

# Bausteine der Bauwende

Scoping Paper des Fachforums  
Nachhaltige Bauwirtschaft



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>Präambel</b> .....	<b>3</b>
Ziel der Bauwende	3
Wie kommen wir da hin?	4
<b>Kapitel 1: Analyse des Bestands</b> .....	<b>5</b>
Einfamilienhäuser	7
Technische Gebäudeausrüstung	8
<b>Kapitel 2: Serielle und digitalisierte Prozesse</b> .....	<b>9</b>
Die Rolle des Materials im Bauprozess	9
Serielle Vorfertigung von Bauteilen	10
Digitalisierung von Prozessen	11
<b>Kapitel 3: Lebenszyklusbetrachtung</b> .....	<b>12</b>
Design for Disassembly	13
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>15</b>

## AUTOR:INNEN

Sebastian Koth | Prof. Thomas Auer | Marie Werkhausen  
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen

## Abstract

Die erheblichen Umweltauswirkungen der Bauindustrie sind unter anderem auf die weit verbreitete Verwendung von One-fits-all-Lösungen zurückzuführen. Um diesem Problem zu begegnen, können standardisierte Verfahren die Attraktivität eines Materialmixes (Versöhnung der Baustoffe) für den Bau erhöhen: Nutzung von Materialien mit geringen Emissionen und hohem Wiederverwendungspotenzial maximieren, bei gleichzeitigem Einhalten aller bauphysikalischen Anforderungen. Um dies zu erreichen, sind serielle Prozesse und Vorfertigung unerlässlich, vor allem im Hinblick auf die Komplexität und den Herausforderungen durch eine Kreislaufwirtschaft. Die Kombination von Materialien ist entscheidend für die Optimierung der Gebäudeleistung und der Kosten. Derartige Bauteile können eine hohe Materialstärke aufweisen, weshalb in den Bebauungsplänen die Netto- statt der Bruttofläche beachtet werden sollte. Die additive Fertigung könnte in der Zukunft Möglichkeiten zur Funktionsintegration und Ressourceneffizienz bieten, indem sie Automatisierung und individuelle Anpassung im Bauprozess kombiniert.

Auch die endlichen Ressourcen der Erde stellen eine Herausforderung für nachhaltiges Bauen dar; bei der Herstellung entstehen u. a. erhebliche CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der geringe Wiederverwendungsgrad von Materialien im Bausektor verschärft das Problem. Die Wahl der Baumaterialien und des -prozesses beeinflusst nicht nur die Verfügbarkeit und die CO<sub>2</sub>-Bilanz, sondern auch den Verbleib der Materialien nach dem Abriss. Viele Materialien können leicht recycelt werden – sofern sie richtig eingesetzt und sortenrein zurückgebaut werden können.

Eine ganzheitliche Analyse über den gesamten Lebenszyklus (LCA), bereits in der Planung, nimmt Einfluss auf den Materialmix, die Komplexität und die Robustheit im Gebäudebetrieb (inkl. der technischen Systeme). Gleiches gilt für digitalisierte und serielle Bauprozesse. Dies ist entscheidend für die Minimierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die vom Gebäudesektor verursacht werden und die Verringerung der Fehlerquote bei Planung, Bau und Betrieb.

Das Effizienzhaus 55 und die „Efficiency First“-Strategie der Bundesregierung zielen darauf ab, den Energieverbrauch von Gebäuden durch Dämmung zu senken. Dabei wird jedoch der Prebound-Effekt, der Rebound-Effekt und die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Sanierungsmaßnahme nicht betrachtet. Eine umfassende Untersuchung des Gebäudebestands ist erforderlich, um das Potenzial für Energiesparmaßnahmen und Sanierungen zu ermitteln. Das Fehlen von standardisierten Lösungen behindert die effiziente Sanierung der mehr als 16 Millionen Einfamilienhäuser bzw. der insgesamt 19,4 Millionen Wohnungsbauten in Deutschland, aufgrund wirtschaftlicher Zwänge, Kostenunsicherheit und unzureichender Datenlage. Um das Potenzial von Einfamilienhäusern zu erschließen, sind gezielte Förderungen und Deregulierung – vor allem in Bezug auf eine Anpassung von Bebauungsplänen – notwendig. Die Analyse der technischen Gebäudeausrüstung ist darüber hinaus entscheidend für die Bewertung von Sanierungsmöglichkeiten und die Minimierung von baulichen Eingriffen.

# Präambel

Unsere Welt steht vor einer beispiellosen Aufgabe; die Art und Weise, wie wir bauen, beeinflusst nicht nur unsere Umwelt, sondern auch unsere Lebensqualität und Zukunft. Daher haben wir uns dazu entschieden, die *Bausteine der Bauwende* ins Leben zu rufen, um ein breites Spektrum von Aspekten zu betrachten, die für die nachhaltige Transformation der gebauten Umwelt entscheidend sind.

Drei zentrale Aspekte, die das Fundament der Transformation bilden, stehen in diesem ersten Schritt im Fokus: Serielle und digitalisierte Prozesse, Lebenszyklusbetrachtung und Analyse des Bestands

Die Vielfalt der Themen, die darauf aufbauend in Betracht gezogen werden können, ist schier endlos – endlos sind auch die Verknüpfungen und Abhängigkeiten der Themengebiete untereinander: Wie gelingt Umnutzung oder die Aktivierung von Ortskernen? Welches Zusammenspiel gibt es zum Beispiel

zwischen der Ästhetik und Langlebigkeit eines Gebäudes? Welche Rolle spielt die Wiederverwendung von Baustoffen oder die Förderung der Biodiversität in unseren städtischen Umgebungen? Was können wir von vernakulärer oder historischer Architektur lernen? Was sind die Aufgaben von der Außenhülle – und wie kann sie neu gedacht werden? All das sind Bausteine, die wir betrachten werden.

Unsere Vision ist es, eine umfassende Ressource zu schaffen, die als Leitfaden dient – für Architekten, Planer, Bauherren und alle Interessierten, die sich für eine nachhaltige Zukunft der gebauten Umwelt einsetzen. Die *Bausteine der Bauwende* sind ein Aufruf zur Zusammenarbeit, ein Aufruf zur Innovation und ein Aufruf zur Veränderung; vor allem jedoch ein Aufruf zur Diskussion. Gemeinsam können wir die Art und Weise, wie wir bauen, transformieren und so eine lebenswerte Zukunft für kommende Generationen schaffen.

## Ziel der Bauwende

Das Ziel der Transformation ist klar; auf dem Weg dahin gibt es dennoch zahlreiche Fragezeichen. Die Komplexität, die sich über die Jahre beim Bauen etabliert hat, kombiniert mit (vermeintlichen) Komfortstandards, führt dazu, dass Gebäude häufig weder die angestrebte energetische Effizienz erzielen noch, dass sich die gewünschte Nutzerzufriedenheit einstellt. Diese Entwicklung hat den Grad an Technisierung der Gebäude erhöht, genauso wie den Materialaufwand für den Bau der Gebäude in die Höhe getrieben.

Die Bundesregierung hat die Konsultation „Grünbuch Energieeffizienz“ ins Leben gerufen. Mit dem Leitsatz „Efficiency First“ soll klargestellt werden, dass eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen nur möglich ist, wenn die vorhandenen Energieeinspar-

potenziale im Bau- und Gebäudesektor voll ausgeschöpft werden. (BMW, 2015) Die Fakten zeigen jedoch, dass die Emissionen der Gebäude nicht ausschließlich auf den Gebäudebetrieb zurückzuführen sind; eine solche Betrachtung ist irreführend und unzureichend. Vielmehr müssen Bau, Betrieb und Rückbau (Stichwort zirkuläres Bauen) über den Lebenszyklus von Gebäuden ganzheitlich betrachtet werden.

Die Emissionen der Bauindustrie müssen – ebenso wie die vielen weiteren Umweltbelastungen, z. B. Versiegelungsfläche, Wasserverbrauch und -verschmutzung, Abfallaufkommen oder Biodiversität – reduziert werden. Auf der anderen Seite werden bauphysikalische Anforderungen an ein Gebäude gestellt, die ggf. zu einer Belastung für den Neubau und vor allem für die Sanierung des Gebäudebestands führen.

Anhand der Gebäudehülle, die als Barriere zwischen Innen- und Außenraum dient, kann die Komplexität der bauphysikalischen Anforderungen stellvertretend deutlich gemacht werden: Sie muss die Grenzwerte von Wärme-, Kälte, Brand- und Schallschutz, etc. einhalten, um so komfortable Bedingungen zu schaffen. (Briels et al., 2022) Gleichzeitig zählt es zu ihren Aufgaben, einen geringen Energiebedarf bzw. geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen für den Betrieb des Gebäudes zu gewährleisten. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen hängen wiederum sehr stark vom Wärmeversorgungssystem ab. Das Ziel der Bauwende muss daher sein, die Balance zwischen möglichst geringen Umweltbelastungen und dem Erfüllen der bauphysikalischen Anforderun-

gen und der Klimaschutzziele zu finden. Das muss die Bauwende nicht nur heute beweisen, sondern langfristig, so zum Beispiel auch in zukünftigen Klimaszenarien und knapp-werdenden Ressourcen, welche die Anforderungen an die gebauten Strukturen weiter anspannen. Die Vielzahl an Parametern und Szenarien macht das Austarieren dieser Balance zwischen Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien komplex. Tatsächlich zeigen zahlreiche Forschungsprojekte, sowie die quasi Stagnation der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gebäudesektors in den letzten Jahren, dass der Fokus auf „efficiency first“ zu hinterfragen ist.

## Wie kommen wir da hin?

Das Gelingen der Bauwende ist kein einfaches Unterfangen, dem nur mit multifaktoriellen Lösungsansätzen begegnet werden kann. Es muss dabei zum Beispiel zwischen Neubau und Transformation des Bestandes differenziert werden; auch wenn die Ziele dieselben sind, werden die Lösungsansätze andere sein.

Als Basis für eine Bauwende lassen sich drei Kernthemen formulieren, die einen substanziellen Beitrag zur Dekarbonisierung des Bausektors leisten könnten bzw. die Grundlage für eine Bauwende bilden. Aus denen lassen sich konkrete politische Rahmenbedingungen ableiten:

1. Die Förderung von **seriellen und digitalisierten Prozessen** bei der Konstruktion, dem Um- und Weiterbau von Bestandsgebäuden.
2. Die Verankerung der **Zirkularität bereits in der Planung**, inkl. Rückbau, und Konzept zur Wiederverwendung und Entsorgung von Bauteilen bzw. -stoffen.
3. Die **strukturierte Aufnahme und Analyse des Bestands** – sowohl der Geometrie als auch der semantischen Informationen (inkl. der tatsächlichen Energieverbräuche für den Gebäudebetrieb) – als Grundlage für eine nachhaltige Transformation

Die beschriebenen Rahmenbedingungen beziehen sich nicht nur auf den Geschosswohnungsbau und den Nichtwohnungsbau; vielmehr hat das Einfamilienhaus mit ein und zwei Wohneinheiten, mit seinen

ca. 45 % aller Wohneinheiten und über 16 Mio. Gebäuden in Deutschland, eine Schlüsselrolle bei der Erreichung der beschriebenen Ziele. (dena, 2021)

# Kapitel 1: Analyse des Bestands

Es geht bei allen Aspekten um die vollständige Dekarbonisierung des Bausektors, dabei haben unterschiedliche Maßnahmen jedoch unterschiedlich viel Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Reduktion. Um die Ziele des Bausektors schnellstmöglich zu erreichen, sollten die größten Einsparpotenziale priorisiert werden. Dafür bedarf es jedoch eines Überblicks über die offenen

Baustellen und der Nutzbarkeit des Gebäudebestandes. Ein erster Schritt der systematischen Analyse der Sanierungspotenziale liegt in der automatisierten Aufnahme des Bestandes. Wie wichtig die konsequente Berücksichtigung und Wertschätzung des Bestandes ist, machen folgende Zahlen deutlich:

- Deutschland verfügt über ca. 21 Mio Gebäude, davon sind ca. 19 Mio Wohngebäude und ca. 16 Mio Ein- oder Zweifamilienhäuser (EZFH). (Auer & Hild, 2023; Deutsche Energie-Agentur, 2022)
- Bei Annahme der mittleren Neubaurate aus den letzten Jahren, sind 80 % der Gebäude in 2045 heute bereits gebaut. (Bienert & Groh, 2022)
- Ca.  $\frac{3}{4}$  der insgesamt 43,4 Mio Wohneinheiten wurden bis 1990 gebaut (vgl. Abb. 1). (IW Köln, 2016)
- Fast  $\frac{2}{3}$  wurden bis einschließlich 1978 gebaut (1977 trat die 1. Wärmeschutzverordnung in Kraft) (IW Köln, 2016)

Die Zahlen verdeutlichen, dass die CO<sub>2</sub>-Einsparziele vor allem eine nachhaltige Transformation des Bestandes erfordern, da bei Gebäuden, die vor dem Jahr 1990 errichtet worden sind, der Endenergieverbrauch in kWh pro Quadratmeter und Jahr deutlich über dem von Neubauten liegt (vgl. Abbildung 1).

Gleichzeitig stellen sie den größten Anteil des Bestandes dar. Die Wuppertal-Studie im Auftrag der Bundesstiftung Baukultur zeigt dabei eindrücklich, dass „Ersatzneubau“ keine Lösung sein kann, vielmehr ist eine „Ertüchtigung“ des Bestands zwingend erforderlich.

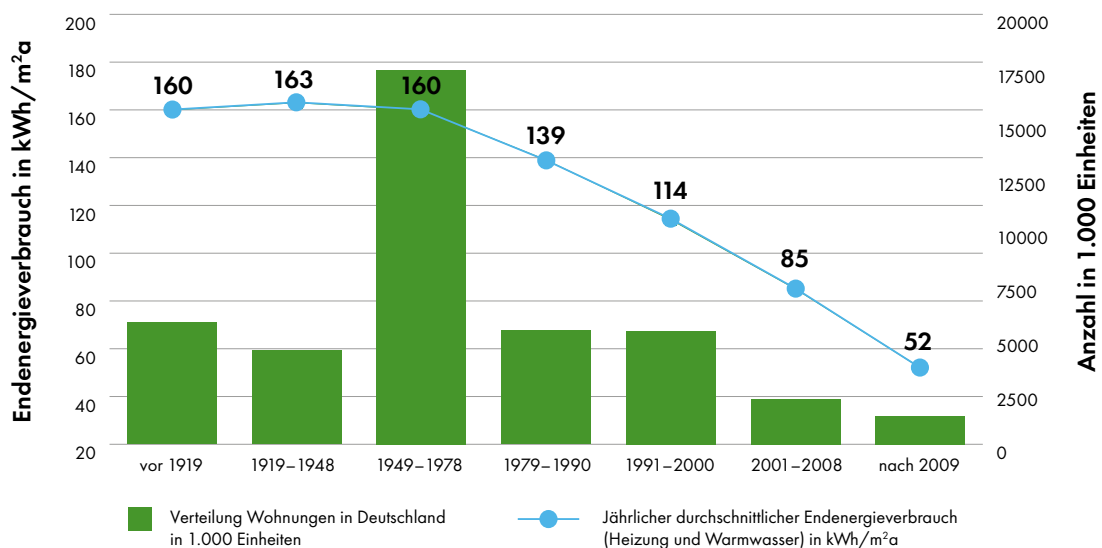


Abbildung 1: Durchschnittlicher Endenergieverbrauch und Verteilung der Wohnungen in Deutschland nach Baualter. Eigene Darstellung auf Grundlage 1 (IW Köln, 2016) & 2 (dena, 2016).

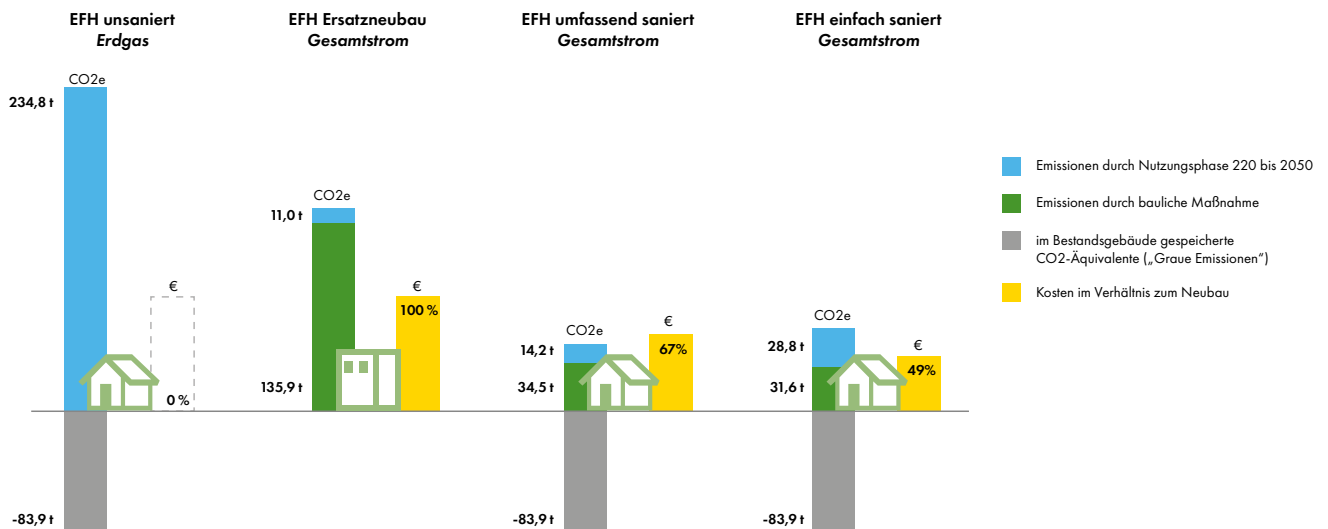


Abbildung 2: Gegenüberstellung der berechneten Emissionen für die Baumaßnahme & den Betrieb im Zeitraum von 2020 bis 2050 und der grauen Emissionen des Bestands. (Baukultur, 2022)

Die Vorteile einer Sanierung zeigt die Abbildung 2 (Baukultur, 2022). Die Lebenszyklusbetrachtung verdeutlicht, dass selbst eine minimale Ertüchtigung nach dem Effizienzhausstandard 85 im Vergleich zum Neubau mit dem höchsten energetischen Standard im Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Emissionen besser abschneidet.

Derzeit begegnet die Bundesregierung dieser Fragestellung mit dem Effizienzhaus 55 bzw. der Efficiency-First-Strategie. Gemeint ist damit eine möglichst starke Reduktion des Gebäudeenergieverbrauchs z. B. durch Dämmmaßnahmen. Keine Beachtung finden in diesem Ansatz allerdings weder der Prebound Effekt, der Rebound Effekt noch der Einsatz an grauen Emissionen (Gesamten Emissionen, die durch Errichtung des Gebäudes verursacht werden). Der Prebound Effekt beschreibt die Tatsache, dass Bestandsgebäude häufig weniger Energie brauchen als für diese prognostiziert wird. Genau entgegengesetzt verhält es sich mit dem Rebound Effekt: Bewohner:innen eines energetisch optimierten Gebäudes neigen beispielsweise dazu, die Räume auf höhere Temperaturen zu heizen als sie es in einem ungedämmten Gebäude würden.

Die Heterogenität des Bestandes erfordert vielfältige Lösungsansätze. Unter Umständen führen einfachere Sanierungsstrategien dabei zu einer effektiveren und beschleunigten energetischen Sanierung des Bestandes. Unter Berücksichtigung der grauen Emissionen und Pre- als auch Rebound ist die erzielbare Einsparung einer Effizienzhaus 55 Sanierung deutlich geringer als zunächst angenommen. Die Einsparungen im Vergleich zu einer minimalinvasiven Sanierung sind ggf. nur noch sehr gering. Alternativ bietet ein Weiterbau – Aufstockung oder die Vorlagerung einer räumlichen Schicht – das Potential der Wohnraumerweiterung, wobei die energetische Sanierung zum Bei-Produkt wird. Um diese Frage jedoch wirklichkeitsnah zu beantworten, bedarf es einer systematischen und flächendeckenden Erfassung der Bestandsgebäude in Deutschland. Wie mit einem Bestandsgebäude umgegangen wird, hängt in erster Linie mit seinen Potenzialen zusammen. Also: Gibt es die Möglichkeit einer Aufstockung? Ist das Grundstück für eine weitere Nachverdichtung geeignet? Inwiefern kann die technische Gebäudeausrüstung modernisiert werden? Welche Materialien sind in dem Gebäude zu finden und wie sind sie gefügt?

Bislang erfolgt eine solche Analyse überwiegend manuell und individuell. Ziel müsste, im Gegensatz dazu, eine deutschlandweite Kartierung von Regionen mit besonders hohem Potenzial im Bestand sein. Eine solche Kartierung dient als Entscheidungskompass. Aktuell liegt der Fokus in Bezug auf Bestandsgebäude meist in urbanen Ballungsräumen. Einzelne lokale Akteure arbeiten bereits an diversen digitalen Zwillingen, um diese Datengrundlage zu erstellen (Beil et al., 2021; BKG, 2021; Connected Urban Twins, 2023). Diese sind jedoch oft nicht öffentlich zugänglich oder stellen nur fragmentierte Datensätze dar.

## Einfamilienhäuser

Vor allem beim Umgang mit den mehr als 16 Mio. EZFH (von insgesamt 19,4 Mio. Wohnungsbauten) in Deutschland (Baukultur, 2022) fehlt es bisher an standardisierten und kombinierten Lösungsansätzen. Es ist wichtig anzuerkennen, dass das Wohnen in Einfamilienhäusern weniger nachhaltig sein kann als der mehrstöckige Wohnungsbau mit hoher Dichte. Trotzdem stellt die Nachverdichtung von Einfamilienhäusern und Wohnvierteln eine klare Lösung für das Problem der ungenutzten Flächen und Infrastrukturen dar, die zu den hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf in ländlichen Gebieten beitragen. Die Umsetzung dieser Lösung stellt aufgrund der fehlenden wirtschaftlichen Rentabilität, sowie der unzureichenden Datengrundlage eine enorme Herausforderung dar. (Auer & Hild, 2023) Zudem führen Umbaumaßnahmen in Einfamilienhäusern – im Vergleich zu anderen Bausektoren – derzeit zu deutlich höheren CO<sub>2</sub>-Verminderungskosten. „Diese berechnen sich aus dem Quotienten der jährlichen Mehrkosten und der jährlichen Emissionseinsparung der Maßnahme gegenüber der Referenz“ in € pro eingesparter Tonne CO<sub>2</sub> [€/t CO<sub>2</sub>] und stellen damit die Kosteneffizienz der Maßnahme dar. (Conrad, 2020) Neben der automatisierten Aufnahme und systematischen Analyse des Bestandes und dessen Potenziale geht es vor allem darum, Datengrundlagen und Potenziale, die bereits vorhanden

Ein ganzheitliches und dynamisches Kataster könnten die Potenziale der Nachverdichtung, energetischen Sanierung sowie Umbau nicht nur im urbanen Raum sichtbar machen, sondern auch in ländlichen Gebieten oder Speckgürtel von Städten. Darüber hinaus könnten diese Kataster auch bei der Verfügbarkeit von Sekundärmaterialien aus dem Gebäudebestand informieren. Das Konzept des Materialpass und der dezentralen Sammelstellen für Materialien aus Abriss, kann die Wiederverwertung erheblich unterstützen, sollte eine Sanierung nicht mehr möglich sein.

sind, zu vereinen. Dadurch würden zum Beispiel auch Kombinationslösungen sichtbar werden, wie eine energetische Ertüchtigung des Bestandsgebäudes als Nebenprodukt der Nachverdichtung durch Anbau oder Weiterbau. Dafür braucht es jedoch Anreize für Hauseigentümer:innen, die Wohneinheiten zu vergrößern und die Wohnfläche zu verkleinern, wobei die Verbesserung der Energieeffizienz dann 'nur noch' ein Nebenprodukt ist. (Auer & Hild, 2023)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Nutzung des Potenzials von Einfamilienhäusern entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung der Ziele der Bundesregierung ist. Die Erhaltung des ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Wertes bestehender Häuser ist sowohl für die Hausbesitzer:innen als auch für die Gesellschaft von großer Bedeutung und sollte daher auch auf politischer Entscheidungsebene nicht vernachlässigt werden. So bedarf es jedoch gezielter Subventionen und Deregulierung für Hausbesitzer:innen und Kommunen, um die wirtschaftlichen Hürden einer Aufwertung des Bestands – also CO<sub>2</sub>-Verminderungskosten – zu minimieren. Frühzeitige Maßnahmen, vor allem bei älteren Bauten, führen dabei zu signifikant niedrigeren CO<sub>2</sub>-Verminderungskosten und müssen daher gerade im Einfamilienhaussektor zeitnah angegangen werden. (Conrad, 2020)



## Technische Gebäudeausrüstung

Eine möglichst detaillierte Bestandsaufnahme der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) ist eine wesentliche Grundlage für alle weiterführenden Überlegungen und Möglichkeiten hinsichtlich der Gebäudeinfrastruktur und des Umbaus. Vor allem ist die Nachvollziehbarkeit von Versorgungsstrassen, MSRT, etc. oft nicht gegeben. Moderne Versorgungskonzepte bieten eine hohe Flexibilität bei der Umnutzung von Gebäuden und sind häufig für erhöhte Komfortansprüche dimensioniert. Beide Aspekte sind für die entsprechend komplexe TGA in solchen Hightech-Gebäuden verantwortlich. Vor allem äußert sich dies in der Überdimensionierung der vertikalen und horizontalen Verteilung sowie der Technikzentralen.

Um im Bestand beurteilen zu können, ob eine Sanierung der Gebäudeausrüstung mit heutigen Standards möglich ist, muss eine Analyse gemacht werden. Bei der Wahl der dabei zu betrachtenden Parameter muss zwischen Wohnungs- und Büronutzung differenziert werden: Neben der thermischen Masse (Dicke und Rohdichte von Außenwand und Decke) sind

bei Wohngebäuden vor allem die Art der Wärmeversorgung (Flächenheizsysteme, Radiatoren, etc.) sowie die Funktionsweise der horizontalen Verteilung relevant. In Nichtwohnungsbauten erreicht man die Anforderungen neben den Schächten und Zentralen z.B. durch aufgedoppelte Bodenausbauten und/oder abgehängte Decken. Vor allem die Raumlufttechnik (früher oft Induktionsgeräte an der Brüstung) hat eine besondere Relevanz hinsichtlich eines erhöhten Raumbedarfs. Zentralen wie Verteilung sind häufig nur unter großen Anstrengungen herstellbar und viele Gebäude, vor allem der Nachkriegsarchitektur, weisen oft nicht die erforderliche Geschosshöhe auf. Außerdem muss systematisch gefragt werden, welche Komponenten der bestehenden Haustechnik durch geschicktes Update, Dezentralisierung und moderne Technologien soweit möglich erhalten und weiter genutzt werden können. Damit kann einerseits der erforderliche Erneuerungs- und Entsorgungsumfang der Haustechnik deutlich reduziert werden, andererseits wird auch der Eingriff in die bestehende Struktur wesentlich geringer.

## Handlungsempfehlungen

### **Politik:**

- Digital Twin deutschlandweit
- Förderung einer Aufwertung von Bestandsgebäude durch Sanierung und/oder Weiterbau
- Deregulierung, vor allem für eine vereinfachte Anpassung von Bebauungsplänen
- Notwendigkeit einer Begründung für Abriss
- Novellierung der HOAI bzw. DIN 276 – Ansatz höherer Umbaukosten

### **Industrie:**

- Industrialisierung und Standardisierung von Vorfertigungs- und Bauprozessen für die serielle Sanierung

### **Architektur- und Ingenieurbüros:**

- Fokus auf Umbau und Erhalt richten

## Kapitel 2: Serielle und digitalisierte Prozesse

Ein Grund für die starke Umweltbelastung des Bauens ist die – auf das Material bezogene – one-fits-all-Lösung, die sich in den letzten Jahrzehnten beim Bauen etabliert hat. Weit verbreitet sind z. B. Bauteile aus Beton mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) für den Wärmeschutz. Standardisierte Prozesse können hingegen dabei helfen, den Einsatz unterschiedlicher Materialien wieder attraktiver zu machen. Der Einsatz des richtigen Materials für eine spezifische Anforderung wird als Versöhnung der Baustoffe oder

materialgerechtes Bauen bezeichnet. Dieser Ansatz hat zum Ziel, Materialien einzusetzen, die geringere Emissionen in der Gewinnung, Verarbeitung und Errichtung von Gebäuden verursachen und gleichzeitig ein hohes Potenzial einer Wiederverwendung aufweisen. Eine materialgerechte Bauweise kann den logistischen Aufwand in der Planung und Errichtung von Gebäuden in die Höhe treiben, weswegen serielle Prozesse und Vorfertigung von großer Relevanz sind.

### Die Rolle des Materials im Bauprozess

Neben der Wahl des Baustoffs ist vor allem auch die Kombination mit anderen Materialien entscheidend für die bauphysikalischen Eigenschaften und Baukosten. Kompositbauteile haben den Vorteil, die positiven Eigenschaften verschiedener Materialien zu vereinen. Bereits die Außenwand des traditionellen Fachwerkhauses war ein Aufbau aus Holz, das mit mineralischen Baustoffen (häufig eine Mischung Lehm und anderen organischen Anteilen wie Stroh) ausgefacht wurde. Ein derartiger Aufbau erzielt, mit minimalen grauen Emissionen, und einem hohen Potenzial an Wiederverwendbarkeit sehr gute konstruktive und bauphysikalische Eigenschaften. Gerade in Puncto Wiederverwendbarkeit unterscheidet sich der Fachwerkbau aber von anderen Kompositen. Massive Konstruktionen integrieren alle Anforderungen in einem monolithischen Element, was zu einer hohen Einfachheit, aber gleichzeitig zu einem sehr begrenzten Potenzial bei der Optimierung einzelner Funktionalitäten führt. Mehrschichtige Fassaden hingegen erlauben eine Optimierung einzelner Schichten mit unterschiedlichen Materialeigenschaften für bestimmte Funktionalitäten. Der Nachteil dieses Ansatzes ist jedoch bei heutiger Konstruktionsweise und -anforderungen, dass er zu einer sehr hohen Komplexität führt, verbunden mit einer hohen Fehlerquote und einem geringen Recyclingpotenzial. Daher gibt es Bestrebungen, Funktionen in Bauelemente zu integrieren und zu optimieren. Beim Ansatz des Additive

Manufacturing (AM; deutsch: Additive Fertigung) erhofft man sich, eine hohe Funktionalität direkt in Bauelemente einzubetten, insbesondere durch funktional abgestufte Materialien oder durch die Schaffung komplexer Außen- und Innengeometrien. Dieser Ansatz soll dabei den Weg von komplexen, mehrschichtigen Multimaterial-Bauteilen zu Monomaterial-Bauteilen mit mehreren integrierten und optimierten Funktionen eröffnen, die die Wiederverwertbarkeit, die Kosten und die Fehlerquote sowie die bauphysikalische Leistung verbessern. (Briels et al., 2022)

Eine weitere Möglichkeit der Funktionshybridisierung von monolithischen Bauteilen stellen additiv gefertigte Leichtbetonelemente mit tragenden Eigenschaften, optimierter Dämmstruktur und Integration von Leitungsführung dar. (Dielemans, Briels, Jaugstetter, Henke, & Dörfler, 2021) Die Idee der additiven Fertigung ist es, die Bauteile in Schichten zu denken, wobei jede Schicht nur eine einzelne Funktion übernimmt und dadurch sehr effizient dimensioniert werden kann. Die Gesamtmaße an Materialien soll dadurch stark reduziert werden. Zu Schwierigkeiten kann es bei solchen Baustoffkombinationen aber vor allem in puncto Kreislauffähigkeit kommen, welche schon zu Beginn beachtet und in den Entwurfsprozess integriert werden muss. Zudem ist der Zementanteil in den additiv gefertigten Betonelementen oft deutlich höher als im herkömmlichen Beton, was zu einer höheren

Umweltbelastung führen kann. Außerdem ist die Geschossflächenzahl in den Bebauungsplänen auf die Netto- statt die Bruttofläche zu beziehen. So wird ge-

währleistet, dass stärkere Wandaufbauten nicht per se schlechter bewertet werden.

## Serielle Vorfertigung von Bauteilen

Serielle Vorfertigung besitzt eine große Relevanz, wenn es um wirtschaftliche Herstellung bezüglich Materialmix, Design for disassembly oder Zirkularität geht. Die Eigenschaften eines Baustoffs können in den meisten Fällen nicht pauschal als positiv oder negativ bewertet werden. So ist beispielsweise ein geringes Gewicht für die Montage eines Bauteils von Vorteil, kann aber auf der anderen Seite zu Schwierigkeiten beim Einhalten der Schallschutzanforderungen oder den Anforderungen an thermischen Komfort im Sommer führen (sommerlicher Wärmeschutz). Gleiches gilt für Wasserresistenz: Sie erhöht zwar die Dauerhaftigkeit von Bauteilen, die mit Wasser in Berührung kommen, stellt aber ein Hindernis für die Wiederverwendbarkeit oder Kompostierbarkeit des Materials dar. Genau aus diesem Grund ist es wichtig, Materialien sorgfältig und nicht ausschließlich nach konstruktiven Gesichtspunkten, bzw. aus Kostengründen oder logistischen Erwägungen, auszuwählen.

Heutzutage bauen wir jedoch genau nach diesen Kriterien: Die konstruktiven sowie bauphysikalischen Anforderungen können z. B. durch eine Beton-WDVS Kombination sowohl kostengünstig als auch effizient eingehalten werden. Eine betonierete Außenwand erfüllt die statischen und konstruktiven Anforderungen; die Masse des Bauteils bietet neben Schall- auch sommerlichen Wärmeschutz. Mit einem aufgeklebten Wärmedämmverbundsystem werden die energetischen Anforderungen erzielt. Dabei wird bei der Materialwahl häufig nicht zwischen einer Außen- und einer Innenwand unterschieden, obwohl die Anforderungen – statisch, aber auch bauphysikalisch – völlig unterschiedlich sein können. Gleichzeitig führt der Aufbau zu hohen grauen Emissionen und die Klebeverbindung des WDVS erschwert die spätere Trennbarkeit und Wiederverwendung.

Dennoch dominieren solche Materialentscheidungen die Bauwirtschaft, vor allem, weil der Bauprozess so – von einigen wenigen Akteur:innen bestimmt – deutlich zeiteffizienter abgewickelt werden kann. Verglichen mit einem Baustoff wie etwa Ziegel sind zudem schlankere Wandaufbauten möglich, sodass, bei gleichbleibenden bauphysikalischen Anforderungen, mehr Nettofläche auf derselben Brutto-Bebauungsfläche geschaffen wird. Der übermäßige Einsatz von Beton ist demnach vor allem auf Materialkosten, Effizienz im Bau und Sicherheit in der Erfüllung von Normen zurückzuführen. Mit dem Ziel der Dekarbonisierung muss u. a. der Anteil an Beton im Bauwesen jedoch deutlich reduziert werden. In manchen Bauteilen, z. B. erdberührte Bauteile, Fundamente, etc., ist Beton nur schwer ersetzbar und sein Einsatz an diesen Stellen deshalb durchaus berechtigt. Deutlich anders ist die Situation aber beispielsweise bei aufstrebenden Bauteilen.

Um unnötige Emissionen zu vermeiden, müssen Baustoffe daher sinnhaft – entsprechend ihrer Eigenschaften und Umweltwirkung – eingesetzt werden: so zum Beispiel den Baustoff Holz vorrangig für Anforderungen der Statik und Lehm- oder Ziegel vorrangig für die thermischen, feuchteregulierenden, und akustischen Eigenschaften. Für eine wirtschaftliche Umsetzung einer materialgerechten Bauweise braucht es standardisierte bzw. serielle Prozesse in der Vorfertigung von Bauteilen. Dadurch können Kosten reduziert und Prozesse effizient gestaltet werden, sodass derartige Bauweisen konkurrenzfähig realisierbar sind. Zudem bietet die serielle Vorfertigung die Förderung der Baustoff-Kombinationen.

Neben einer seriellen Vorfertigung ist eine „Mass Customization“ von Bauteilen erforderlich, wie dies bereits heute z. B. bei Beton-Fertigteilen praktiziert wird.

Dabei werden Bauteile projektspezifisch gefertigt. Eine umfassende „Mass Customization“ von Bauteilen erfordert die komplette Digitalisierung der Prozesskette. Von der Planung über die Herstellung bis

zur Baustelle müssen die Prozesse durchgängig sein, so dass digitale Informationen übertragen werden können. Dies würde den wirtschaftlichen Einsatz eines nachhaltigen Materialmixes ermöglichen.

## Digitalisierung von Prozessen

Das Baugewerbe ist auf die globalen ökologischen Herausforderungen nicht vorbereitet, insbesondere was die Technologie, aber auch die Humanressourcen betrifft. Die vorherrschenden traditionellen Arbeitsabläufe sind seit Jahrzehnten unverändert und ihre Produktivität gering. Insbesondere hat es, anders als in anderen Branchen, keine kontinuierliche Entwicklung von Industrie 1.0 zu Industrie 4.0 gegeben; die Digitalisierung hat ihren Weg noch nicht in alle Bereiche der Bauprozesse gefunden. Neben den eingangs erwähnten, stetig zunehmenden Umweltbelastungen, stagniert die Arbeitsproduktivität im Baugewerbe seit den 1990er Jahren. (Bertschek, Niebel, & Ohnemus, 2019; Destatis, 2023) Das serielle Bauen und die (digitale) Vorfertigung könnte sich zu einer Schlüsseltechnologie für eine produktive und ressourceneffiziente Bauindustrie entwickeln. Die Merkmale vom seriellen Bauen als auch den AM-Prozessen und Vorfertigung von Bauteilen unterscheiden sich grund-

legend von traditionellen Bautechniken. Die Herstellung eines Bauteils sollte in Zukunft verstärkt digital und industriell ablaufen können, wobei Materialanforderungen kleinteiliger und in Schichten gedacht werden können, ohne vorhergehende Schalung oder nachfolgende Umformprozesse. Das reduziert die Prozessschritte und macht Kompositbauteile sowie nachhaltige Materialien wirtschaftlich konkurrenzfähiger. Dies funktioniert jedoch nur, wenn Material- und Fertigungsprozess als zusammenhängender Herstellungsprozess verstanden werden. Dies ist ein weiterer grundlegender Unterschied zu traditionellen Bauverfahren, bei denen die Material- und Halbzugherstellung unabhängig vom Fertigungsprozess erfolgt. Die Hoffnung von serieller und digitalisierter Vorfertigung und Konstruktion ist es, zu geringeren Kosten, mit minimiertem Abfall und weniger anfälligen Bauteilen effizienter, ökologischer und wirtschaftlicher zu bauen.

## Handlungsempfehlungen

### **Politik:**

- Die Geschossflächenzahl in den Bebauungsplänen muss sich auf die Nettofläche statt die Bruttofläche beziehen.
- Schnellere Zulassungs- und Normierungsverfahren für neue Baustoffe und hybride Bauteile
- Förderung neuer Baustoffe

### **Industrie (inkl. Baustoffhersteller, -lieferanten):**

- Industrialisierung und Standardisierung von Vorfertigungs- und Bauprozessen
- Aufarbeitung gebrauchter Bauteile

### **Architektur- und Ingenieurbüros:**

- Entwicklung von Lösungen und Planung von Bauvorhaben, die als Modell für die Bauwende dienen können

## Kapitel 3: Lebenszyklusbetrachtung

Die Lebensdauer von Gebäuden ist zwar sehr unterschiedlich, aber in jedem Fall begrenzt. Die Wahl des Materials spielt deshalb nicht nur in Verfügbarkeit und Bilanzierung eine übergeordnete Rolle. Der Werkstoff bestimmt auch maßgeblich, was nach dem Abriss mit einem Gebäude geschieht. Mineralische Baustoffe können in den meisten Fällen nicht auf der gleichen Qualitätsstufe verwendet werden, sondern erfahren ein downcycling. Dabei ist jedoch zu beachten, dass auch Recyclingmaterial nur in begrenztem Maße zur Verfügung steht. Durch das Downcycling wird in diesem Fall der Einsatz von Primärmaterial vermieden. Das Material kann beispielsweise geschreddert und als Füllmaterial für den Straßenbau verwendet werden. Trocken verlegte Keramikprodukte, wie z. B. Fassadenplatten, weisen hingegen ein hohes Wiederverwendungspotential auf. Die beinahe unbegrenzte Lebensdauer des Materials hat zur Folge, dass es, so ein architektonischer Anwendungsfall vorhanden, problemlos wiederverwendet werden kann. Holz wiederum kann verrotten, verbrannt oder zu Holzwerkstoffen verarbeitet werden. Entscheidend ist im Zusammenhang mit Holz der Einsatz von Holzschutzmitteln oder Leimen, die die genannten Verwendungsformen limitieren. Zukünftig muss außerdem dafür gesorgt werden, dass Holzbauteile einfacher direkt wiederverwendet werden können. Zum aktuellen Zeitpunkt ist das nur sehr eingeschränkt zulässig. Die höchste Wiederverwendbarkeit weist der Baustoff Lehm auf. Er kann verflüssigt und ohne Qualitätsverlust wieder neu angemischt werden und ist somit vollständig zirkulär, sofern der Baustoff ohne Zuschlagstoffe verwendet wird.

Deshalb muss schon vor dem Bau überlegt sein: Was passiert danach mit dem Gebäude? Zirkularität hat mehrere Ebenen. An erster Stelle steht die langfristige Nutzung. Wie können Gebäude entstehen, die für veränderte Anforderungen – z. B. demographischer Wandel, Klimawandel oder Nutzungsänderung – adaptierbar sind, zumal die anzustrebende Lebenszeit eines Gebäudes weit über ein prognostizierbares Zukunftsszenario hinausgehen sollte. Erst in der nächsten Ebene steht die Wiederverwendung von Bauteilen und dann die Wiederverwendung von Material und Ressourcen (es ist allemal besser einen Stahlträger als solchen wieder zu nutzen, als ihn einzuschmelzen und in einem neuen Bauteil zu nutzen). Für diesen Ansatz gelten bereits gesetzliche und normative Strukturen wie die DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 welche derzeit nicht in jedem Projekt – in Neu- und Umbau – Berücksichtigung finden. Ausführlich ist das Thema der Kreislauffähigkeit im Bauwesen bereits in dem [Positionspapier des Grünen Wirtschaftsdialogs e.V.](#) (s. Anhang) behandelt worden.

Neben der Beurteilung der Lebenszeit ist auch relevant, auf welche Art und Weise Emissionen entstehen. Beispielsweise sind ca. 60% der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Zementproduktion auf den chemischen Prozess der Zementklinkerherstellung zurückzuführen – sog. prozessbedingte Emissionen. Anders als die Emissionen, die beim Betrieb des Hochofens anfallen, kann der chemische Anteil nur schlecht reduziert werden. (Baunetz Wissen, 2019) Abbildung 3 verortet das Potenzial der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Betonherstellung (Schrag, 2021).

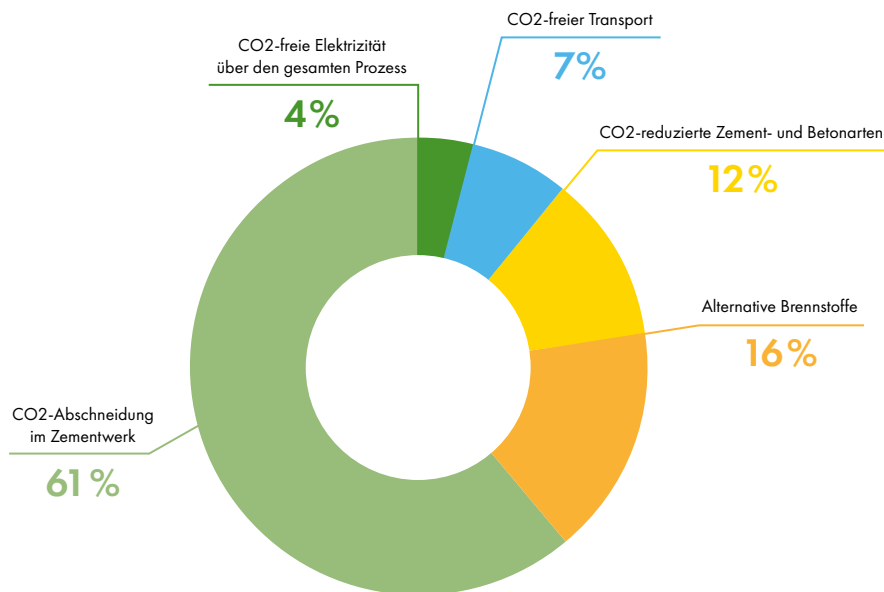


Abbildung 3: CO<sub>2</sub>-Einsparpotential bei der Betonherstellung. Eigene Darstellung auf Grundlage (Schrag, 2021)

Dabei fällt auf das das größte Potenzial nicht bei der Reduzierung der prozessbedingten Emissionen liegt, sondern lediglich in der Abschneidung oder Speicherung dieser CO<sub>2</sub>-Emissionen (61%). Ein weiterer Teil der Einsparpotentiale (11%) liegt in den Sekundärstrukturen des Herstellungsprozesses (z. B. Transport und Elektrizität). Nur etwa 16% des Einsparpoten-

tials fällt dabei auf Emissionen durch die eingesetzten Brennstoffe. Auch beim Brennen von Ziegel entstehen prozessbedingte Emissionen, die jedoch deutlich mit derzeit ca. 30% der CO<sub>2</sub>-Emissionen geringer sind. (Gebäudeforum klimaneutral, 2021)

## Design for Disassembly

Jedes Material und jedes Bauteil, das im Gebäude eingesetzt wird, hat eine begrenzte Lebenszeit oder, besser gesagt, Nutzungszeit; gleichzeitig kann diese stark variieren. Grundsätzlich lassen sich drei verschiedene Ebenen für Disassembly benennen, Gebäudeebene, Produktebene, Bauteilebene. Die tragende Struktur hat eine andere zu erwartende Nutzungszeit als ein Bodenbelag. Die unterschiedlichen Lebensdauern hat Stewart Brand („shearing layer of change“) in sein Schichtenmodell einfließen lassen. (Brand, 1994) Der Grundgedanke, ein Gebäude in Schichten zu denken, hat zum Ziel, dass ein Austausch von Material bzw. Bauteilen und eine Wiederverwendung als Ressource jederzeit mög-

lich ist. Neben der Gebäudeebene lassen sich auch auf Produktebene wichtige Potenziale erkennen. Lösungsansätze hierfür sind bereits in Richtlinien wie der VDI 2243 „Recyclingorientierte Produktentwicklung“, etabliert.

Im Laufe der letzten Jahrzehnte sind Baumaterialien, Bautechniken und die Gebäudetechnologie immer komplexer geworden, was die strukturelle Integrität, Wärme-, Feuchte-, Brand- und Schallschutz und das Wohlbefinden der Nutzenden betrifft. Diese Komplexität hat zu einer zunehmenden Anzahl von Normen und Vorschriften geführt, die die Qualität sicherstellen sollen, aber oft nicht ausreichen. Infolge-

dessen kommt es bei Bauprojekten häufig zu hohen Fehlerquoten bei der Planung und Ausführung, was für Bauherren und Bewohnende gleichermaßen eine große Herausforderung darstellt. Die Komplexität der Beziehungen zwischen Baukonstruktion, Raum, Raumklima, Gebäudetechnik und Nutzerverhalten ist hoch und erfordert einen ganzheitlichen und integralen Ansatz. So wirkt sich zum Beispiel eine großzügige Raumhöhe, auf den Lüftungsbedarf und die Temperaturverteilung im Raum, die Wirksamkeit von Speichermassen und Nachtlüftung, die Größe der zur Belichtung notwendigen Fassadenöffnungen, die Transmissionswärmeverluste und die Leitungslängen, das Tragsystem, die Baukosten, die Aufenthaltsqualität, die Nutzungsflexibilität und schlussendlich auch auf die Lebensdauer, aus. (Nagler, 2018)

Während die Baustruktur und Baumaterialien meist mindestens 100 Jahre überdauert, müssen Anlagentechnik und technische Komponenten bereits nach 15 bis 30 Jahren ausgetauscht werden. (BMDV, 2001) Der Ansatz einer robusten TGA könnte dabei eine Reduktion des Performance Gap erzielen, sodass die tatsächlichen Energieverbrauchswerte näher an den geplanten Werten liegen, was zudem die Betriebskosten reduziert und besser prognostizieren lässt. (Graf et al., 2022) Jedoch sollte bereits in der

Planung der Austausch von technischen Einrichtungen berücksichtigt werden (Stichwort Gewerketrennung). Die Tatsache, dass man im Wohnungsbau häufig über die Installationswege einen Estrich gießt, ist diesbezüglich nicht zielführend. Das Forschungsprojekt Einfach Bauen (TUM, 2021) adressiert diese fehlenden Adaptions- und Austauschmöglichkeiten. Die Haustechnik wurde soweit wie möglich reduziert und auf passiven Komponenten basiert, was sich unter dem Begriff low-tech zusammenfassen lässt. Die geringe Lebensdauer von Installationen und der Bedarf an mehrmaligem Austausch im Lebenszyklus wurde schon in der Konzeption berücksichtigt und so war die Minimierung von Schächten, Installationschichten und Haustechnikräumen oberste Priorität. (Nagler, 2018) Auch die Heizkörper und wärmetechnischen Installationen wurden nachträglich und zugänglich im Innenraum installiert, statt sie in der Konstruktionsebene zu verstecken. Auch hier können statt Einzellösungen von Komponenten bzw. Bauteilen, standardisierte Lösungen (vordefinierte TGA-Auswahlmöglichkeiten für z. B. Erzeugung/Umwandlung und der vertikalen und horizontalen Verteilung) zu geringeren Planungsaufwand und schnellerem sowie robusteren (durch geringer Fehleranfälligkeit bei Ausführung und Betrieb) Bauen und somit zu geringeren Kosten führen. (Graf et al., 2022)

## Handlungsempfehlungen

### **Politik:**

- Design for Disassembly verpflichtend als Teil des Bauantrags, Produktverantwortung der Hersteller
- Umstellung des Gebäudeenergiegesetzes auf lebenszyklusbasierte CO<sub>2</sub>-Emissionen (gemäß QNG) – ohne Nebenanforderungen an Energieeffizienz
- Ermöglichen einer „Gebäudeklasse e“ mit reduzierten Standards

### **Industrie:**

- Entwicklung von Bausystemen auf Basis einer Gewerketrennung, Reparier- und Rückbaubarkeit

### **Architektur- und Ingenieurbüros:**

- Design for Disassembly and Repair
- Robustes Design und Low-tech Lösungen fördern

# Literaturverzeichnis

Auer, T., & Hild, A. (2023). Vom Schmuttelkind zum Hoffnungsträger – Retrieved from <https://www.marlowes.de/vom-schmuddelkind-zum-hoffnungstraeger/>

Baukultur, B. (2022). *Baukultur Bericht 2022/23 – Neue Umbaukultur*. Retrieved from [https://www.bundesstiftung-baukultur.de/fileadmin/files/content/publikationen/BBK\\_BKB-22-23-D.pdf](https://www.bundesstiftung-baukultur.de/fileadmin/files/content/publikationen/BBK_BKB-22-23-D.pdf)

Baunetz Wissen. (2019). Betonherstellung und Klimaschutz. Retrieved from <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/herstellung/betonherstellung-und-klimaschutz-7229519>

Beil, C., Kutzner, T., Schwab, B., Willenborg, B., Gawronski, A., & Kolbe, T. (2021). *Integration of 3D point clouds with semantic 3D city models – Providing semantic information beyond classification*. Paper presented at the 16th 3D GeoInfo Conference 2021, New York City. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-105-2021>

Bertschek, I., Niebel, T., & Ohnemus, J. (2019). *Beitrag der Digitalisierung zur Produktivität in der Baubranche*. Retrieved from Zukunft Bau Endbericht: [https://www.zew.de/fileadmin/FTP/gutachten/ZukunftBau\\_BBSR\\_Endbericht2019.pdf](https://www.zew.de/fileadmin/FTP/gutachten/ZukunftBau_BBSR_Endbericht2019.pdf)

Bienert, S., & Groh, A. (2022). *Klimaneutralität Vermieter Mehrfamilienhäuser – Aber wie?* Retrieved from BKG. (2021). *Deutschland in 3D – Projekt „Digitaler Zwilling“ ist gestartet* [Press release]. Retrieved from [https://www.bkg.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BKG/DE/PM\\_2021/211013-Digitaler\\_Zwilling.html](https://www.bkg.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BKG/DE/PM_2021/211013-Digitaler_Zwilling.html)

BMDV. (2001). *Leitfaden Nachhaltiges Bauen*. Retrieved from [https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/PDF\\_Leitfaden\\_Nachhaltiges\\_Bauen/Leitfaden.pdf](https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/PDF_Leitfaden_Nachhaltiges_Bauen/Leitfaden.pdf)

BMWi. (2015). *Energieeffizienzstrategie Gebäude – Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand*.

Brand, S. (1994). *How buildings learn – What happens after they're built*. New York, NY: Viking.

Briels, D., Kollmannsberger, S., Leithner, F., Matthäus, C., Nouman, A. S., Oztoprak, O., & Rank, E. (2022). Thermal Optimization of Additively Manufactured Lightweight Concrete Wall Elements with Internal Cellular Structure through Simulations and Measurements. *Buildings*, 12(7), 1023. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/7/1023>

Connected Urban Twins. (2023). *Urbane Digitale Zwillinge für die Stadtentwicklung der Zukunft*. Retrieved from <https://www.connectedurbantwins.de/>

Conrad, J. (2020). *Modellierung und Bewertung von Maßnahmen zur kosteneffizienten CO<sub>2</sub>-Verminderung im Sektor private Haushalte*. (Doktor-Ingenieurs). Technische Universität München, Retrieved from [https://www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2020/10/Dissertation\\_Conrad.pdf](https://www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2020/10/Dissertation_Conrad.pdf)



dena. (2016). *dena- Gebäudereport 2016 – Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand*. Retrieved from Berlin:

dena. (2021). *dena-Gebäudereport 2021 – Fokusthemen zum Klimaschutz im Gebäudebereich*. Retrieved from <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-gebäudereport-2021-fokusthemen-fuer-den-klimaschutz/>

Destatis. (2023). *Arbeitsproduktivität je Stunde nach Wirtschaftsbereichen. VGR Monitor Deutschland*. Retrieved from

<https://service.destatis.de/DE/vgr-monitor-deutschland/beschaefigung.html>

Deutsche Energie-Agentur. (2022). *DENA-GEBÄUDEREPORT 2023. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand*. Retrieved from

Dielemans, G., Briels, D., Jaugstetter, F., Henke, K., & Dörfler, K. (2021). Additive Manufacturing of Thermally Enhanced Lightweight Concrete Wall Elements with Closed Cellular Structures. *Journal of Facade Design and Engineering*, 9(1), 59-72. doi:10.7480/jfde.2021.1.5418

Gebäudeforum klimaneutral. (2021). *Treibhausgasemissionen im Hochbau*. Retrieved from

<https://www.gebaeudeforum.de/wissen/ressourcen-und-emissionen/treibhausgasemissionen-im-hochbau/>

Graf, J., Birk, S., Winter, S., Auer, T., Sadegh-Azar, H., Blaß, H., ... Hefp, C. (2022). *Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen*.

IW Köln (Producer). (2016). *Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser in Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche im Jahr 2015*.

Nagler, F. (2018). *Einfach Bauen: Ganzheitliche Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen – Untersuchung der Wechselwirkung von Raum, Technik, Material und Konstruktion*. Retrieved from Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung:

Schrag, B. (2021). *CO2-Einsparpotential bei der Betonherstellung*. Retrieved from

<https://www.hochparterre.ch/nachrichten/architektur/beton-auf-dem-weg-zu-netto-null>

TUM. (2021). *Einfach Bauen*. Retrieved from

<https://www.einfach-bauen.net/>

# Impressum

Grüner Wirtschaftsdialog e.V.  
Dorotheenstr. 3, 10117 Berlin  
+49 30 2868 3434 | info@g-wd.de  
www.gruener-wirtschaftsdialog.de  
V.i.S.d.P.: Thomas Gambke

## AUTOR:INNEN

Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und Klimagerechtes Bauen | Technische Universität München  
Sebastian Koth | Prof. Thomas Auer | Marie Werkhausen



## DAS ARBEITSFELD BAUEN & WOHNEN

Dieses Scoping Paper ist in engem Austausch mit dem Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und Klimagerechtes Bauen der Technischen Universität München und dem Fachforum Nachhaltige Bauwirtschaft im Rahmen des Arbeitsfeldes Bauen & Wohnen des GWD und den darin vertretenen Unternehmen entstanden. Die Anliegen und Perspektiven der Unternehmen sind in das Papier eingeflossen, es spiegelt aber nicht notwendigerweise in jedem Punkt deren Position wider und erhebt nicht den Anspruch, einen Konsens für das Fachforum zu formulieren.

In verschiedenen Diskussionsformaten widmet sich der GWD den drängendsten Herausforderungen der Bauwende. Dazu gehören die Verwendung von innovativen Baustoffen aber auch die Versöhnung der Baustoffe. Darüber hinaus stehen Aspekte der Digitalisierung und Sanierung im Fokus.



GRÜNER  
WIRTSCHAFTS  
DIALOG

Der Grüne Wirtschaftsdialog e.V. (GWD), 2018 gegründet, ist ein parteiunabhängiger Zusammenschluss von Unternehmen und Personen, die gegenseitiges Verständnis und offene Kommunikation zwischen Unternehmen und der Politik im Allgemeinen sowie politischen Entscheidungsträger:innen von Bündnis 90/Die Grünen im Besonderen fördern wollen. Gemeinsames Anliegen ist es, die wirtschaftliche und gesellschaftliche Transformation zu einer ökologisch-sozialen Marktwirtschaft mitzugestalten – zur Sicherung Deutschlands als zukunftsfähigem Wirtschaftsstandort. Hierfür bietet der GWD eine Dialogplattform und versteht sich dabei als Brückenbauer zwischen Politik und Unternehmen.