb. 2: Übersicht aller Handlungsräume

Die 12 Handlungsräume

- Ausschreibung und Vergabe adressiert die Verankerung von Nachhaltigkeitskriterien im öffentlichen und privaten Bauen.
- Regelwerk, Normen und Zertifizierung bildet die oftmals alles entscheidende Grundlage für die Maßnahmen in anderen Handlungsräumen.
- Forschung und Entwicklung umfasst die Motivation von Forschungs-Institutionen, aber auch von Marktbeteiligten, zur Etablierung einer Innovationsoffensive.
- Studium, Aus-/Weiterbildung und Qualifizierung adressiert sowohl die Anpassung bestehender Curricula als auch den Kompetenzaufbau in neuen Tätigkeitsfeldern (z. B. Nachhaltigkeitsbeauftragte).
- Prozesse umfasst die Optimierung bestehender Prozesse, aber auch das völlige Neudenken von Prozessen im Zuge von Veränderungen von Technologien.
- Digitale Abbilder, Daten und Schnittstellen umfasst sowohl Bauwerksmodelle als auch die Themen Daten und Schnittstellen.
- Zusammenarbeit und Ökosystem betrachtet sowohl die brancheninterne Kommunikation wie auch den Austausch mit anderen Branchen.
- Baumaschinenpark umfasst sowohl neue Antriebstechnologien als auch die Anpassung der Funktionalitäten an geänderte Anforderungen der Baustelle 2045.
- Energieversorgung betrachtet vor allem die Verfügbarkeit nachhaltiger Energieträger – und wenn möglich auch die Energieerzeugung – auf der Baustelle.
- Wirtschaftlichkeit und Investitionen zielt auf eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über den gesamten Lebenszyklus und geht der Frage nach, wie Aufwände für die Transformation finanziert werden.
- Kommunikationstechnologien auf der Baustelle umfasst kabellose Datennetz-Infrastrukturen, Baumaschinen und Automatisierung.
- Zirkuläre Baustelle adressiert die Frage einer 100%igen Kreislaufführung aller Bauteile und Baustoffe von Bauwerken.

3.2 Synergien zwischen Handlungsräumen / Abhängigkeiten

In der Diskussion der zwölf Handlungsräume wurden starke Synergien bzw. Abhängigkeiten identifiziert. Folgende Abbildung stellt diese Verbindungen schematisch dar.

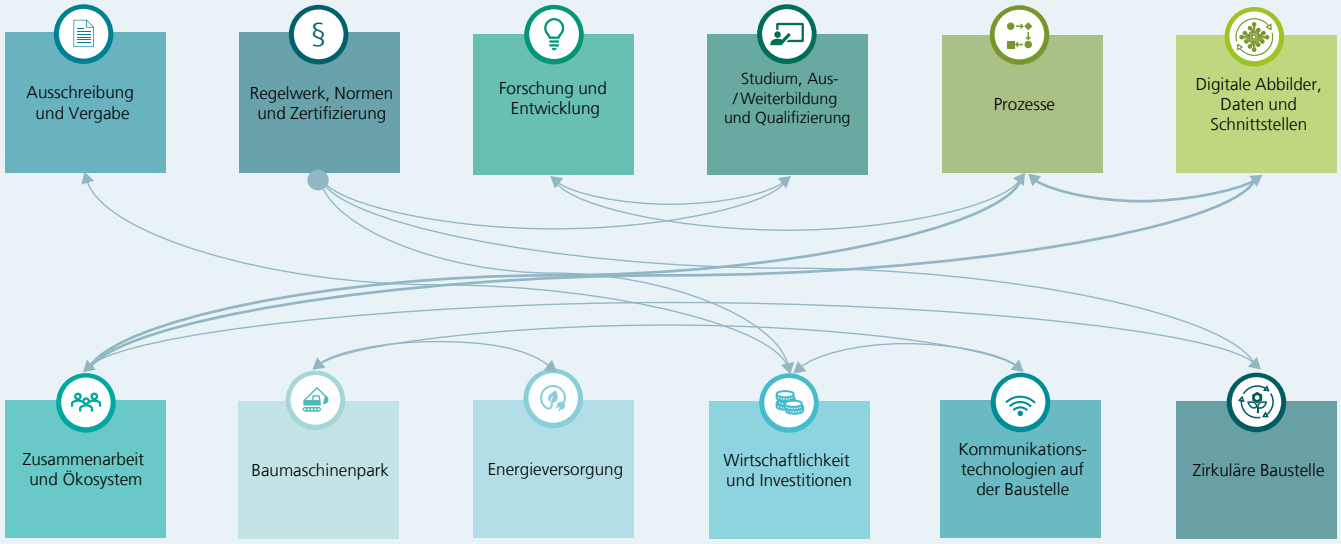


Abb. 3: Synergien und Abhängigkeiten zwischen den Handlungsräumen

Zwischen den Handlungsräumen Prozesse sowie Digitale Abbilder, Daten und Schnittstellen und Zusammenarbeit/Ökosystem wird eine sehr starke Abhängigkeit gesehen.

Ähnliches gilt für den Zusammenhang von Baumaschinenpark und Energieversorgung. (Wie kommt die Energie auf die Baustelle, um die Baumaschinen zu betreiben?)

Der Handlungsraum Regelwerk, Normen und Zertifizierung hat eine starke Auswirkung auf andere Handlungsräume, u. a. Studium, Aus-/Weiterbildung und Qualifizierung sowie Wirtschaftlichkeit und Investitionen, und vor allem auf die Zirkuläre Baustelle.

4. Handlungsräume und Maßnahmen

Im Folgenden werden die zwölf Handlungsräume jeweils in einer Übersicht mit den Zeithorizonten der einzelnen Maßnahmenbündel skizziert. Dafür werden jeweils die Teilziele und die für die Maßnahmen zuständigen Akteure – in den drei Hauptgruppen Bauwirtschaft (Symbol: Bagger), Politik (Symbol: Justizgebäude) und Markt (Symbol: Kreislauf) – dargestellt.

Im Anschluss werden die Maßnahmenbündel und Teilmaßnahmen kurz beschrieben. Anmerkungen aus der Dokumentation der Expertendiskussion schließen die jeweilige Beschreibung ab.

4.1 Ausschreibung und Vergabe

Der Handlungsraum Ausschreibung und Vergabe adressiert die Verankerung von Nachhaltigkeitskriterien im öffentlichen und privaten Bauen.

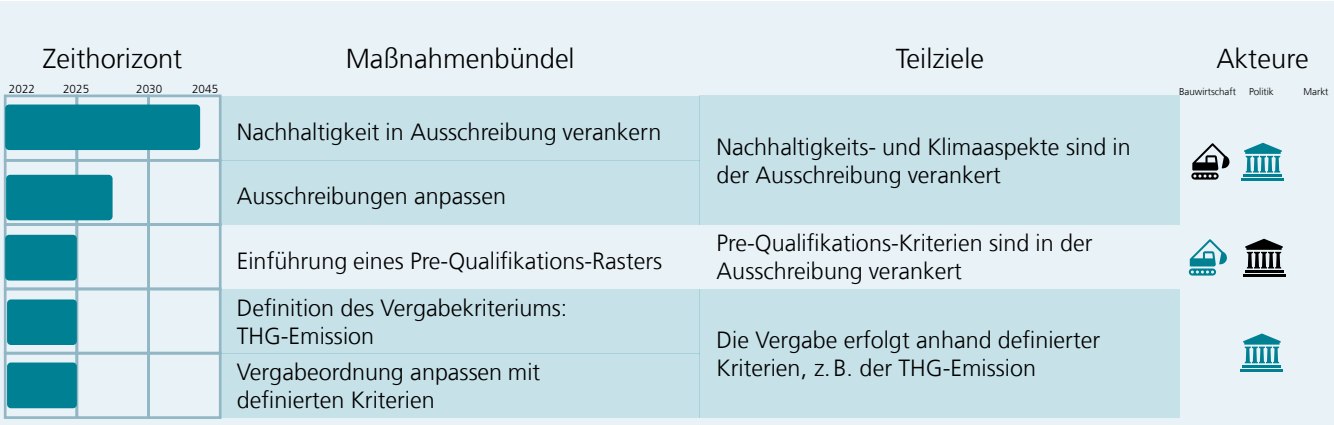


Abb. 4: Übersicht über den Handlungsraum Ausschreibung und Vergabe

4.1.1 Teilziel: Nachhaltigkeits- und Klimaaspekte sind in der Ausschreibung verankert

Private und öffentliche Auftraggeber definieren über die Ausschreibung und Vergabe maßgeblich Art und Umfang der Anforderungen an die Klimaverträglichkeit der Bauwerke. Über alle gesammelten Teilmaßnahmen hinweg sind sich die Experten und Expertinnen einig, dass die verwendeten Kriterien entlang der Möglichkeiten des Marktes schrittweise bis zur Klimaneutralität in 2045 angepasst werden müssen. Es wird gefordert, dass die Etablierung dieser Anreizsysteme immer das Ziel der Förderung eines fairen Wettbewerbs verfolgt und dass performative Kriterien zum Einsatz kommen, die innovative Lösungen fördern.

4.1.2 Teilziel: Pre-Qualifikations-Kriterien sind in der Ausschreibung verankert

Eine Möglichkeit, Anreize für Unternehmen des Bausektors hinsichtlich einer Unternehmenstransformation in Richtung ökologischer Nachhaltigkeit zu schaffen, besteht darin, Pre-Qualifikations-Regeln als Teilnahmekriterien für das ausgeschriebene Projekt einzuführen. Diese beziehen sich z. B. auf Transportwege, die zu verwendenden Materialen sowie die einzusetzenden Baumaschinen und Geräte und bestimmen die Kriterien, die für eine Teilnahme an Ausschreibungsprozessen in Bezug auf eine Klimaanpassung notwendig sind. Damit wird die Teilnahme eines (Bau)unternehmens an einer Ausschreibung maßgeblich davon abhängen, ob es die Kriterien oder Pre-Qualifikationen erfüllt. Offenkundige Pre-Qualifikations-Regeln, die strengere Kriterien in Bezug auf Klimafreundlichkeit bzw. -verträglichkeit umfassen, könnten somit von vornherein Anreize für eine klimagerechte Unternehmenskultur schaffen.

4.1.3 Teilziel: Die Vergabe erfolgt anhand definierter Kriterien, z. B. der THG-Emission

Neben der Implementation der bereits beschriebenen Pre-Qualifikations-Regeln, die der eigentlichen Ausschreibung vorgelagert sind, müssen die bisherigen auf Wirtschaftlichkeit fokussierten Vergabemechanismen noch modifiziert werden. Neben der Wirtschaftlichkeit sollten auch nachhaltige Aspekte, wie z. B. die Reduktion von THG-Emissionen, als Vergabekriterien berücksichtigt werden. Eine klare und einheitliche Definition für das Kriterium »THG-Emission« soll gefunden und in der Vergabeordnung implementiert werden.

4.2 Regelwerk, Normen und Zertifizierung

Dieser Handlungsraum hat sich zum Ziel gesetzt, performative und innovationsoffene Regulierungen voranzubringen. Er bildet die oftmals alles entscheidende Grundlage für die Maßnahmen in anderen Handlungsräumen.

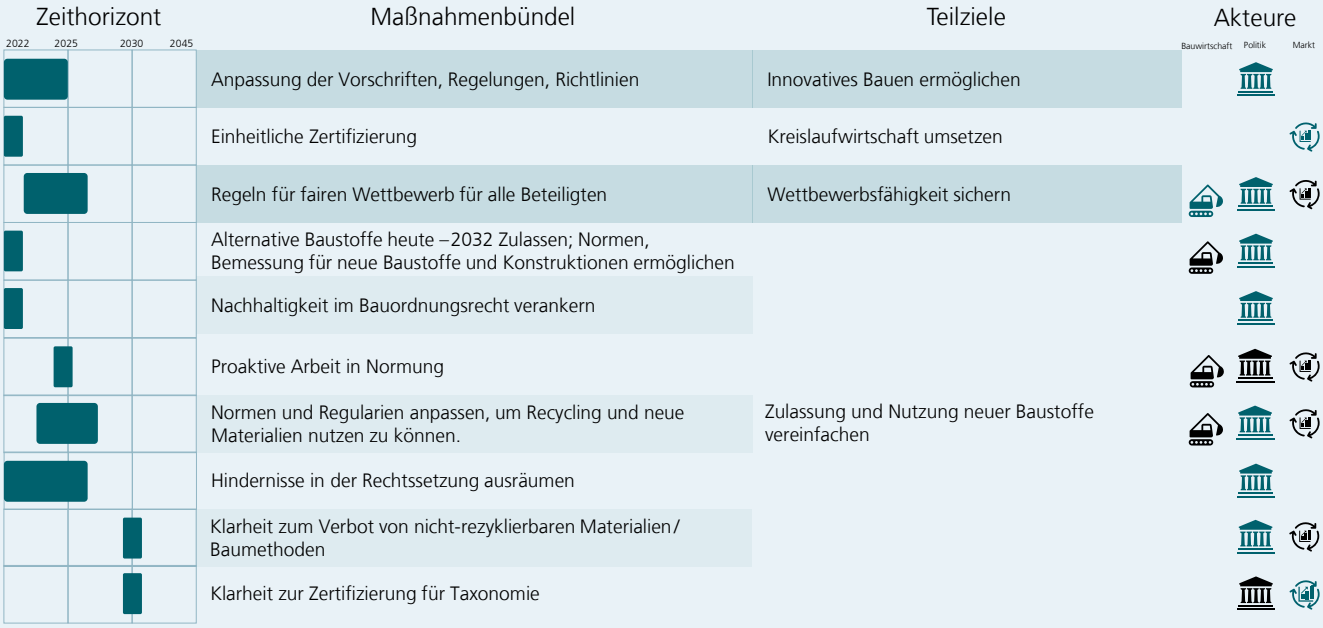


Abb. 5: Übersicht über den Handlungsraum Regelwerk, Normen und Zertifizierung

4.2.1 Teilziel: Innovatives Bauen ermöglichen

Um Innovationen im Bauen im Allgemeinen sowie das nachhaltige Bauen im Besonderen zu ermöglichen und zu fördern, muss die bestehende Regulatorik im Sinne des Klimaschutzes neu ausgerichtet werden. Prozesse der Normung und Zulassung müssen in Bezug auf ihre Starrheit korrigiert werden und den Einsatz performativer Kriterien ermöglichen. Ebenso muss das Zusammenspiel paralleler Regelwerke und Rechtskreise, die mit unterschiedlichen Zielsetzungen geschaffen wurden, vereinheitlicht werden. Neben der Etablierung weiterer Anreizsysteme für den Bausektor für Investitionen in innovative Lösungsansätze wird ein zentraler Hebel in Vergabe und Vertragsmodellen gesehen, die Innovationen ermöglichen und eine faire Risikoverteilung zwischen den Vertragspartnern gewährleisten.

4.2.2 Teilziel: Kreislaufwirtschaft umsetzen

Die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft steht in enger Verbindung mit einer Adaption von Rechtsnormen und Regularien (vgl. 4.2.1). Da der Einsatz von Recycling-Baustoffen, wie Recycling-Beton, heute oft an einschränkenden Regularien scheitert oder infolge längerer Prüfungs- und Genehmigungszeiten oft Kostensteigerungen und Bauzeitverlängerungen verursacht, müssen die betreffenden Rechtsvorschriften und Regularien weiterentwickelt werden. Die Schlechterstellung gegenüber Primärmaterialen und die daraus folgende mangelnde Akzeptanz von Sekundärmaterialen müssen beendet werden.

4.2.3 Teilziel: Wettbewerbsfähigkeit sichern

Um die Ziele des nachhaltigen Bauens zu erreichen, sind Messbarkeit und Vergleichbarkeit gefordert. Diese können nur durch standardisierte und durchgängige Bewertungs- und Zertifizierungs- sowie Auditierungssysteme gewährleistet werden. Faire Regeln für alle Beteiligten sind nötig, um die Wettbewerbsfähigkeit von (Bau-)unternehmen sicherzustellen.

4.2.4 Teilziel: Zulassung und Nutzung neuer Baustoffe vereinfachen

Neue Baustoffe erfordern neue Bauweisen und Bauverfahren und somit neue Normen sowie Zulassungen. Auch hier müssen die Prozesse vereinfacht und zeitlich gestrafft und die unterschiedlichen Rechtsräume (z. B. Bauprodukteverordnung und Bauordnungsrecht) in Einklang miteinander gebracht werden.

4.3 Forschung und Entwicklung

Dieser Handlungsraum adressiert die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Digitalisierung, Standardisierung und der Kreislauffähigkeit der Baustelle. Er umfasst die Motivation von Forschungsinstitutionen, aber auch von Marktbeteiligten zur Etablierung einer Innovationsoffensive.

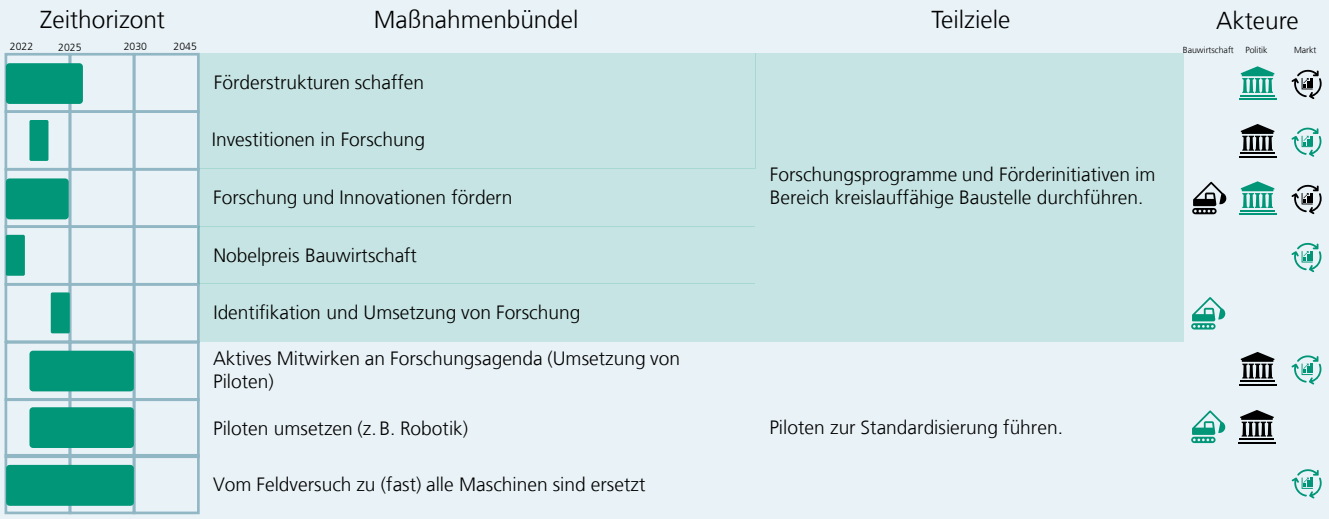


Abb. 6: Übersicht über den Handlungsraum Forschung und Entwicklung

4.3.1 Teilziel: Forschungsprogramme und Förderinitiativen im Bereich kreislauffähige Baustelle durchführen

Dieses Maßnahmenbündel betrifft sowohl die am Markt agierenden Unternehmen als auch staatliche Förderprogramme für Grundlagen- und angewandte Forschung. Innerhalb der nächsten drei bis vier Jahre müssen die Grundlagen für das Initiieren und den Beginn erster Innovationsprojekte, Forschungsprogramme und Förderinitiativen gelegt sein, um dringende Forschungsfragen bis 2045 lösen zu können. Formate sind auf Unternehmensseite die Förderung einer Start-up-Kultur, die durch staatlich geförderte Forschungsvorhaben flankiert wird. Forschungspreise (»Nobelpreis für Nachhaltiges Bauen«) sollen die Potenziale von Innovationen im Bauen zur Erreichung der Klimaziele sichtbar machen und damit Anreize zur Beteiligung schaffen.

4.3.2 Teilziel: Piloten zur Standardisierung führen

Erst der Roll-out in der Fläche bedeutet Erfolg beim Klimaschutz. Bis zum Jahr 2030 müssen daher aus den Pilotprojekten Standards abgeleitet werden. Die Experten und Expertinnen sehen hier als wichtigen Erfolgsfaktor eine aktive Mitwirkung der Branche an der Definition der Forschungsagenda, den Forschungsbedarfen und der Bereitstellung von Testfeldern. Die rechtlichen Rahmenbedingungen (siehe Gewährleistungsproblematik in 4.2.1) müssen für diese

Piloten bereits bestehen, um die Risiken für innovative Akteure zu reduzieren und Anreizsysteme für die Mitwirkung an den Piloten zu schaffen. Hintergrund ist die Überzeugung, dass benötigte neue Richtlinien nur durch Erfahrung und Testen in Pilotprojekten entwickelt werden können. Diese Wechselwirkung soll in kurzen iterativen Zyklen umgesetzt werden, um eine schnelle Übertragung in den Markt zu ermöglichen.

4.4 Studium, Aus-/Weiterbildung und Qualifizierung

Dieser Handlungsraum adressiert sowohl die Anpassung bestehender Curricula als auch den Kompetenzaufbau in neuen Tätigkeitsfeldern (z. B. Nachhaltigkeitsbeauftragte).

Das übergeordnete Ziel dieses Handlungsraums ist es, das Studium und die Aus- und Weiterbildung sowie Qualifizierungen der gesamten Wertschöpfungskette Bau an den neusten Stand der Forschung und Bautechnik sowie sonstige Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Reduktion von CO_2 im Bauprozess anzupassen. Dabei geht es u. a. um den akademischen (Planer, Architekten, Bauleiter etc.) und den nichtakademischen (Facharbeiter, Poliere etc.) Bestand an Arbeitskräften und den Nachwuchs. Der Zeithorizont für diesen Handlungsraum ist mit dem Abschluss der meisten Maßnahmen im Jahr 2035 vergleichsweise kurz. Da diese aber nach Abschluss in einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess münden, in dem Anpassungen aus der Praxis nach und nach eingearbeitet werden, laufen die genannten Maßnahmen nach ihrer Initiierung kontinuierlich weiter.

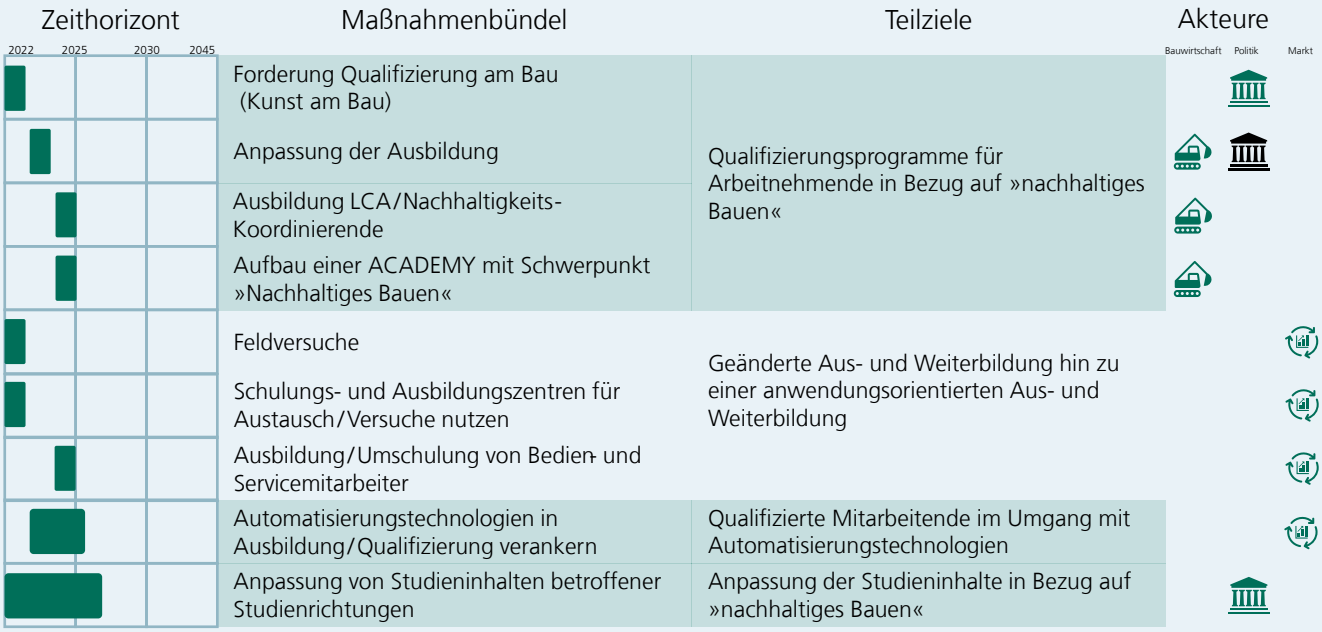


Abb. 7: Übersicht über den Handlungsraum Studium, Aus-/Weiterbildung und Qualifizierung

4.4.1 Teilziel: Qualifizierungsprogramme für Arbeitnehmende in Bezug auf »nachhaltiges Bauen«

In den nächsten drei Jahren soll den geänderten Kompetenzanforderungen für die klimaneutrale Baustelle dadurch Rechnung getragen werden, dass bestehende Qualifizierungs- und Weiterbildungsformate ergänzt und angepasst werden und entsprechend neue Formate z. B. für Nachhaltigkeits-Koordinatoren etabliert werden. Eine mit öffentlichen Mitteln geförderte branchenübergreifende ACADEMY o. Ä. mit dem Schwerpunkt »nachhaltiges Bauen« wäre ein Baustein, um die o. g. Anforderungen abzudecken.

4.4.2 Teilziel: Änderungen im Sinne einer anwendungsorientierten Aus- und Weiterbildung

Um den Bezug zur Praxis in Ausbildung und Qualifizierung zu stärken, sollen für Feldversuche und Pilotvorhaben stets auch die Schulungs- und Ausbildungszentren genutzt werden. Personal in Berufsbildern, die im Kontext der Baustelle 2045 wegfallen, soll gezielt umgeschult werden.

4.4.3 Teilziel: Qualifizierte Mitarbeitende im Umgang mit Automatisierungstechnologien

Die Qualifizierung zur Nutzung von Automatisierungstechnologien auf der Baustelle soll bis 2026 sowohl in der Weiterbildung als auch in Ausbildung und Lehre verankert sein.

4.4.4 Teilziel: Anpassung der Studieninhalte in Bezug auf »nachhaltiges Bauen«

Studieninhalte der betroffenen Studienrichtungen, z. B. Bauwesen oder Architektur, müssen entsprechend den neuen Anforderungen angepasst werden, damit zukünftige Ingenieure und Architekten das erforderliche Wissen unmittelbar in die Praxis einbringen können. Diese können auch als Multiplikatoren in den Unternehmen wirken.

4.5 Prozesse

Der Handlungsraum Prozesse verfolgt das Ziel, ganzheitliche Prozesse zu etablieren und mit digitalen Werkzeugen zu optimieren. Adressiert werden sowohl die Optimierung bestehender Prozesse als auch das völlige Neudenken von Prozessen im Zuge von Veränderungen von Technologien.

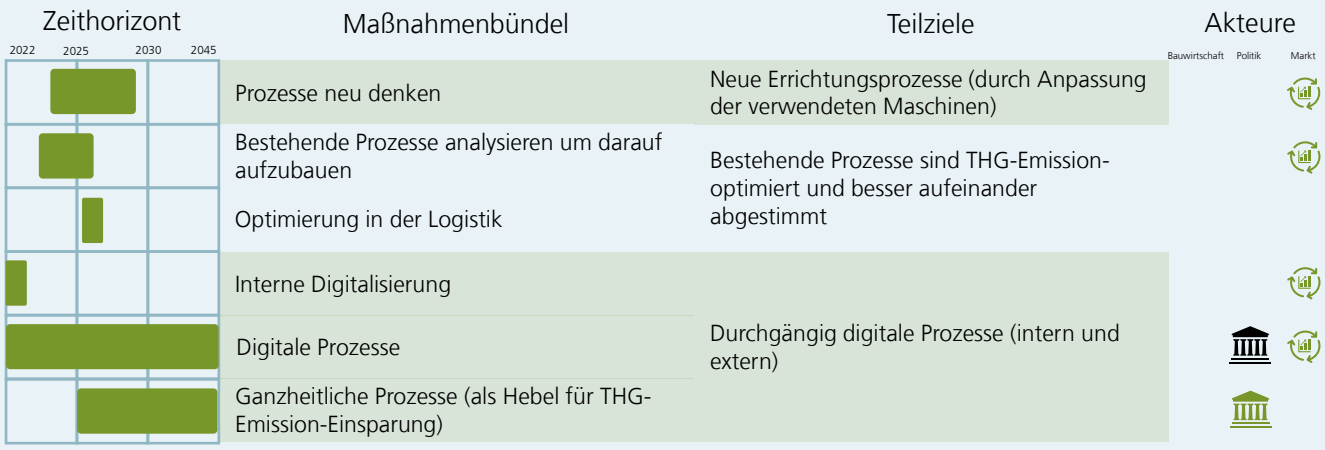


Abb. 8: Übersicht über den Handlungsraum Prozesse

4.5.1 Teilziel: Neue Errichtungsprozesse (durch Anpassung der verwendeten Maschinen)

Durch den Einsatz von digitalisierten, teil- und vollautonomen Baumaschinen und Geräten verändern sich bestehende Prozesse auf der Baustelle nicht nur, sondern müssen teilweise komplett neu gedacht werden. Eine ganzheitliche Betrachtung, z. B. im Rahmen von Prozessworkshops unter Einbindung aller Beteiligten, soll die theoretische Grundlage für neue Prozesse legen. Ein zeitnahes Testen in der Praxis im Rahmen von Pilotvorhaben und Reallaboren unterstützt die schnelle Umsetzung.

4.5.2 Teilziel: Bestehende Prozesse sind THG-Emission-optimiert und besser aufeinander abgestimmt

Auf der Grundlage definierter Prozessanalysen werden etablierte Baustellenprozesse hinsichtlich der Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen analysiert und Optimierungspotenziale ermittelt und iterativ umgesetzt. Dabei werden vor allem Digitalisierung und Automatisierung zur Lösungsunterstützung berücksichtigt.

Durch einen hohen Vorfertigungsgrad gewinnen die Prozesse der Logistik mit einer Zunahme von Transporten und z. T. Großraum- und Schwertransporten an Bedeutung und müssen dementsprechend neu gedacht werden.

4.5.3 Teilziel: Durchgängig digitale Prozesse (intern und extern)

Neben zahlreichen internen Prozessen, die z. T. heute schon mittels digitaler Innovationen (KI, Echtzeit-Sensorik, Maschinenvernetzung, Plattformen) optimiert werden, schätzen die Experten und Expertinnen bereits ab 2025 auch eine systemübergreifende ganzheitliche Vernetzung der Prozesse als hohes Potenzial zur Erreichung der Klimaziele ein.

4.6 Digitale Abbilder, Daten und Schnittstellen

Das Ziel des Handlungsraums Digitale Abbilder, Daten und Schnittstellen ist die weitgehend digitalisierte und automatisierte Baustelle unter Berücksichtigung der Datensicherheit und -souveränität. Er umfasst somit das Bauwerksmodell wie auch die Themen Daten und Schnittstellen. Die Experten und Expertinnen betonen eine hohe Wechselwirkung zwischen diesem und dem Handlungsraum Prozesse.

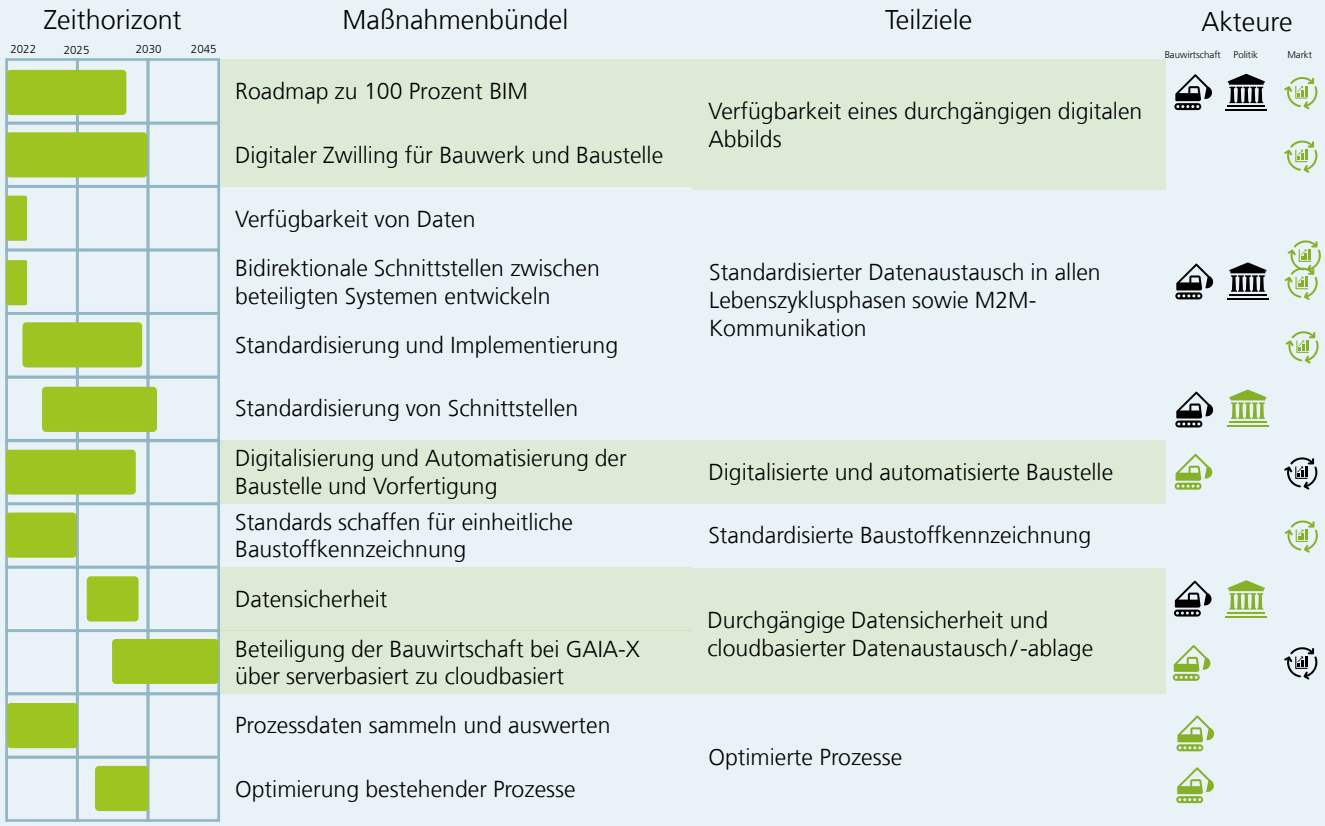


Abb. 9: Übersicht über den Handlungsraum Digitale Abbilder, Daten und Schnittstellen

4.6.1 Teilziel: Verfügbarkeit eines durchgängigen digitalen Abbilds

Aus der Kombination von BIM und Digitalen Zwillingen entsteht ein durchgängiges digitales Abbild des Bauwerks. Dabei sind sowohl Kompetenzen als auch Daten die Voraussetzung für den Einsatz von digitalen Abbildern. Die Experten und Expertinnen rechnen bis 2028 mit einer kompletten Umsetzung von BIM für alle Bauvorhaben und sehen Qualifizierung, Anreiz und Förderung als auch die Vorgabe von BIM als Teilmaßnahmen. Der Weg von BIM zum Digitalen Zwilling wird über die Umsetzung von BIM im einzelnen Unternehmen, die Verknüpfung der BIM-Modelle über die an der Baustelle beteiligten Akteure hinweg und die zunehmende Nutzung der digitalen Abbilder für die automatisierte Bauwerkserstellung und später auch

-steuerung gesehen. Bis 2030 sollen dann auch die digitalen Abbilder der einzelnen Bauwerke zu einem Quartiers- und Stadtsystem vernetzt und im engen Erfahrungsaustausch aller Akteure eine iterative Optimierung der eingesetzten Werkzeuge und Methoden etabliert sein.

4.6.2 Teilziel: Standardisierter Datenaustausch in allen Lebenszyklusphasen sowie M2M-Kommunikation

Ausgehend von der Erstellung und Erfassung von Daten zum Bauwerk, Material, Baumaschinen und Prozessen werden zeitnah bidirektionale Schnittstellen zwischen den beteiligten Systemen entwickelt und mittels standardisierter Erfolgskriterien evaluiert. Die so gewonnenen Erkenntnisse münden in die Implementierung von digitalen Plattformen, auf denen die Daten mittels standardisierter Schnittstellen zuerst in Teilsystemen und später systemübergreifend zusammengeführt werden. Somit werden Daten von bislang getrennt betrachteten Systemen über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks im Kontext seiner gebauten Umgebung zur Optimierung sowohl von Teilprozessen als auch von prozessübergreifenden Potenzialen nutzbar.

4.6.3 Teilziel: Die digitalisierte und automatisierte Baustelle

Auf dem Weg zum Ziel einer hochgradig automatisierten Baustelle (Vorfertigung, Logistik, Montage) sehen die Experten und Expertinnen bis zum Jahr 2030 die Umsetzung neuer Verfahren in den Bereichen: Additiver Vorfertigung, Automatisierte Baustellenlogistik, Mobile Robotik, Mensch-Roboter-Kooperation, Additive Verfahren auf der Baustelle und ein durchgängig vernetzter Maschinenpark.

4.6.4 Teilziel: Standardisierte Baustoffkennzeichnung

Die Etablierung einer standardisierten Baustoffkennzeichnung bis 2025 wird als essenzielle Grundlage für die Nutzung von baustoffrelevanten Daten angesehen.

4.6.5 Teilziel: Durchgängige Datensicherheit und cloudbasierter Datenaustausch/-ablage

Neben der Standardisierung von Daten und Schnittstellen (siehe 4.6.2 Standardisierter Datenaustausch) werden Lösungen und Regelungen zur Datensicherheit und Datensouveränität als unabdingbarer Schritt hin zu einer cloudbasierten Datenaustauschplattform angesehen. Hier wird vor allem die Beteiligung der Bauwirtschaft bei der Entwicklung und Umsetzung von regionalen Cloud-Lösungen, wie z. B. GAIA X, als wichtig erachtet.

4.6.6 Teilziel: Optimierte Prozesse

Die Potenziale einer gesamtsystemischen Prozessoptimierung sollen bis 2030 mit der Optimierung erster bestehender Prozesse umgesetzt und nutzbar gemacht werden. Grundlage dafür sind bis 2025 digital vorliegende Prozessdaten, die gesammelt auf Optimierungspotenziale hin ausgewertet werden.

4.7 Zusammenarbeit und Ökosystem

Der Handlungsraum Zusammenarbeit und Ökosystem betrachtet sowohl die brancheninterne Kommunikation wie auch den Austausch mit anderen Branchen.

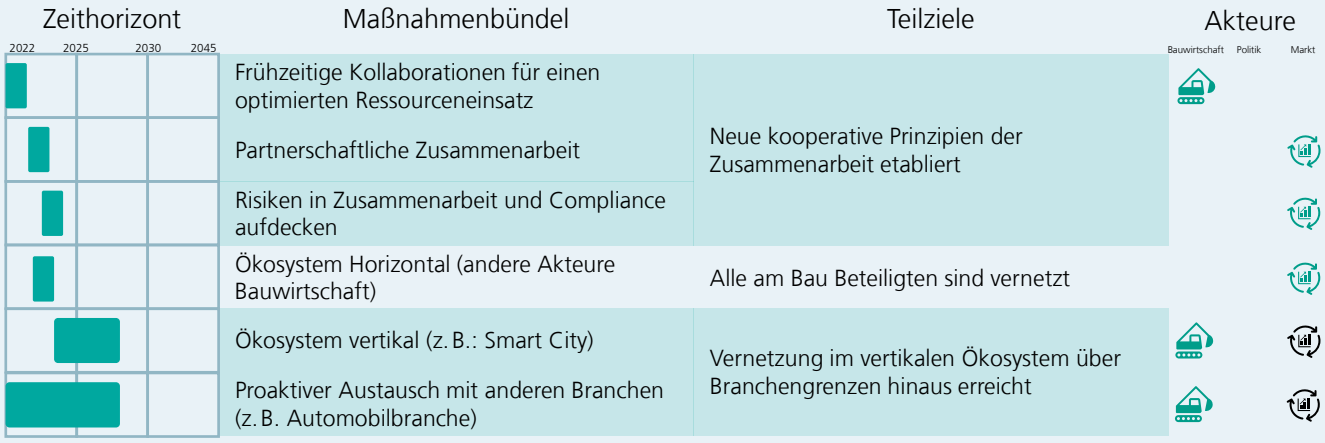


Abb. 10: Übersicht über den Handlungsraum Zusammenarbeit und Ökosystem

4.7.1 Teilziel: Neue kooperative Prinzipien der Zusammenarbeit etabliert

Mit einer bis 2023 initial umgesetzten Kooperation der Akteure aus Planung und Ausführung ist der Einsatz von Ressourcen in ersten Projekten gemeinsam optimiert und somit Verschwendung durch Frontloading von Wissen aus der Ausführung in frühe Planungsphasen vermieden worden. Diese Maßnahme wird als Ausgangspunkt einer sich bis 2045 verstetigten, iterativ optimierten und dauerhaft etablierten kooperativen Vorgehensweise angesehen.

Als klare Spielregeln für eine partnerschaftliche Zusammenarbeit sollen rechtliche Belange (siehe Handlungsraum 2 Regelwerk, Normen und Zertifizierung) unter Berücksichtigung einer offenen Diskussion von Risiken im Umfeld von Zusammenarbeit und Compliance neu definiert werden.

4.7.2 Teilziel: Alle am Bau Beteiligten sind vernetzt

Als horizontale Vernetzung wird der Austausch aller Beteiligten im Kontext der »Baustelle 2045« gesehen, der nach Meinung der Experten und Expertinnen bis 2024 in einem dauerhaften Format etabliert sein muss.

4.7.3 Teilziel: Vernetzung im vertikalen Ökosystem über Branchengrenzen hinaus erreicht

Als vertikale Vernetzung wird der Austausch zwischen den Beteiligten der »Baustelle 2045« und anderen Branchen gesehen. Ausgehend von der Bauwirtschaft könnte etwa bis 2027 ein dauerhaftes Format etabliert werden, das z. B. die Landtechnikbranche, die Automobilindustrie und den Maschinenbau in einen Austausch zur Erreichung von Klimazielen setzt und dabei auch angrenzende Branchen wie GIS einbindet.

4.8 Baumaschinenpark

Der Handlungsraum Baumaschinenpark hat die Ziele, den Baumaschinenpark schrittweise auf schadstoffarme Antriebstechnologien umzustellen, die CO_2-Emissionen kontinuierlich zu reduzieren und die Funktionalität der Maschinen an geänderte Anforderungen und Bauverfahren (z. B. Vorfertigung, Logistik großer vorgefertigter Teile, Automatisierung bzw. Teilautomatisierung) anzupassen. Er wird von den Experten und Expertinnen u. a. in engem Zusammenhang mit Handlungsraum 9 Energieversorgung gesehen. Der Handlungsraum umfasst jedoch nicht nur Antriebstechnologien, sondern auch die Anpassung der Funktionalitäten an geänderte Anforderungen der Baustelle 2045.

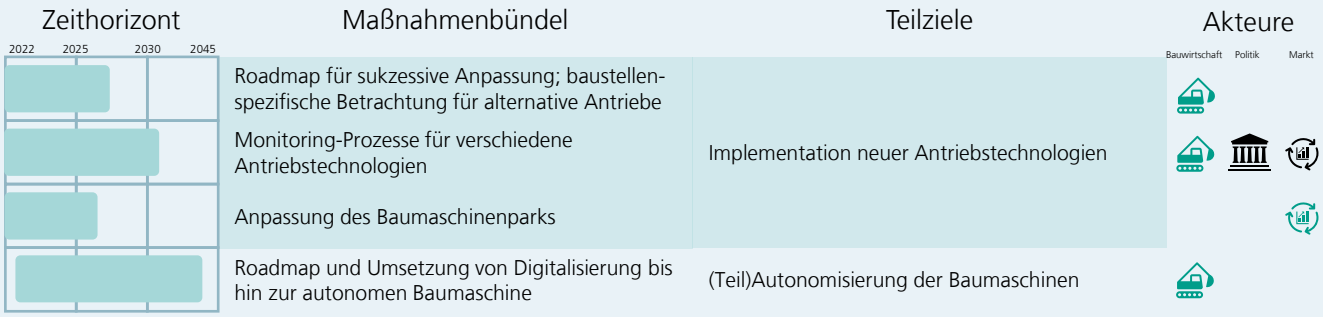


Abb. 11: Übersicht über den Handlungsraum Baumaschinenpark

4.8.1 Teilziel: Implementation neuer Antriebstechnologien

Das zielgerichtete Vorgehen in der Transformation des Baumaschinenparks setzt ein fundiertes Wissen über ganzheitlich betrachtete Effekte der Änderungsoptionen voraus. So fehlen beispielsweise für die Entscheidung, welche Antriebsmittel sich am besten zur Erreichung der Klimaziele eignen, ganzheitliche Analysen und Bilanzen von THG-Emissionen. Bei einer Beurteilung von Kosten und Nutzen der Maßnahmen muss nach Expertenmeinung die Art und die Lage der Baustelle (z. B. Besiedlungsdichte, Infrastruktur für Energieträger) sowie die »Art und Größe« (Leistungsklasse) der Baumaschine genau differenziert werden. Somit wird eine pauschale Festlegung auf eine Lösung sehr kritisch betrachtet und eine technologieoffene Transformation betont. Als Ersatz für fossile Energieträger kommt je nach Anwendungsfall und Verfügbarkeit die Umstellung auf synthetische Kraftstoffe (u. a. E-Fuel), Wasserstoff oder Elektrizität infrage.

Begleitend zu den Erfahrungen aus ersten Projekten werden konsequent genutzte Monitoring-Prozesse als extrem wichtig erachtet, um die parallel laufenden Entwicklungen in den Bereichen Energieversorgung (Verfügbarkeit von Energieträgern und den notwendigen Infrastrukturen), technologische Entwicklung von Antrieben und die sich ändernden Bedarfe der Baustelle bestmöglich zu berücksichtigen. Die Experten und Expertinnen betonen auch den für eine ganzheitliche Bilanzierung wichtigen Zusammenhang zwischen Antriebstechnologie und den Emissionen aus der Herstellung und Breitstellung der dafür benötigten Energieträger.

4.8.2 Teilziel: (Teil)autonomisierung der Baumaschinen

Auf dem Weg hin zur (teil)autonomen Baustelle werden durchgängig digitalisierte Prozesse, die es ermöglichen, Planungsdaten direkt auf den Maschinen zu nutzen, als genauso wichtig angesehen wie die Entwicklung der Automatisierung und später dann ggf. auch die weitgehende Autonomisierung der Baumaschinen selbst.

4.9 Energieversorgung

Der Handlungsraum Energieversorgung verfolgt das übergeordnete Ziel, auf der Baustelle eine Energieversorgung auf Basis regenerativer Energiequellen sicherzustellen. Betrachtet werden vor allem die Verfügbarkeit nachhaltiger Energieträger – und wenn möglich auch die Energieerzeugung – auf der Baustelle.

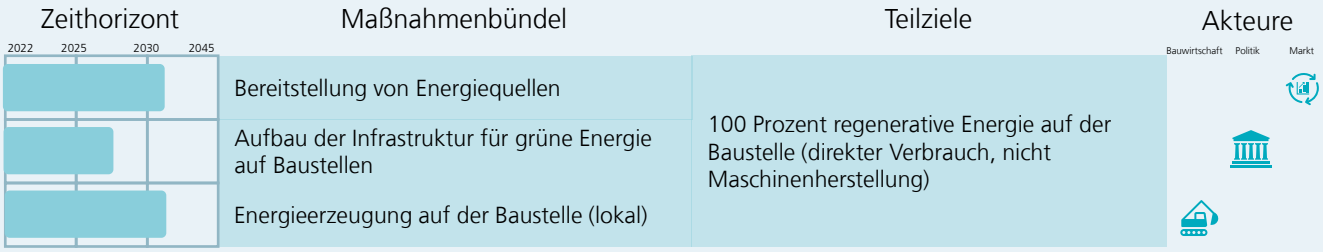


Abb. 12: Übersicht über den Handlungsraum Energieversorgung

4.9.1 Teilziel: 100 Prozent regenerative Energie auf der Baustelle (direkter Verbrauch, nicht Maschinenherstellung)

Vor dem Hintergrund der aktuellen Aktivitäten und Zusagen der Politik wird im Szenario davon ausgegangen, dass für verschiedene Technologien die schrittweise Einführung einer regenerativen Energieversorgung bis 2032 abgeschlossen ist. Dies betrifft sowohl die Entwicklung und Bereitstellung von temporären Ladeinfrastrukturen für die Baustelle (sowohl in der Stadt als auch auf dem Land) als auch die dezentrale Verfügbarkeit von Antriebsstoffen. Die Experten und Expertinnen betonen die enge Wechselwirkung zwischen der Verfügbarkeit von Energiequellen und den dafür ausgelegten Baumaschinen einerseits und den damit verbunden Chancen, aber auch Risiken für die Hersteller der Baumaschinen und der Ladeinfrastrukturen andererseits.

Ebenfalls ab sofort sollten die Potenziale der Energieerzeugung (z. B. Photovoltaik) auf der Baustelle bis 2032 optimal genutzt werden.

4.10 Wirtschaftlichkeit und Investitionen

Der Handlungsraum Wirtschaftlichkeit und Investitionen zielt auf eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über den gesamten Lebenszyklus und geht der Frage nach, wie Aufwände für die Transformation finanziert werden und wie die nötigen Randbedingungen (Infrastruktur für Datenaustausch und Energieversorgung) planbar sichergestellt sind.

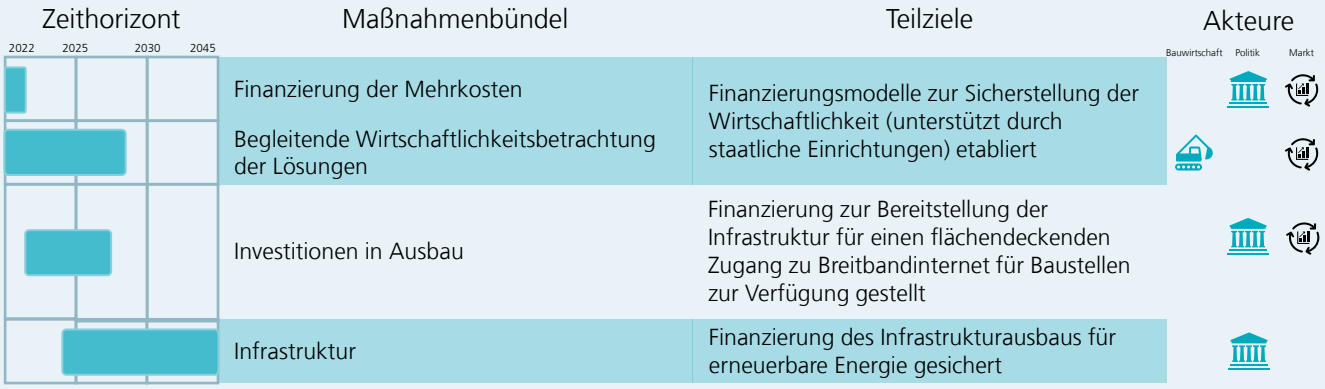


Abb. 13: Übersicht über den Handlungsraum Wirtschaftlichkeit und Investitionen

4.10.1 Teilziel: Finanzierungsmodelle zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit (unterstützt durch staatliche Einrichtungen) etabliert

Die Ermittlung von Aufwendungen und Kosten ist Grundlage für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und die Dimensionierung von Anreizsystemen und alternativen Finanzierungsmodellen. Die Experten sehen hier die offene und zielgerichtete Einbindung aller beteiligten Akteure als besonders wichtig an. Planungssicherheit für nötige Randbedingungen (Dateninfrastruktur und Energieversorgung) ist für eine Änderung von Dienstleistungen, Produkten und Geschäftsmodellen unerlässlich. Als Fördermöglichkeiten werden Instrumente der Mehrwertsteuer, Förderprogramme und die Investition des Staates in Infrastruktur genannt.

Bis 2027 sollen die Wissensdefizite durch Studien und Pilotprojekte beseitigt und eine lebenszyklusübergreifende Nachhaltigkeitsbewertung in Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen integriert sein.

4.10.2 Teilziel: Finanzierung zur Bereitstellung der Infrastruktur für einen flächendeckenden Zugang zu Breitbandinternet für Baustellen zur Verfügung gestellt

In engem Bezug zu Handlungsraum 8 Baumaschinenpark und zu Handlungsraum 11 Kommunikationstechnologien auf der Baustelle steht das Maßnahmenpaket zur Finanzierung für die Bereitstellung der Dateninfrastruktur für Baustellen durch Investitionen in 5G, Breitband und den Netzausbau im Allgemeinen, die Förderung von Endgeräten während der Einführungsphase, die Vereinfachung von Prozessen zur Beantragung von Funklizenzen sowie die Förderung von Nutzungsgebühren vor allem in dieser Anfangsphase bisv2027.

4.10.3 Teilziel: Finanzierung des Infrastrukturausbaus für erneuerbare Energie gesichert

Für 2024 ist der Start dieses Maßnahmenbündels terminiert, das schrittweise bis 2045 die Konzeption, Planung und Umsetzung der Infrastruktur für die Bereitstellung erneuerbarer Energie auf Baustellen in jeglicher Ausprägung (Hoch-/Tiefbau) und in jeglicher Lage (Stadt, Land etc.) sicherstellt.

4.11 Kommunikationstechnologien auf der Baustelle

Dieser Handlungsraum hat das Ziel, adäquate Kommunikationstechnologien für den leistungsfähigen, kabellosen Datenaustausch mit und auf der Baustelle 2045 sicherzustellen. Die Experten und Expertinnen sehen hier große Synergien mit Handlungsraum 6 Digitale Abbilder, Daten und Schnittstellen.

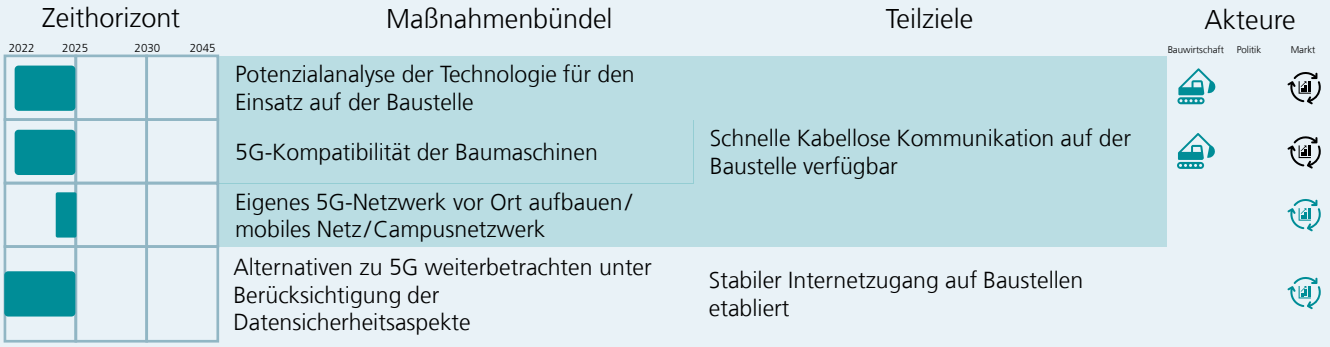


Abb. 14: Übersicht über den Handlungsraum Kommunikationstechnologien auf der Baustelle

4.11.1 Teilziel: Schnelle kabellose Kommunikation auf der Baustelle verfügbar

Neben einer Untersuchung zu den Potenzialen der zur Auswahl stehenden Funktechnologien, einer Anforderungsanalyse von Baustellenprozessen mit einer Latenz kleiner als eine Millisekunde und einer Kosten-/Nutzenanalyse wird die Kompatibilität der Baumaschinen und der zur Vernetzung nötigen Plattformen bis 2025 entwickelt. Erste 5G-Pilot-Umsetzungen auf Baustellen verschiedener Ausprägung liefern parallel die nötigen Praxiserfahrungen.

4.11.2 Teilziel: Stabiler Internetzugang auf Baustellen etabliert

Alternativen zu 5G werden hinsichtlich ihrer Eignung für die Baustelle 2045 untersucht und parallel zum Test der 5G-Anwendungsfälle pilotiert und evaluiert. Unabhängig von der Frage, welche Technologie einzeln oder als hybride Lösung (WPWAN, WLAN 4/5G) zum Einsatz kommt, werden die Fragen zu Datensicherheit auf der Baustelle, Datenspeicher- und Verarbeitungsmöglichkeiten (lokal/Cloud) sowie Datensouveränität so weit geklärt, dass eine je nach Lage der Baustelle ortsbezogene und technologieoffene Umsetzung im Jahr 2025 möglich ist.

4.12 Zirkuläre Baustelle

Der Handlungsraum Zirkuläre Baustelle strebt eine 100%ige Kreislaufführung aller Bauteile und Baustoffe von Bauwerken an. Dafür ist übergeordnetes Ziel die Etablierung von Marktmechanismen, die eine zirkuläre Baustelle unumgänglich machen. Die Randbedingungen (z. B. Produktkategorie-Regeln, Materialkataster, Börse für rezyklierte Materialien und Bauelemente, Rechtssicherheit), die für die zirkuläre Baustelle nötig sind, werden bis 2045 in Abstimmung mit den damit betrauten Akteuren umgesetzt. Eine besondere Vorbildfunktion sehen die Experten und Expertinnen bei der öffentlichen Hand, die – ähnlich wie bei der Einführung von BIM – zeitnah in Ausschreibungen die Erfüllung zirkulärer Kriterien, z. B. für sortenreinen Rückbau und Wiederverwendung oder Verwertung, fordern kann. Sie kann die Entwicklung der für kreislauffähige Bauwerke notwendigen Grundlagen anstoßen und somit die Motivation für die Privatwirtschaft, in entsprechende Technik, Baustoffe und Bauweisen zu investieren, maßgeblich fördern.

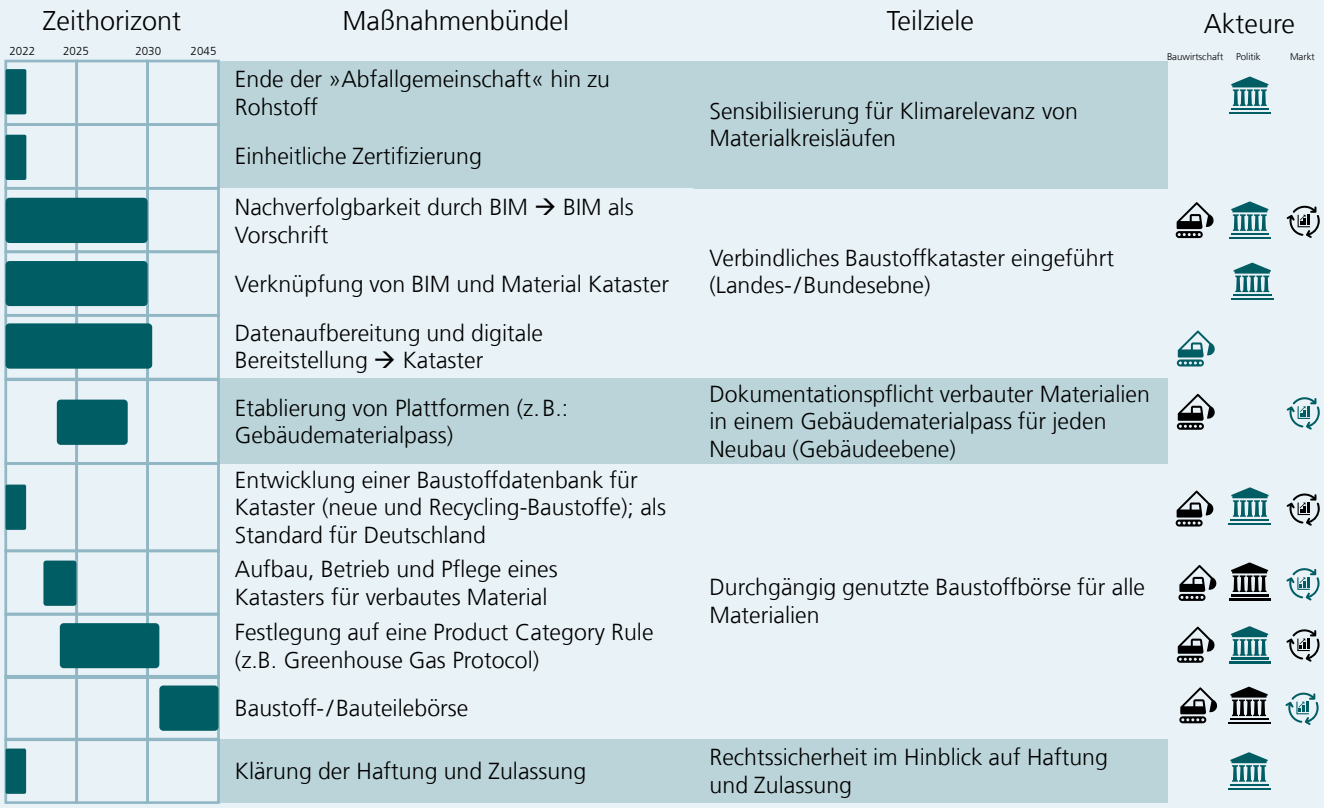


Abb. 15: Übersicht über den Handlungsraum Zirkuläre Baustelle

4.12.1 Teilziel: Sensibilisierung für Klimarelevanz von Materialkreisläufen

Mit zwei sofort beginnenden Maßnahmen (»Von Abfall zu Rohstoff« und »Einheitliche Zertifizierung«) werden innerhalb von zwei Jahren die Schritte eingeleitet, um Politik und Öffentlichkeit für die Potenziale der zirkulären Baustelle zu sensibilisieren, einen Ausschluss von rezyklierten Materialien in Ausschreibungen zu untersagen und in der Praxis umzusetzen und eine einheitliche Zertifizierung für eine sich an Verfügbarkeiten orientierenden Rezyklatanteil als Nachhaltigkeitskriterium in Ausschreibungen zu etablieren. Dieses Maßnahmenpaket steht in engem Kontext mit dem Handlungsraum 2 Regelwerk, Normen und Zertifizierung und dem Maßnahmenpaket 4.2.4.

4.12.2 Teilziel: Verbindliches Baustoffkataster eingeführt (Landes- / Bundesebne)

Eine für alle Akteure verbindliche und von der öffentlichen Hand verwaltete Dokumentation der verbauten Materialien in einem Baustoffkataster erachten die Experten und Expertinnen als Grundlage für einen BIM-basierten Nachweis der im Gebäude verbauten Grauen Energie und die Ermittlung des Wertes der Bausubstanz als Rohstofflager. Neben Verfügbarkeit müssen auch die Transportwege insbesondere aufgrund der damit verbundenen CO_2-Emissionen berücksichtigt werden.

4.12.3 Teilziel: Pflicht zur Dokumentation verbauter Materialien in einem Gebäudematerialpass für jeden Neubau (Gebäudeebene)

Bis zum Jahr 2030 soll eine Pflicht zur Dokumentation von verbauten Materialien für jeden Neubau eingeführt werden.

4.12.4 Teilziel: Durchgängig genutzte Baustoffbörse für alle Materialien

Als Marktplatz für wiederverwendbare Baustoffe und Bauteile hat sich das Prinzip von Baustoffbörsen etabliert. Somit ist es möglich, bereits in der Planung die Baustoffe und Bauteile zu berücksichtigen, die in naher Zukunft und in möglichst großer räumlicher Nähe zu Bauprojekten verfügbar sein werden, und diese optimal bereits in frühen Planungsphasen im Zusammenhang mit verfügbaren Bauverfahren zu berücksichtigen.

4.12.5 Teilziel: Rechtssicherheit im Hinblick auf Haftung und Zulassung

Grundlage für alle Maßnahmen im Handlungsraum Zirkuläre Baustelle ist eine frühzeitige Klärung von Haftungs- und Zulassungsfragen (z. B. für den Einbau gebrauchter Bauteile), um die nötige Rechtssicherheit zu gewährleisten. Diese Maßnahme steht in engem Zusammenhang mit dem Handlungsraum 2 Regelwerk, Normen und Zertifizierung.

5. Ausblick und wissenschaftliche Implikation

5.1 Veränderung als kontinuierlicher Prozess

Vor allem bei den Maßnahmen, die sich über einen längeren Zeitraum hinziehen, empfiehlt sich ein Maßnahmenmanagement, das Veränderungen an Zuständigkeiten und eine Adaption der Zielsetzung gemäß neuen Randbedingungen ermöglicht. Die folgende Abbildung zeigt dies als iterativen Prozess von der Definition der Maßnahme (Ziele, Umsetzung) über die Definition der Zuständigkeiten, die Beschreibung von Performance-Indikatoren (KPI), deren Messung und eine gegebenenfalls nötige Anpassung der Maßnahme bis hin zum erfolgreichen Abschluss.

Die Maßnahmen, die im Rahmen dieses Projektes identifiziert und qualifiziert werden, sind ein Ausgangspunkt, der auf der Einschätzung der beteiligten Experten und Expertinnen im Strategieprozess beruht; dies sollte seitens der beteiligten Verbände für die internen Arbeitsgruppen aufbereitet und weiterentwickelt werden.

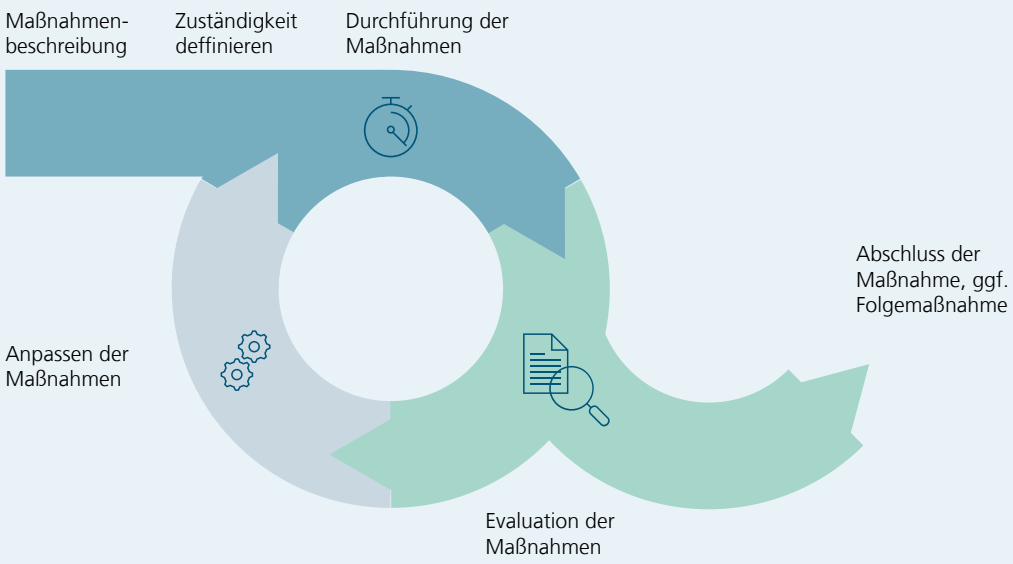


Abb. 16: Maßnahmen-Management (Monitoring, Controlling, Nachjustierung)

5.2 Innovation aus Nischen heraus gestalten

In der internen Evaluation des Strategieprozesses am Fraunhofer IAO hat sich im Verlauf der Arbeit das Modell zur Systemtransformation in Multi-Level-Perspektive (Geels, 2002)[1] als hilfreiches Gedankengerüst herausgestellt, um Innovation und Transformation in der Bauwirtschaft und den Fokus auf die Bauausführung systemisch zu charakterisieren. Dieses Modell der angewandten Transformationsforschung geht davon aus, dass Innovationen sich zuerst in Nischen entwickeln, die dann bestehende sozio-technische Regimes (z. B. Marktdesign, Normen oder rechtliche Rahmenbedingungen) transformieren können. Diese Transformation endet nach Abschluss in normativen Leitplanken, die als Landscape developments oder »New Normal« bezeichnet werden.

Als einfaches Beispiel können innovative serielle Bauteilsysteme (z. B. in Verbindung mit Geschäftsmodell-Innovationen) bei erfolgreicher Anwendung in Nischen zu einer Veränderung der baurechtlichen Genehmigungen, wirtschaftlichen Investitionsmodellen oder der kulturellen Akzeptanz von Handwerk und Bauherren führen. Entscheidend hierfür sind die innovationsförderlichen Rahmenbedingungen sowie Anreize für Experimentieren und Bewertung neuer innovativer Herangehensweisen.

Angesichts der Ergebnisse des Strategieprozesses »Baustelle 2045« ist es also von entscheidender Bedeutung, die Bauwirtschaft mit seinen externen Treibern und Einflüssen (= Regimes) selbst als Innovationssystem zu definieren und eine umfassende Transformation einzuleiten, die alle drei Ebenen (Niche, Regime, Landscape) gleichermaßen adressiert und berücksichtigt.

1 Geels, Frank W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. In: Research Policy 31 (2002) Nr. 8–9, S. 1257–1274. [Online]. [Zugriff am: 22.05.2023]. Verfügbar unter: Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study – ScienceDirect.

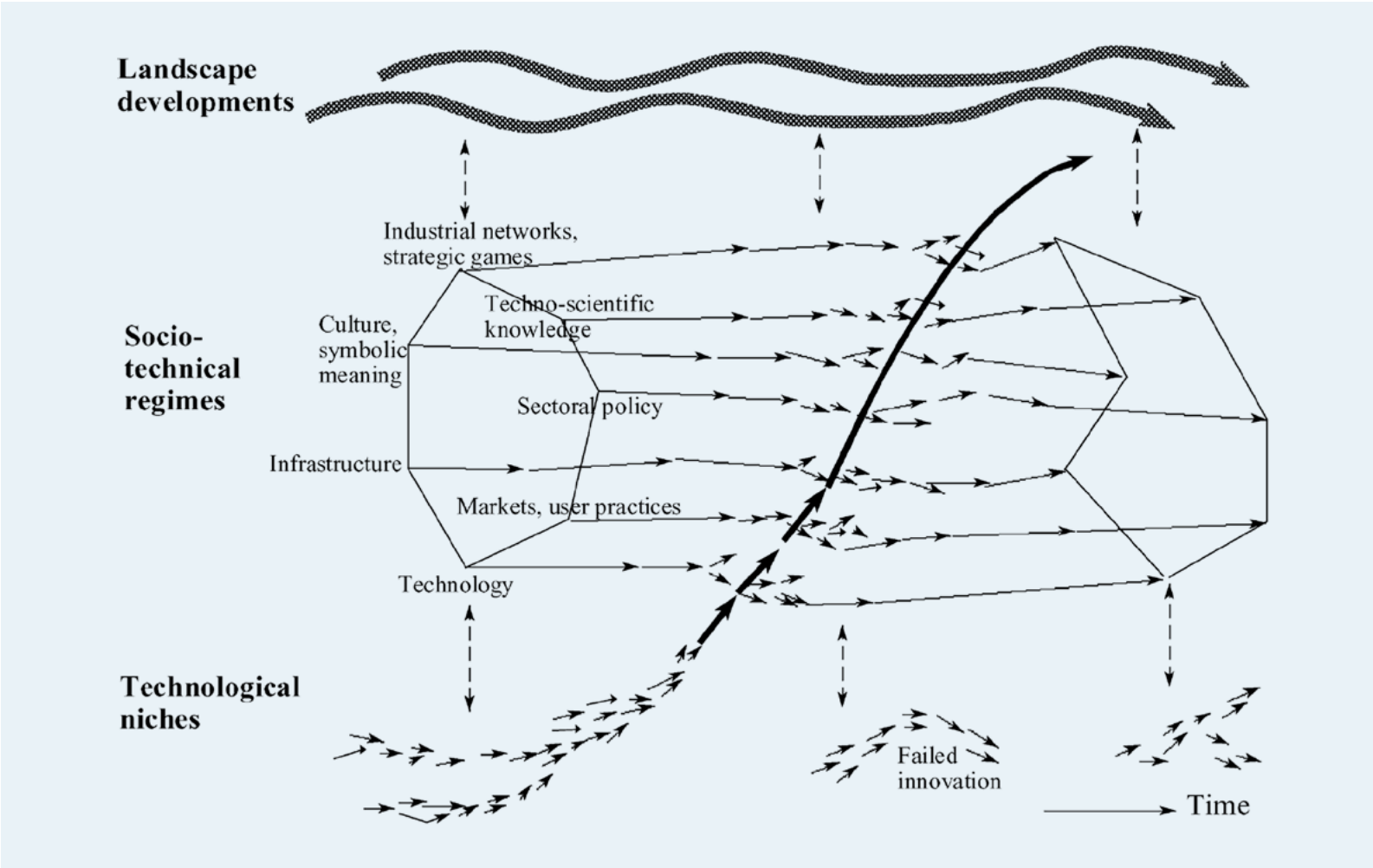


Abb. 17: Transformation als Multi-Level-Perspektive (Geels 2002, S. 1263)

6. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ökosystem »Baustelle 2045« ... 7
Abb. 2: Übersicht aller Handlungsräume ... 8
Abb. 3: Synergien und Abhängigkeiten zwischen den Handlungsräumen ... 10
Abb. 4: Übersicht über den Handlungsraum Ausschreibung und Vergabe ... 11
Abb. 5: Übersicht über den Handlungsraum Regelwerk, Normen und Zertifizierung ... 13
Abb. 6: Übersicht über den Handlungsraum Forschung und Entwicklung ... 15
Abb. 7: Übersicht über den Handlungsraum Studium, Aus-/Weiterbildung und Qualifizierung ... 17
Abb. 8: Übersicht über den Handlungsraum Prozesse ... 19
Abb. 9: Übersicht über den Handlungsraum Digitale Abbilder, Daten und Schnittstellen ... 21
Abb. 10: Übersicht über den Handlungsraum Zusammenarbeit und Ökosystem ... 23
Abb. 11: Übersicht über den Handlungsraum Baumaschinenpark ... 25
Abb. 12: Übersicht über den Handlungsraum Energieversorgung ... 27
Abb. 13: Übersicht über den Handlungsraum Wirtschaftlichkeit und Investitionen ... 28
Abb. 14: Übersicht über den Handlungsraum Kommunikationstechnologien auf der Baustelle ... 30
Abb. 15: Übersicht über den Handlungsraum Zirkuläre Baustelle ... 31
Abb. 16: Maßnahmen-Management (Monitoring, Controlling, Nachjustierung) ... 33
Abb. 17: Transformation als Multi-Level-Perspektive (Geels 2002, S. 1263) ... 35

Impressum

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart

www.iao.fraunhofer.de

Kontakt
Günter Wenzel
Leiter Building Culture Innovation
Telefon +49 711 970-2244
guenter.wenzel@iao.fraunhofer.de

Lektorat
Andrew Leslie

Fraunhofer Publica
http://dx.doi.org/10.24406/publica-1360

© Fraunhofer IAO, 2023

Weitere Ansprechpartner:

René Hagemann
BAUINDUSTRIE
Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V.
Stv. Hauptgeschäftsführer
Geschäftsbereichsleiter Verkehr, Tiefbau und Digitalisierung
Kurfürstenstraße 129, 10785 Berlin, Germany
Telefon +49 30 21286-271
rene.hagemann@bauindustrie.de

Timo Feuerbach
VDMA e. V.
Baumaschinen und Baustoffanlagen
Lyoner Straße 18, 60528 Frankfurt a. M., Germany
Telefon +49 69 6603-1747
timo.feuerbach@vdma.org

Kontakt

Günter Wenzel
Leiter Building Culture Innovation
Telefon +49 711 970-2244
guenter.wenzel@iao.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de