

Technische Baubestimmungen für den Klimaschutz

DIBt-Forschungsvorhaben
Gz.: P 52-5-21.1-2100.23, Vertrag vom 1./7. März 2023

Schlussbericht des Gesamtforschungsvorhabens

Berichtszeitraum:

März 2023 bis Juli 2025

Forschende Stellen:

Folgende Institutionen unterstützen die Umsetzung der Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens durch Personalgestellung bzw. Mitarbeit in den Projektgruppen bzw. im Lenkungsausschuss:

BFS – bauforumstahl e.V., Düsseldorf

BInGK – Bundesingenieurkammer, Berlin

BVPI – Bundesvereinigung der Prüfingenieure für Bautechnik e.V., Berlin

DAfStb – Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V., Berlin

DBV – Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Berlin

DGQT – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Essen

HDB – Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Berlin

HDI – Holzbau Deutschland Institut e.V., Berlin

VBI – Verband Beratender Ingenieure, Berlin

Aufgestellt am:

15. Juli 2025

Leiter des Projektes:

Dr.-Ing. Lars Meyer

Redaktion:

Dipl.-Ing. Simon Stratmann, Dr.-Ing. Tim Schade, Dr.-Ing. Susanne Urban

Der Bericht umfasst

108 Seiten

Inhalt

1 Vorwort	4
2 Begriffe	6
3 Motivation und Ziele des Forschungsvorhabens.....	7
4 Strategie und Rahmenbedingungen.....	11
4.1 Gliederung der Arbeitspakete.....	11
4.2 Grundlegende Gedanken zur Eingrenzung der Aufgabenstellung.....	11
4.3 Ansatzpunkt für die Arbeiten	12
4.4 Mögliche Vorgehensweisen zur Reduzierung von THG-Emissionen.....	13
4.5 Rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen	15
4.5.1 Notwendigkeit für neue Rahmenbedingungen und aktuelle Hindernisse	15
4.5.2 European Green Deal	15
4.5.3 Bundes-Klimaschutzgesetz	17
4.5.4 CO₂-Schattenpreise: Regulatorik versus Anreizsystem.....	18
4.6 Unternehmensaktivitäten	21
4.6.1 Allgemeines	21
4.6.2 Umfrage zu Nachhaltigkeitsaktivitäten in Unternehmen	21
4.6.3 Unternehmensziele für das Erreichen von Klimaneutralität	25
4.6.4 Start-ups	27
5 Grundanforderungen an Bauwerke: Vorrang des Klimaschutzes?	28
5.1 Priorisierung der Grundanforderungen an Gebäude	28
5.1.1 Zielstellung und Ausgangssituation.....	28
5.1.2 Möglichkeiten und Grenzen einer Priorisierung.....	30
5.2 Klimaschutz als vorbeugende Gefahrenabwehr	31
6 Arbeitspaket 1 – Stärken des Machbaren	32
6.1 Allgemeines	32
6.2 Grundlegende Konstruktionsmaßnahmen (Vorgehensweise 1).....	32
6.2.1 Sicherheitskonzept und Einwirkungen	32
6.2.2 Betonbau	35
6.2.3 Stahlbau	41
6.2.4 Holzbau	43
6.2.5 Mauerwerksbau	46
6.2.6 Geotechnik	48
6.2.7 Verbund- und Hybridbauweisen.....	51
6.2.8 Zwischenfazit	53
6.3 Klimaverträgliche Gestaltung von Gebäudeteilen.....	54
6.3.1 Verteilung der grauen Emissionen im Tragwerk	54
6.3.2 Decken	56

7	Arbeitspaket 2 – Schaffen von Möglichkeiten	57
7.1	Allgemeines	57
7.2	Einführung von Dekarbonisierungsstufen (Vorgehensweise 2)	57
7.2.1	Allgemeines	57
7.2.2	Randbedingungen, Annahmen und Grenzen	57
7.2.3	Definition der Dekarbonisierungsstufen und Festlegung	58
7.2.4	Beispiele für die Definition THG-reduzierter Baustoffe	59
7.2.5	Beispiele für grundlegende Konstruktionshinweise zur THG-Reduzierung	62
7.2.6	Beispielhafte Umsetzung von Dekarbonisierungsstufen für Betontragwerke	62
7.3	Erarbeitung konkreter möglicher Inhalte der Eurocodes	62
7.3.1	DIN EN 1990/NA	63
7.3.2	DIN EN 1991/NA	67
7.3.3	DIN EN 1992/NA	69
7.3.4	DIN EN 1993/NA	70
7.3.5	DIN EN 1995/NA	71
7.3.6	DIN EN 1996/NA	72
7.3.7	DIN EN 1997/NA	72
7.4	Ökobilanzielle Darstellung und Nachweisführung (Vorgehensweise 3)	73
7.5	Umweltproduktdeklarationen	78
8	Arbeitspaket 3 – Nachweis des Möglichen	80
8.1	Derzeitige politische und rechtliche Rahmenbedingungen	80
8.2	Etablierte oder vorgeschlagene Treibhausgasreduktionspfade	81
8.3	Ausgewählte Orientierungswerte (Benchmarks)	85
8.4	Nachweis der Klimaverträglichkeit: Ökobilanzen und Orientierungswerte	87
8.5	Beispiel für eine Umsetzung ins Regelwerk: Die THG-Richtlinie des DAfStb	88
9	Entwicklungen im Ausland	91
9.1	Finnland	91
9.2	Dänemark	92
9.3	Frankreich	93
10	PRB-Werkstatttreffen	94
11	Forschung und zukünftige Entwicklungen	95
12	Zusammenfassung	96
	Schrifttum	98
	Anhang A: Teilprojekte der verschiedenen Arbeitspakete und in der Projektleitung	105
	Anhang B: Fragebogen	107

1 Vorwort

„Die Klimafolgeschäden eines ungebremsten Anstiegs globaler Temperaturen sind unabsehbar. Deshalb kann unser ökologisches und ökonomisches Handeln nur in eine Richtung führen: zur Klimaneutralität.“¹

Dieser Appell, den 50 deutsche Unternehmen am 27. Januar 2024 an die deutsche Bundesregierung und die Opposition im Deutschen Bundestag gerichtet haben, verdeutlicht den Konsens, den Beteiligte aus der Wirtschaft, die Bundesregierung und Mehrheit der Bevölkerung haben.

Es ist eindeutig, dass Deutschland vor einer klimapolitischen Herausforderung steht: Die Klimaziele des Bundesklimaschutzgesetzes erfordern bis 2030 signifikante Reduzierungen. Aus heutiger Sicht muss es bei der Reduzierung fast zu einer Verdreifachung der bisherigen Geschwindigkeit bei der Emissionsminderung kommen, siehe Eröffnungsbilanz des Bundesministers für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)² vom 13. Januar 2022 (**Bild 1**). Darin wird festgestellt, dass zwar im letzten Jahrzehnt die Emissionen im Durchschnitt jährlich um 15 Millionen Tonnen gesunken sind. Zum Erreichen der Vorgaben des Bundesklimaschutzgesetzes müssen sie ab sofort bis 2030 um 36 bis 41 Millionen Tonnen pro Jahr sinken.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Eröffnungsbilanz Klimaschutz

Kernaussagen

1. Die Bundesregierung steht vor einer enormen klimapolitischen Herausforderung: Die Klimaziele des neuen Klimaschutzgesetzes erfordern bis 2030 fast eine Verdreifachung der bisherigen Geschwindigkeit der Emissionsminderung. Während im letzten Jahrzehnt die Emissionen im Durchschnitt jährlich um 15 Millionen Tonnen gesunken sind, müssen sie von nun an bis 2030 um 36 bis 41 Millionen Tonnen pro Jahr sinken.
2. Die bisherigen Klimaschutzmaßnahmen sind in allen Sektoren unzureichend. Der Gebäude sektor wird 2021 zum zweiten Mal in Folge sein Sektorziel verfehlt, und es ist bereits jetzt absehbar, dass in etlichen weiteren Sektoren die Klimaziele der Jahre 2022 und 2023 nicht mehr erreicht werden können. Projektionen zeigen, dass ohne schnell wirkende, zusätzliche Klima-Maßnahmen die 2030-Ziele in allen Sektoren deutlich verfehlt werden.

Bild 1: Auszug aus der Eröffnungsbilanz Klimaschutz des BMWK vom 13. Januar 2022

Das BMWK hat in seiner Eröffnungsbilanz zudem festgestellt, dass die bisherigen Klimaschutzmaßnahmen in allen Sektoren unzureichend sind. Dabei wird insbesondere auch der Gebäude sektor hervorgehoben, der 2021 zum zweiten Mal in Folge sein Sektorziel verfehlt wird. Zudem ist laut BMWK bereits absehbar, dass „*in etlichen weiteren Sektoren die Klimaziele der Jahre 2022 und 2023 nicht mehr erreicht werden können. Projektionen zeigen, dass ohne schnell wirkende, zusätzliche Klima-Maßnahmen die 2030-Ziele in allen Sektoren deutlich verfehlt werden.*“

Diese Situation wird die Politik zu weitreichenden Maßnahmen zwingen, um den politischen Druck in konkrete Maßnahmen zu kanalisieren. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Konkretisierungen enorme Auswirkungen auf das Bauen haben werden. Denn es heißt in der BMWK-Eröffnungsbilanz weiter:

¹ <https://klimawirtschaft.org/publikationen/positionen/unternehmensappell2024>

² https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=14

„Im Gebäudebereich wurde in den letzten Jahren versäumt, die rechtlichen Standards für Sanierung und Neubau an den technischen Fortschritt anzupassen. Die Folge war, dass insbesondere im Neubau hohe Fördersummen ausgegeben wurden, die nur geringe CO₂-Minderungseffekte hatten. Es besteht hier insoweit dringender Handlungsbedarf, um Standards und Förderpolitik sinnvoll neu auszurichten.“

Im Verlauf des Forschungsvorhabens führten politische Entscheidungen dazu, dass Sektorenziele durch eine mögliche Verrechnung zwischen den Sektoren aufgeweicht wurden. Der politische Wille zu rigorosen Maßnahmen lies nach. Neben den Zielen der Bundesregierung, fordern europäische Verordnungen und Richtlinien weiterhin strengere gesetzliche und vergaberechtliche Anforderungen.

Wie die Bundesregierung diese nach der Neuwahl zum Deutschen Bundestag am 23. Februar 2025 umsetzen wird, werden die nächsten Jahre zeigen.

Aus der Prämisse, die Standards für den Gebäudesektor sowohl in der Sanierung als auch im Neubau an den technischen Fortschritt anzupassen und auf das Ziel CO₂-Minderung zu fokussieren, werden sich Konkretisierungsaufgaben ergeben – bspw. zu den Fragen:

- Wie sieht die Technologie konkret aus?
- Wie erfolgen Berechnungen und Nachweise?
- Welche Technischen Baubestimmungen fehlen oder müssen ergänzt werden?

Diesen Fragestellungen widmet sich das Forschungsvorhaben, über das nachfolgend berichtet wird.

2 Begriffe

Nachhaltigkeit	Unter einer nachhaltigen Entwicklung wird heute eine Entwicklung verstanden, welche die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu können.
GWP	Treibhauspotenzial (Global Warming Potential) Das GWP wird als CO ₂ -Äquivalent angegeben, es beschreibt den jeweiligen Beitrag zum Treibhauseffekt im Vergleich zu Kohlendioxid.
GWP-fossil	beschreibt die Abgabe von fossilen Stoffen in die Atmosphäre durch zum Beispiel Verbrennung, Lagerung oder chemische Reaktionen.
[QUELLE: in Anlehnung an DIN EN 15804]	
GWP-biogen	beinhaltet Kohlenstoff, der aus Biomasse in den Baustoff geht und somit CO ₂ aus der Atmosphäre holt und in unseren Gebäuden speichert. Ausgenommen ist hier Biomasse aus natürlichen Wäldern. GWP-biogen beinhaltet allerdings auch den Kohlenstoff, der am Ende des Lebenszyklus des Gebäudes wieder an die Atmosphäre abgegeben wird.
[QUELLE: in Anlehnung an DIN EN 15804]	
GWP-luluc	berücksichtigt Treibhausgasemissionen infolge der Landnutzung und Landnutzungsänderung.
[QUELLE: in Anlehnung an DIN EN 15804]	
THG-Emissionen	Sämtliche zum Klimawandel über den Treibhauseffekt beitragenden Gase. Neben CO ₂ sind dies insbesondere Methan, Lachgas oder Schwefelhexafluorid.
Graue Emissionen	Emissionen, die den Bau, die Instandsetzung und den Abriss von Gebäuden betreffen und die Betriebsphase ausklammern.
EPD	Umweltproduktdeklaration (engl. Environmental Product Declaration) nach DIN EN 15804
Orientierungswert	Vergleichswert (engl. Benchmark) für Treibhausgasemissionen eines Gebäudetyps.
Ökobilanz	Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse sowie der potenziellen Umweltwirkungen eines Bauwerkes, eines Bauteils oder eines Bauproduktes im Verlauf seines Lebenszyklus.
[QUELLE: in Anlehnung an DIN ISO 14044]	
In diesem Forschungsvorhaben beschränkt sich die Zusammenstellung und Beurteilung auf das Tragwerk eines Bauwerkes sowie auf das GWP.	
LCA	Ökobilanz (Lebenszyklusanalyse, engl. Life Cycle Assessment).

3 Motivation und Ziele des Forschungsvorhabens

Das Bauwesen ist in der Europäischen Union für 36 % des CO₂-Ausstoßes und für 40 % des Energieverbrauchs verantwortlich – so schreibt es die Europäische Kommission im Rahmen der sogenannten EU-Taxonomie-Verordnung [1]. Auch in Deutschland – so das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) zum Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland – entfallen 40 % der Emissionen an CO₂-Äquivalenten auf die Herstellung, Errichtung, Modernisierung, Nutzung und den Betrieb von Gebäuden, einschließlich vor- und nachgelagerter Prozesse.

Dieses Forschungsvorhaben fokussiert den Klimaschutz im allgemeinen Hochbau („Gebäude“)³. Darüberhinausgehende Bereiche – bspw. „Bauwerke“ der Energiewirtschaft oder der Verkehrsinfrastrukturen für Straße, Bahn und Wasserwege – müssen separat betrachtet werden. Hierzu wären dann in Folgeprojekten gesonderte Betrachtungen notwendig.

Die PRB hat sich zum Ziel gesetzt, mit diesem Forschungsvorhaben einen ersten Beitrag dafür zu leisten, die Technischen Baubestimmungen für das Bauen im Rahmen der Landesbauordnungen für die Herausforderungen der gesellschaftlich unumgänglichen Klimaschutzbestrebungen zu ertüchtigen. Unter Klimaschutz werden dabei solche Maßnahmen verstanden, die dazu beitragen, die Geschwindigkeit und die Auswirkungen des menschengemachten Klimawandels zu begrenzen. Der passendere englische Begriff lautet: Climate Change Mitigation. Ziel des Klimaschutzes in diesem Sinne ist daher die schnelle Reduzierung der Emission von Treibhausgasen (THG). Solche Treibhausgase entstehen im Gebäudesektor bei der Errichtung („Graue Emissionen“) und im Betrieb.

Die insgesamt entstehenden Treibhausgasemissionen werden bei Gebäuden mit zunehmendem Einsatz Erneuerbarer Energien (EE) maßgeblich durch die Grauen Emissionen bestimmt, siehe hierzu **Bild 2**, **Bild 3** und **Bild 4** und folgende Informationen aus [2].

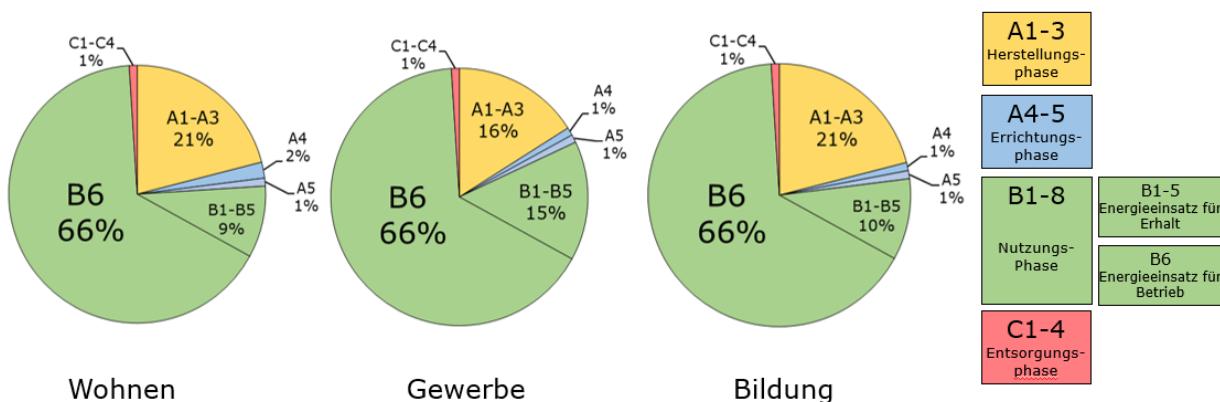


Bild 2: Ergebnisse einer Analyse der Arbeitsgemeinschaft LETI [2]; Verteilung der Treibhausgasemissionen in den Lebenszyklus-Phasen gemäß aktuell verbreitetem Energiestandard

³ Der allgemeine Hochbau („Gebäude“) ist Gegenstand der Bauordnungen der Länder

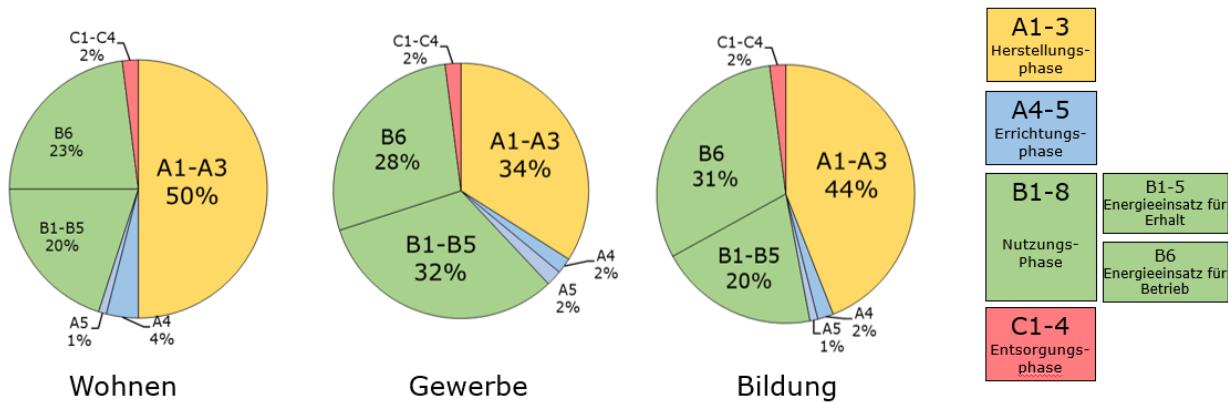


Bild 3: Ergebnisse einer Analyse der Arbeitsgemeinschaft LETI [2]; Verteilung der Treibhausgasemissionen in den Lebenszyklus-Phasen gemäß Passivhaus-Standard

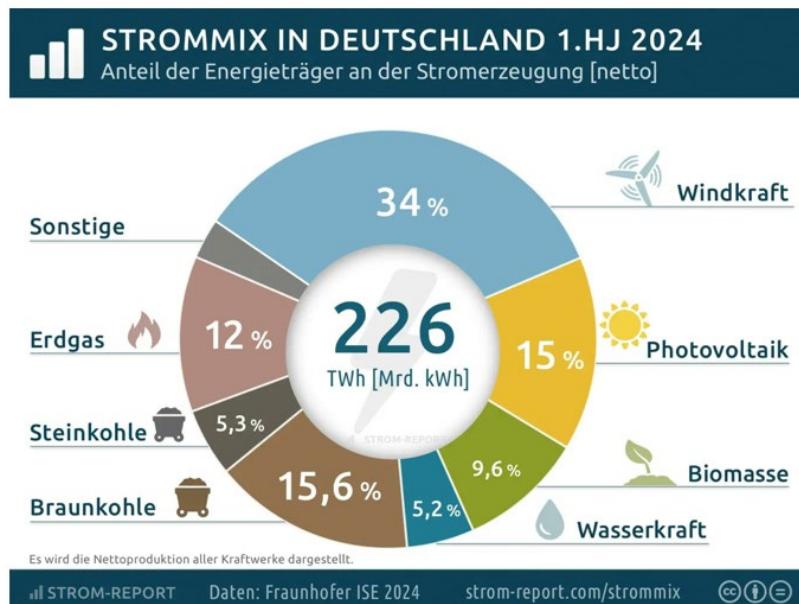


Bild 4: Verteilung der Treibhausgasemissionen in den Lebenszyklus-Phasen gemäß aktuell verbreitetem Energiestandard [3]

Die Treibhausgasemissionen aus Gebäuden teilen sich in Abhängigkeit von der Energieeffizienz und dem Grad der Verwendung regenerativer Energiequellen in Emissionen aus der Konstruktion und dem Betrieb auf. In Deutschland entstehen über den Lebenszyklus eines nachhaltig geplanten Gebäudes aktuell ca. 50 % der Treibhausgase aus der Konstruktion und 50 % aus dem Betrieb [4]. Sofora Gebäude, entsprechend dem aktuellen Vorschlag zur Anpassung der europäischen Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), ab dem Jahr 2028 (öffentliche Gebäude) bzw. ab 2030 (private Gebäude) mit Netto-Null-Emissionen im Betrieb realisiert werden, betragen die Emissionen aus der Konstruktion 100 %. Für die Reduktion der Treibhausgasemissionen von Gebäuden hat die Konstruktion also eine zunehmend wichtige Bedeutung (siehe folgendes **Bild 5** und die qualitative Darstellung auf der rechten Seite des Bildes).

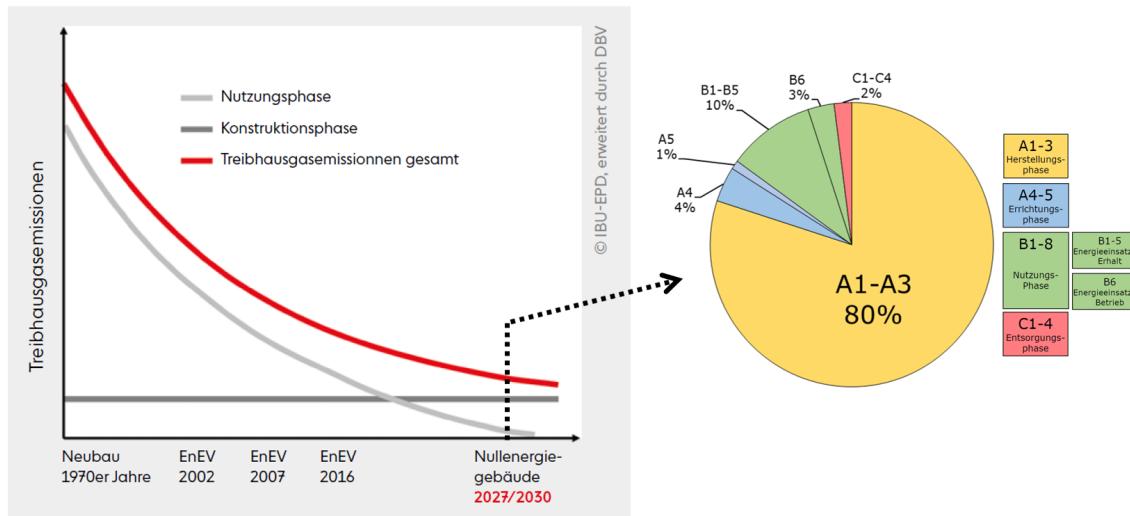


Bild 5: Schematische und qualitative Darstellung des Anteils von Konstruktions- und Nutzungsphase an den gesamten Treibhausgasemissionen eines Gebäudes als Funktion des Energiestandards

Die Reduzierung und die schrittweise Eliminierung der Grauen Emissionen eines Gebäudes stehen daher im Vordergrund. Dabei sind in der weit überwiegenden Anzahl von Fällen wiederum die Tragwerke und Tragstrukturen maßgeblich, da sie die meisten Grauen Emissionen binden. Gemäß [5] verursacht das Tragwerk allein bereits ca. 60 % der Treibhausgasemissionen aus der Konstruktion.

Insofern werden diese Grauen Emissionen von der Wahl der Konstruktion und der Bemessung beeinflusst. Das Hauptaugenmerk muss demnach auf der Optimierung der (Trag-)Konstruktion liegen, wobei insbesondere die Entwurfs- und Planungsphase große Möglichkeiten der Einflussnahme bieten.

Dabei gilt es, drei Dinge zu erreichen, siehe auch [6]:

1. Die verwendete Menge an Baustoffen muss reduziert werden (Optimierung der Tragstruktur).
2. Der verwendete Baustoff muss aus dekarbonisierten Prozessen stammen (Verwendung dekarbonisierter Baustoffe).
3. Die Errichtung von Tragwerken bzw. Gebäuden insgesamt muss in optimierten und verschwendungsarmen Prozessen erfolgen (verschwendungsarme Prozesse).

In der Tragwerksplanung liegt somit ein großes Potenzial zur Reduktion dieser Emissionen und für einen positiven Beitrag zu allen drei vorgenannten Nachhaltigkeitszielen. Entsprechende Ansätze für die Tragwerksplanung sind vorhanden und wurden von diversen Ingenieurbüros auch bereits mehrfach in die Praxis umgesetzt. Jetzt ist es erforderlich, diese vorbildlichen Ansätze in einer größeren Breite zu implementieren. Technische Baubestimmungen sollen hierfür eine Hilfestellung geben und die Anwender ermutigen, in kritischer und konstruktiver Auseinandersetzung mit dem Thema zu seiner weiteren Entwicklung beizutragen.

Hierzu werden von der PRB bauartübergreifend drei Teilespekte (**Tabelle 1**) näher untersucht, die sich dem Thema auf unterschiedliche Art und Weise nähern. Die Aufgabe der PRB ist es, diese für die verschiedenen Tragwerksarten und Bauweisen für Tragstrukturen aufzubereiten und zu bewerten. Als Ergebnis des Forschungsvorhabens sollen entsprechende Vorschläge und Empfehlungen für deren bauaufsichtliche Umsetzung abgeleitet werden.

Tabelle 1: Arbeitspakete (AP) des Forschungsvorhabens gemäß Forschungsantrag

AP	Teilespekt	Beschreibung
1	Stärken des Machbaren	Hilfestellungen für Maßnahmen, die zu einer schnellen CO ₂ -Reduktion beim Bauen beitragen
2	Schaffen von Möglichkeiten	Berechnung des CO ₂ -Fußabdrucks durch Verknüpfung von Eurocodes und Umweltproduktdeklarationen (EPD)
3	Nachweis des Möglichen	Entwicklung von möglichen Nachweisformaten zur Einführung eines Grenzzustandes der Klimaverträglichkeit (GZK), mit dem durch Berechnung staatlich festgelegte Anforderungen erfüllt werden können

Im **Arbeitspaket 1** werden auf die einzelnen Bauarten bezogene Maßnahmen zum Klimaschutz recherchiert und zusammengefasst. Bestehende und geplante sofort umsetzbare Maßnahmen zur klimaverträglichen Bemessung von Tragwerken werden erarbeitet und beschrieben.

Grundlage ist die Überlegung, dass eine Umkehr in Regelwerken erfolgen muss: Nachhaltiges Bauen muss als Standard beschrieben werden und nicht – wie bisher – als Ausnahme [6].

Im **Arbeitspaket 2** werden Grundlagen zur Berechnung des CO₂-Fußabdrucks von Bauwerken erarbeitet. Erste Aktivitäten zur Integration des Themas in die Eurocodes werden erläutert.

Hier ist die initiale Überlegung, dass der künftige Standard stets eine Ökobilanz bzw. Lebenszyklusanalyse sein muss.

Im **Arbeitspaket 3** werden Nachweisformate zur Klimaverträglichkeit entwickelt.

Dabei ist von besonderer Bedeutung, dass es nicht nur um die Erfassung und Berechnung der Emissionen im Lebenszyklus über eine ökobilanzielle Bewertung gehen kann, sondern dass es Grenzwerte geben muss, die (gesetzlich) einzuhalten sind.

Soweit möglich, werden konkrete Formulierungen zur Fortschreibung, Änderung oder Ergänzung von bestehenden oder neuen Regelwerken vorgeschlagen. Diese Vorschläge, die Gegenstand künftiger Technischer Baubestimmungen werden sollten, sind jeweils als solche im Text durch eine entsprechende Formatierung hervorgehoben:

Textvorschläge zu Regelwerken...

... sind in diesem Schlussbericht in dieser Form formatiert.

Zudem werden in einzelnen Abschnitten weiterführende Empfehlungen für die Bauaufsicht wie folgt hervorgehoben:

Empfehlung für die Bauaufsicht:

Hier steht dann die jeweilige weiterführende Empfehlung.

4 Strategie und Rahmenbedingungen

4.1 Gliederung der Arbeitspakete

Das Forschungsvorhaben wird innerhalb der drei Arbeitspakete gemäß **Tabelle 1** in verschiedene Teilprojekte untergliedert, siehe Übersicht im **Anhang A**. Diese werden durch die PRB-Projektgruppen und durch die Projektleitung (DBV) bearbeitet. Schwerpunktthemen werden in Projektgruppen und Gremien der PRB-Mitgliedsverbände bearbeitet.

In den folgenden Abschnitten werden Rahmenbedingungen und Aktivitäten der Praxis zum klimaverträglichen Bauen beschrieben. Diese Rahmenbedingungen sind eine wichtige Grundlage für die Erarbeitung von Technischen Baubestimmungen. Die beschriebenen Aktivitäten der Praxis geben einen ersten Einblick, inwieweit die Praxis im Bereich Klimaschutz bereits jetzt aktiv ist.

4.2 Grundlegende Gedanken zur Eingrenzung der Aufgabenstellung

Für die Eingrenzung der Aufgabenstellung wurden einige grundlegende Gedanken und Leitplanken zusammengestellt, siehe **Tabelle 2**, die bei Klimaschutzbestrebungen zukünftig Beachtung finden sollten:

- Die ökologische Nachhaltigkeit muss mit allen Eurocodes verknüpft werden. Dabei muss die Ökobilanzierung als Werkzeug eingearbeitet werden.
- Empfehlungen („sollte“) in den Eurocodes (bspw. FprEN 1990) sind in den Nationalen Anhängen in Anforderungen („müssen“, „es ist zu tun“) umzuformulieren. Empfehlungen in Normen werden als nicht ausreichend angesehen.
- Der Nachweis erfolgt entweder relativ gegenüber noch festzulegenden Benchmarks (bspw. in Regelwerken (Normen, Richtlinien, andere Standards)) oder absolut gegen verbindliche Grenzwerte, die an noch zu definierenden Stellen festgelegt werden – bspw. im Vertrag oder über die Landesbauordnungen (Gesetz) oder in Regelungen aufgrund der Landesbauordnungen (nachgesetzlicher Bereich: Verordnungen, Verwaltungsvorschriften).
- Verpflichtungen aussprechen, von denen positive Effekte im Sinne der Nachhaltigkeit ausgehen – auch, wenn sie das Bauen beschränken. Abweichungen sind möglich, wenn über eine Ökobilanz ein emissionsärmeres Gebäude nachgewiesen werden kann.

Tabelle 2: Leitplanken für die Eingrenzung der Aufgabenstellung

Leitplanken für die ersten Schritte	
<ul style="list-style-type: none">• Nachhaltigkeitsziele aus der EU-Taxonomie-Verordnung anhand der sechs Umweltziele• Höchste Priorität: Einhaltung des Jahresemissionsbudgets gemäß Bundesklimaschutzgesetz• Grundsätze müssen für alle Bauweisen anwendbar sein• Schnelle Lösungen im Vordergrund	<ul style="list-style-type: none">• Praxisgerechte Vereinfachungen und reduzierte Komplexität• Lebenszyklusdefinition nach DIN EN 15978• Datenbasis sind die Umweltproduktdeklarationen• Unterscheidbarkeit von Bauwerken und Gebäuden möglichst anhand etablierter Einstufungen

Die zuvor dargelegten Gedanken und Leitplanken sollen den Rahmen bilden, um die zunehmenden Forderungen nach Klimaschutz und Nachhaltigkeit am Bau umzusetzen. Weiterhin müssen die technischen Werkzeuge geschaffen werden, mit denen die Umsetzung der Leitgedanken und Leitplanken möglich ist.

4.3 Ansatzpunkt für die Arbeiten

Ansatzpunkt für die Arbeiten in diesem Forschungsvorhaben ist die geplante Verknüpfung der Tragwerksplanung nach den Eurocodes mit der Nachhaltigkeit. Hierzu enthält FprEN 1990:2022 [7] folgende Formulierung:

4.7 Nachhaltigkeit

(1) Das Tragwerk sollte so bemessen sein, dass seine nachteiligen Auswirkungen auf nicht erneuerbare Umweltressourcen, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft während seiner gesamten Nutzungsdauer begrenzt werden, wie **von der zuständigen Behörde** festgelegt oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, wie für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart.

ANMERKUNG 1 Die nachteiligen Auswirkungen eines Tragwerks auf seine Umwelt, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft können z. B. durch entsprechend ausgewählte Konstruktionsprozesse und umweltverträgliche Baustoffe, einschließlich deren Herstellung, Entwurfslösungen, Dauerhaftigkeit, Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit, auf ein Mindestmaß verringert werden.

ANMERKUNG 2 Ergänzende Anforderungen zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit im Entwurf können im Nationalen Anhang angegeben werden.

Diesen Ansatzpunkt gilt es zu nutzen, um in den Eurocodes, den Nationalen Anhängen zu den Eurocodes und den darauf Bezug nehmenden weiteren Normen und Richtlinien entsprechende Regeln zu formulieren. Dabei liegt der Fokus in diesem Forschungsvorhaben stets auf dem Tragwerk bzw. dem Entwurf, der Konstruktion und Bemessung der Tragstruktur.

Empfehlung für die Bauaufsicht:

Die Bauaufsicht sollte insbesondere die im vorgenannten Abschnitt 4.7 der FprEN 1990 **gelb markierte** Formulierung aufgreifen und entsprechende Festlegungen in den Nationalen Anhängen zu den Eurocodes einfordern. Die Ergebnisse und Formulierungsvorschläge in diesem Bericht können dafür eine Grundlage sein.

4.4 Mögliche Vorgehensweisen zur Reduzierung von THG-Emissionen

Zur Reduzierung der Grauen Emissionen eines Tragwerks sind drei Ansätze zu verfolgen, siehe Abschnitt 3:

1. Die verwendete Menge an Baustoffen muss reduziert werden (Optimierung der Tragstruktur).
2. Der verwendete Baustoff muss aus dekarbonisierten Prozessen stammen (Verwendung dekarbonisierter Baustoffe).
3. Die Errichtung von Tragwerken bzw. Gebäuden insgesamt muss in optimierten und verschwendungsarmen Prozessen erfolgen (verschwendungsarme Prozesse).

Die beiden erstgenannten Ansätze, nämlich „Optimierung der Tragstruktur“ und „Verwendung dekarbonisierter Baustoffe“ sind Gegenstand der Überlegungen in diesem Forschungsvorhaben.

In diesem Bericht werden drei Vorgehensweisen unterschieden, die sich wie folgt herleiten:

- Eine Optimierung der Tragstruktur kann bspw. über vordefinierte konstruktive Regeln erfolgen – oder über Variantenvergleiche. Vordefinierte konstruktive Regeln zu formulieren, wird in diesem Bericht als „Vorgehensweise 1“ bezeichnet.
- Variantenvergleiche sind bspw. über ökobilanzielle Methoden durchführbar. Diese ökobilanziellen Methoden werden in diesem Bericht als „Vorgehensweise 3“ bezeichnet.
- Zusätzlich werden in diesem Bericht Vorschläge zur Definition von Dekarbonisierungsstufen formuliert. Und dies wird als „Vorgehensweise 2“ bezeichnet. In diesen Dekarbonisierungsstufen wird die Verwendung dekarbonisierter Baustoffe einbezogen. Dies kann in der „Vorgehensweise 2“ dann auch zu einer komparativen (vergleichenden) Abstufung von Maßnahmen zur „Optimierung der Tragstruktur“ in Kombination mit der „Verwendung (unterschiedlich intensiv) dekarbonisierter Baustoffe“ führen.

Die Struktur der in Abschnitt 3 erläuterten Arbeitspakete ähnelt bereits diesen drei Vorgehensweisen der später vorgestellten Nachweisführung (siehe **Bild 6**).

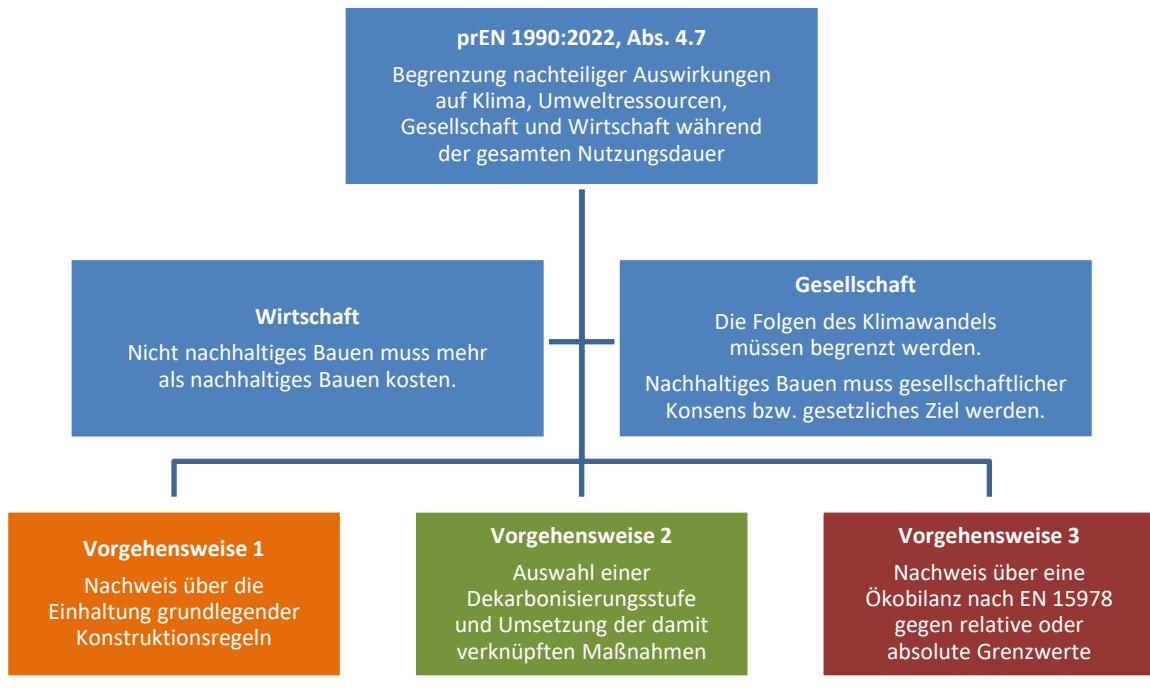


Bild 6: Nachweis der Klimaschutzverträglichkeit

Diese Vorgehensweisen können den Arbeitspaketen wie folgt zugeordnet werden, siehe **Tabelle 3**.

Tabelle 3: Zuordnung der Vorgehensweisen zu den Arbeitspaketen des Forschungsvorhabens

Vorgehensweise	Arbeitspaket	Umsetzungsbeispiele
Vorgehensweise 1: Nachweis über die Einhaltung grundlegender Konstruktionsregeln	Arbeitspaket 1: Stärken des Machbaren	siehe Abschnitt 6
Vorgehensweise 2: Maßnahmen zur Klassifizierung und Auswahl von Dekarbonisierungsstufen sowie Umsetzung der damit verknüpften Maßnahmen	Arbeitspaket 2: Schaffen von Möglichkeiten	DBV-Vorschlag zur Erweiterung der THG-Richtlinie des DAfStb [8]
Vorgehensweise 3: Nachweis über ökobilanzielle Methoden nach EN 15978 gegen Orientierungswerte oder gegen festzulegende relative oder absolute Grenzwerte	Arbeitspaket 3: Nachweis des Möglichen	THG-Richtlinie des DAfStb [9] THG-Richtlinie des DAfStb [9]

In den bauartbezogenen Eurocodes sollten verschiedene Vorgehensweisen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen beschrieben werden. Dies sind beispielsweise

- Nachweis über die Einhaltung grundlegender Konstruktionsregeln
- Maßnahmen zur Klassifizierung und Auswahl von Dekarbonisierungsstufen sowie Umsetzung der damit verknüpften Maßnahmen
- Nachweis über ökobilanzielle Methoden nach EN 15978 gegen festzulegende Orientierungswerte oder gegen relative oder absolute Grenzwerte

Die Umsetzung dieser Aufgabe wird in den Abschnitten 6.2, 7.2 und 7.4 beschrieben.

4.5 Rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen

4.5.1 Notwendigkeit für neue Rahmenbedingungen und aktuelle Hindernisse

Ohne einen gesetzlichen Rahmen oder entsprechende staatlich finanzierte Anreizsysteme sind die Vorschläge zur Konkretisierung des klimaverträglichen Bauens nicht umsetzbar.

Beispielsweise ist das Prinzip von Sicherheit und Klimaschutz gegenüber Komfort- und Gebrauchstauglichkeitsfragen (insbesondere Schallschutz, Stellplatz-Verordnungen) neu zu definieren. Dies kann nur über den Gesetzgeber erfolgen, da klimaschonendes Bauen aufwändiger und teurer ist als bisherige Bauweisen.

Weiterhin ist die bisher noch unzureichende Datengenauigkeit der Umweltproduktdeklarationen zu erhöhen. Dabei wird angenommen, dass durch die neue EU-Bauproduktenverordnung [10] ab 2025 eine deutliche Erweiterung der Datenverfügbarkeit sowie der Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Daten erreicht werden kann.

Ein entscheidendes Hindernis, klimaverträglich zu bauen, ist der damit verbundene Aufwand. Der Aufwand ist gegenüber der bisherigen Baupraxis höher, weil die Umweltauswirkungen des Bauens – insbesondere hinsichtlich des Klimawandels aufgrund des Treibhauseffektes – externalisiert werden. Sobald diese bisher externalisierten Kosten sukzessive in den Kosten des Bauens bspw. über CO₂-Abgaben abgebildet werden müssen, wird es – einfach ausgedrückt – teuer.

Ein Ansatz zur Verringerung der Kosten ist die Standardisierung klimaverträglicher Bauprodukte und Bauweisen. Insofern bedarf es Anreize für Vorreiter in Planung, Baustoffherstellung und Bauausführung – oder entsprechende rechtlich bindende Vorgaben. Der Rechtsrahmen des European Green Deal kann eine Grundlage sein, um Bauherren solche Anreize für ein klimaverträgliches Bauen zu liefern. Aber auch national sollten von staatlicher Seite Anreize für ein klimafreundliches bis klimaneutrales Bauen geschaffen werden.

4.5.2 European Green Deal

Der European Green Deal ist ein von der Europäischen Kommission im Jahr 2019 vorgestelltes Konzept mit dem Ziel, bis 2050 die Emissionen von Treibhausgasen in der Europäischen Union auf „netto null“ zu reduzieren [11]. Die Instrumente des European Green Deal sind verschiedene Gesetze, Verordnungen und Richtlinien.

Unternehmen müssen über ihr nachhaltiges Handeln zukünftig entsprechend der **Corporate Sustainability Reporting Directive** (CSRD) berichten. Aktuell betrifft das bereits Finanzmarktteilnehmer und große Unternehmen, zukünftig weitere Unternehmen.

Bewertet wird in der **EU-Taxonomie-Verordnung** (Verordnung (EU) 2020/852 Taxonomie-Verordnung, kurz EU-Taxonomie [1]) die wirtschaftliche Aktivität eines Unternehmens, zum Beispiel der Neubau von Bauprojekten. Das Unternehmen wählt eines von sechs Umweltzielen (siehe **Bild 7**) als Schwerpunkt. Für dieses Umweltziel müssen definierte technische Bewertungskriterien eingehalten werden, hierunter fällt beim Klimaschutz auch die Angabe des CO₂-Fußabdrucks. Der CO₂-Fußabdruck wird so zu einem wichtigen Indikator für den Wert einer Immobilie. Für die restlichen Umweltziele gilt: Nachhaltiger bedeutet, einen wesentlichen Beitrag zu mindestens einem der insgesamt sechs Umweltziele zu leisten („substantial contribution“), ohne den anderen zu widerzulaufen („do no significant harm“). Die Weiterentwicklung von Regelwerken wird eine wichtige Rolle spielen, um einheitliche Methoden für die Erarbeitung von Kennzahlen in den Unternehmensberichten zu ermöglichen.



Bild 7: Umweltziele der EU-Taxonomie-Verordnung

Die neue **Bauproduktenverordnung** [10] wird zu einem weiteren wichtigen Regelwerk für das klimaschonende Bauen. Sie ist als Verordnung in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union rechtlich bindend und wird in den nächsten Jahren sukzessive umgesetzt. In der zweiten Jahreshälfte 2025 erfolgt die verpflichtende Einführung der Angabe von GWP-Indikatoren durch Unternehmen als Teil der Leistungs- und Konformitätserklärung. Diese werden EPDs somit ersetzen und in Zuverlässigkeit und Genauigkeit Verbesserungen bewirken. Die Qualität wird durch ein neu etabliertes Überwachungssystem sichergestellt.

Ziel der Bauproduktenverordnung sind harmonisierte Produktnormen, die den Anforderungen der Mitgliedstaaten gerecht werden. Auch Technische Baubestimmungen für den Klimaschutz müssen mit diesen harmonisierten Produktnormen verknüpft werden. Beispielsweise können in den Eurocodes Anforderungen definiert werden.

Die Digitalisierung wird bei der Umsetzung der neuen Bauproduktenverordnung helfen. Der digitale Produktpass soll ab 2028 verpflichtend werden, bis dahin erfolgt die Vorbereitung und Einführung.

Weitere für den Klimaschutz im Bauwesen relevante Regelwerke des European Green Deals sind:

- **Revised Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) [12]**
- **Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) [13]**
- **EU Emissions Trading System (ETS) [14].**

Die EPBD wird in Deutschland in Form des Gebäudeenergiegesetz (GEG) umgesetzt. Während dieses bisher auf Grundlage der EPBD 2014 die Energieeffizienz von Gebäuden regelte, sieht die neue Fassung aus 2024 die verpflichtende Angabe der Gesamtenergieeffizienz inklusive der grauen Emissionen vor. Ab 2028 wird für alle neuen Gebäude mit einer Nutzfläche von mehr als 1.000 m² und ab 2030 für alle neuen Gebäude die Angabe der Gesamtenergieeffizienz erforderlich.

Auf europäischer Ebene werden neben den Normen zur ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden [15] auch Regelwerke für die Umsetzung von Nachhaltigkeitskriterien in bauartspezifischen Normen vorbereitet, siehe bspw. [16] und [17].

Vor dem hier dargestellten Hintergrund müssen die zukünftig in Deutschland anzuwendenden Technischen Baubestimmungen für den Klimaschutz mit den Maßnahmen des European Green Deals verknüpft werden. Hierzu wird die Aufnahme entsprechender Regelungen in den nationalen Anhängen der bauartspezifischen Eurocodes mit der Anbindung an EN 1990, Abs. 4.7 vorgeschlagen (siehe Abschnitt 4.3).

4.5.3 Bundes-Klimaschutzgesetz

Das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) hat gemäß [18] den Zweck, die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten. Grundlage bildet die Verpflichtung nach dem Übereinkommen von Paris aufgrund der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Danach soll der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter zwei Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden, um die Auswirkungen des weltweiten Klimawandels so gering wie möglich zu halten. Auch soll damit das Bekenntnis Deutschlands auf dem UN-Klimagipfel am 23. September 2019 in New York gestützt werden, bis 2050 Treibhausgasneutralität als langfristiges Ziel zu verfolgen.

Das Bundesverfassungsgericht hat in seiner Entscheidung vom 24. März 2021 zum KSG in der Fassung vom 12. Dezember 2019 zum Ausdruck gebracht, dass der Artikel 20a des Grundgesetzes (GG) den Staat dazu verpflichtet, sein Handeln als Gesetzgeber konsequent auf die Herstellung von Klimaneutralität auszurichten. Den Klimaschutzbelangen kommt danach zwar kein unbedingter Vorrang gegenüber anderen Belangen zu. Dabei nimmt jedoch „das relative Gewicht des Klimaschutzgebots in der Abwägung bei fortschreitendem Klimawandel weiter zu“ (BVerfG, Beschluss vom 24. März 2021, 1 BvR 2656/18 u. a., Leitsatz 2a).

Das daraufhin geänderte KSG wurde am 24. Juni 2021 vom Deutschen Bundestag beschlossen. Mit dem neuen Gesetz wird das Ziel der Klimaneutralität um fünf Jahre auf 2045 vorgezogen. Der Weg dahin wird mit verbindlichen Zielen für die 20er und 30er Jahre festgelegt. Das

Zwischenziel für 2030 wird von derzeit 55 auf 65 % Treibhausgasminderung gegenüber 1990 erhöht. Für 2040 gilt ein neues Zwischenziel von 88 % Treibhausgasminderung.

Der Deutsche Bundestag hat am 26. April 2024 eine zweite Änderung des KSG verabschiedet. Dabei soll die Einhaltung der Klimaschutzziele künftig anhand einer sektorübergreifenden und mehrjährigen Gesamtrechnung überprüft werden.

Weitere Details des Gesetzgebungsprozesses enthält [19].

Mit der jüngsten Änderung des KSG wurden die bisherigen Sektorziele de facto aufgelöst: „Zur Zielerreichung werden künftig Jahresemissionsgesamtmengen für alle Sektoren aggregiert eingeführt.“ [19]

Eine konkrete Ableitung eines Sektorziels für Gebäude ist insofern seit dem Inkrafttreten des neuen KSG nicht mehr möglich.

Eine Lösung wird hierzu voraussichtlich erst in der 21. Wahlperiode des Deutschen Bundestags erfolgen, wenn die EU-Gebäuderichtlinie über ein überarbeitetes Gebäudeenergiegesetz (GEG) umgesetzt werden muss.

4.5.4 CO₂-Schattenpreise: Regulatorik versus Anreizsystem

Im Land Baden-Württemberg gibt es seit Februar 2023 eine Verordnung zur Umsetzung des CO₂-Schattenpreises (CO₂-Schattenpreis-Verordnung - CO₂-SP-VO) [20]. Zweck dieser Verordnung ist die nähere Regelung des rechnerischen Preises, der im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für jede über den Lebenszyklus einer Maßnahme entstehende Tonne Kohlenstoffdioxid (CO₂) gemäß § 8 Absatz 1 KlimaG BW zu veranschlagen ist (CO₂-Schattenpreis). Die Höhe des CO₂-Schattenpreises für die von der Verordnung erfassten Anwendungsbereiche entspricht dem im jeweiligen Zeitpunkt der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung oder Variantenbewertung vom Umweltbundesamt wissenschaftlich ermittelten und empfohlenen Wert für Klimakosten von Treibhausgasemissionen, der über die allgemein zugängliche Internetseite des Umweltbundesamtes ermittelt werden kann. Nach Maßgabe der Verordnung ist ein Wert von 201 Euro anzusetzen, solange das Umweltbundesamt keinen anderen Wert empfiehlt [20].

Das von KPMG für den Hauptverband der Deutschen Bauindustrie erstellte Impulspapier „Klimaverträglich bauen“⁴ zeigt, wie der Staat Bauleistungen beschaffen kann, um seine Klimaschutzziele zu erreichen. Ein CO₂-Schattenpreis in der Beschaffung als marktwirtschaftliches Instrument könnte eine realistische und praxistaugliche Lösung sein (**Bild 8**).



Bild 8: Bewertung des Treibhauspotenzials über einen CO₂eq-Schattenpreis

⁴ <https://www.bauindustrie.de/media/veroeffentlichungen/artikel/studie-klimavertraeglich-bauen>

Dabei stützen die Autoren des Impulspapiers sich auf folgende Punkte:

- Der Staat und seine Unternehmen sind verfassungsrechtlich verpflichtet, Treibhausgasemissionen zu reduzieren. § 13 Klimaschutzgesetz verpflichtet den Bund bei Investitionen und ihrer Beschaffung zu prüfen, wie Treibhausgasemissionen sich reduzieren lassen.
- Klimafolgekosten sind nach den Verwaltungsvorschriften des Bundes (AVV Klima) und zahlreichen Landesgesetzen in der Beschaffung zu berücksichtigen.
- Klimaschutz kann haushaltsrechtlich höhere Investitionskosten rechtfertigen; vgl. auch Aussage des Bundesrechnungshofs.
- Das Vergaberecht und das Haushaltrecht erlauben (fordern vielfach) also die Wertung der Klimafolgekosten.
- Vergaberechtliches Instrument hierfür ist die Bepreisung und Wertung der mit der Bauleistung verbundenen CO₂-Emissionen. 237 Euro je t CO₂ ist der volkswirtschaftliche Preis laut Umweltbundesamt. Auch für die Treibhausgase Methan und Lachgas können basierend auf dem Greenhouse Gas Impact Value Estimator (GIVE) Modell Klimakostensätze ermittelt werden [21]
- Faktisch spielt Klimaschutz in der Beschaffung in Deutschland bislang keine Rolle. Dies steht im krassen Widerspruch zu den Rechtspflichten.
- In Norwegen, den Niederlanden, Österreich oder dem Vereinigten Königreich (UK) werden Klimafolgekosten in der Beschaffung seit Jahren und regelmäßig berücksichtigt.
- Die methodischen Voraussetzungen hierfür liegen auch in Deutschland vor. Instrument ist die Erstellung einer Ökobilanz. Im Hochbau wird dies ab 2028 (Nutzfläche mehr als 1.000 m²) bzw. 2030 verpflichtend. Die erforderlichen Daten liegen vor, etwa in der ÖKOBAUDAT des Bundes. Produktspezifische Daten finden sich in Umweltpunktdeklarationen (EPD) und werden ab 2025 für Bauprodukte auch verpflichtend.

Das Impulspapier zeigt, wie Vergabeverfahren zu gestalten sind, um klimaverträgliches Bauen zu ermöglichen. Der Staat kann insbesondere durch die Bewertung der Klimafolgekosten über einen CO₂-Schattenpreis Anreize schaffen, damit Baukonstruktionen materialschonend geplant, emissionsarme Baumaterialien, Gebäudetechnik und Baumaschinen entwickelt und eingesetzt, Bauelemente wiederverwendbar verbaut werden oder erneuerbare Primärenergie genutzt wird.

Das Impulspapier enthält neben zahlreichen Beispielen auch konkrete Handlungsempfehlungen und Muster. In der **Tabelle 4** sind die Kernaussagen des Impulspapiers aufgeführt.

Tabelle 4: Kernaussagen des Impulspapiers „Klimaverträglich Bauen“

Bereich	Kernaussage
Klimaschutz als Beschaffungsziel	<ul style="list-style-type: none"> • Klimaschutz muss verbindliches Ziel bei der Planung und Beschaffung von Bauleistungen sein. • Auftraggeber müssen zu Projektbeginn definieren, welche Rolle sie dem Klimaschutz einräumen und in welchem Maße sie hierfür höhere Investitionskosten akzeptieren und sich personell kompetent aufstellen.
Zuschlagskriterien	<p>Vergabeverfahren müssen Wettbewerb um Lösungswege ermöglichen. Ein taugliches Wertungsmodell ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auftraggeber erstellt eine Ökobilanz auf Grundlage etablierter Methoden und durchschnittlicher Daten. • Die Bieter haben das Recht (aber nicht die Pflicht), das vom Auftraggeber ausgewiesene Treibhauspotenzial ihrer Leistungen zu optimieren. Hierzu nutzen sie bspw. die Daten aus Umweltproduktdeklarationen (EPD) der von ihnen vorgesehenen Bauprodukte und berücksichtigen den Masseneinsatz ihrer Konstruktion. • Das Treibhauspotenzial wird mit einem Schattenpreis je Tonne CO₂eq monetarisiert und bewertet.
Ganzheitlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Klimaverträgliche Planung sollte die Innovationen und Fähigkeiten aller Projektbeteiligten berücksichtigen. • Je früher die Bauindustrie eingebunden wird, desto besser kann ihr Know-how genutzt werden.
Partnerschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Die Risiken aus der Beschreitung neuer Wege müssen partnerschaftlich geteilt werden. • Die Abwägung von Klimarisiken mit Innovationsrisiken kann es sinnvoll machen, die Abweichung von Standards zuzulassen und neue Materialien, Techniken und Methoden zu erproben.

Emissionen von Kohlendioxid (CO₂) sind der Hauptverursacher des Klimawandels. Wie im fünften Unterpunkt zuvor dargestellt, stützen sich die Autoren des Impulspapiers bei dem CO₂-Schattenpreis von 237 Euro je t CO₂ auf den volkswirtschaftlichen Preis laut Umweltbundesamt (UBA), siehe **Tabelle 5**. Die UBA-Empfehlungen zur Schätzung der Klimakosten sind während der Bearbeitung des Forschungsvorhabens aktualisiert worden und beziffern mittlerweile 300 Euro₂₀₂₄ pro Tonne Kohlendioxid (t CO₂) bei einer 1 % Zeitpräferenzrate und bei einer Gleichgewichtung klimawandelverursachter Wohlfahrtseinbußen heutiger und zukünftiger Generationen (0 % Zeitpräferenzrate) 880 Euro₂₀₂₄ pro Tonne Kohlendioxid, siehe **Tabelle 6** [21].

Tabelle 5: Empfehlung des Umweltbundesamtes zu den Klimakosten, Jahr 2023 [22]

UBA-Empfehlung zu den Klimakosten

Klimakosten in Euro ₂₀₂₃ pro Tonne Kohlendioxid	2020	2023	2030	2050
1% reine Zeitpräferenzrate (Höhergewichtung der Wohlfahrt der heutigen Generation gegenüber der Wohlfahrt künftiger Generationen)	240	254	253	301
0% reine Zeitpräferenzrate (Gleichgewichtung der Wohlfahrt der Generationen)	832	858	830	908

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Umweltbundesamt 2020, Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze

Hinweis: Die Werte für 2030 fallen auf Grund der stochastischen Komponenten im Modell, die zu einer gewissen Unschärfe der Ergebnisse führen, niedriger aus als für 2020 bzw. 2023. Der kurzzeitige Rückgang in den Schäden existiert also lediglich im Modell, bei dem es sich um eine Näherung handelt, nicht in den realen naturwissenschaftlichen und ökonomischen Prozessen.

Tabelle 6: Empfehlung des Umweltbundesamtes zu den Klimakosten, Jahr 2024 [21]

UBA-Empfehlung zu den Klimakosten

Klimakosten in Euro ₂₀₂₄ pro Tonne Kohlendioxid	2024	2030	2050
1 % reine Zeitpräferenzrate (Höhergewichtung der Wohlfahrt der heutigen Generation gegenüber der Wohlfahrt künftiger Generationen)	300	335	435
0 % reine Zeitpräferenzrate (Gleichgewichtung der Wohlfahrt der Generationen)	880	940	1.080

Quelle: Umweltbundesamt 2024, Methodological Convention 3.2 for the Assessment of Environmental Costs

4.6 Unternehmensaktivitäten

4.6.1 Allgemeines

Nur mit nachhaltig denkenden Unternehmen wird ein klimaverträgliches Bauen möglich sein. Transformationsprozesse in bestehenden Unternehmen und innovative Ansätze, u.a. aus Start-ups, sind für die erforderlichen Veränderungen zwingend erforderlich.

Im Folgenden wird zunächst über die Bedeutung von Nachhaltigkeitsaktivitäten in Unternehmen berichtet. Zudem werden beispielhaft ausgewählte Unternehmensaktivitäten dargestellt.

4.6.2 Umfrage zu Nachhaltigkeitsaktivitäten in Unternehmen

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein Fragebogen mit sieben Fragen erstellt und über das PRB-Netzwerk verteilt. Ziel war es, einen Überblick zum aktuellen Stand der Nachhaltigkeitsaktivitäten bei diversen Unternehmen zu erhalten (State of the Art). Die Antworten sind in **Bild 9** dargestellt. Der Fragebogen ist im Anhang B abgebildet. An der Umfrage haben 99 Probanden teilgenommen; Folglich repräsentiert ein Prozentpunkt eine Antwort.

Die Umfrageergebnisse zeigen, dass nicht nur das generelle Wissen zum Thema Nachhaltigkeit als gering bis mittel eingeschätzt wird (**Frage 1**), sondern fehlendes Wissen mit 45 % von

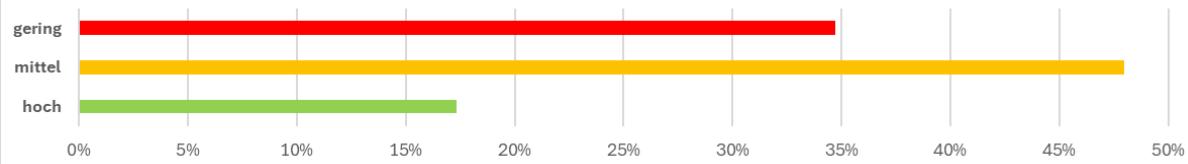
nahezu jedem zweiten Teilnehmendem als Hemmnis angesehen wird, um nachhaltiger zu bauen (**Frage 7**). Neben dem fehlenden Wissen führen auch die unklare Regelwerkssituation (45 %) und insbesondere fehlende Anreizsysteme (88 %) dazu, dass nachhaltiges Bauen nicht häufiger umgesetzt wird. Nachhaltige Technologien sind hingegen nach Meinung der Teilnehmenden vorhanden (nur 7 % sehen fehlende nachhaltige Technologien als Problem) und mit einem geringen Mehraufwand (22 % beklagen den Mehraufwand) umsetzbar. So zeigt sich, dass Kunden nur teilweise bereits sind (53 %), einen höheren Preis für mehr Nachhaltigkeit in Kauf zu nehmen, siehe **Frage 5**. Die höheren Kosten können, wenn nur von Großunternehmen finanziell gestemmt werden (37 %).

Generell besitzt das Thema des nachhaltigen Bauens bisher in den meisten Unternehmen nur einen geringen Stellenwert. Zur Bearbeitung von Nachhaltigkeitsthemen wird aktuell keine hohe Personalkapazität aufgewendet (39 %), **Frage 2**. Falls doch, beschäftigt sich laut 37 % der Teilnehmenden zumeist eine einzelne Person im Unternehmen/im Büro mit dem Thema des nachhaltigen Bauens. Diese Einschätzung deckt sich unabhängig der Planer und Bauausführenden. So geben sowohl Planer als auch Bauausführende übereinstimmend an, dass Nachhaltigkeitsaspekte nur in einem Viertel der Fälle (bisher) zu berücksichtigen sind (siehe **Fragen 3 und 4**).

Frage 6 zeigt: Die befragten Baubeteiligten sind sich mehrheitlich einig, dass die Öffentliche Hand/Bauherren (68 %), Planer (63 %) und die Politik (57 %) verantwortlich sind, um nachhaltiges Bauen weiter zu fördern. Baustoffhersteller gelten hingegen nur zu 39 % als treibende Kraft für mehr Nachhaltigkeit.

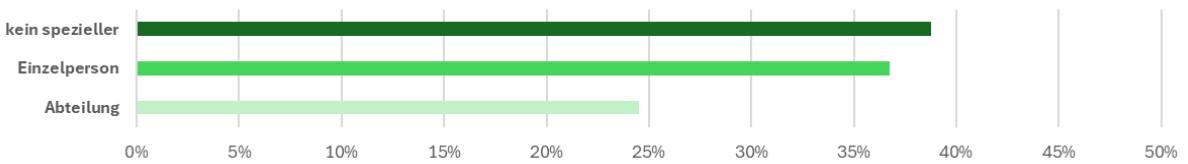
Frage 1

Wie beurteilen Sie das Wissen in Ihrem Büro zum Thema Nachhaltigkeit in der Tragwerksplanung (für Planer) und Nachhaltigkeit auf der Rohbaustelle (für Bauausführende)?



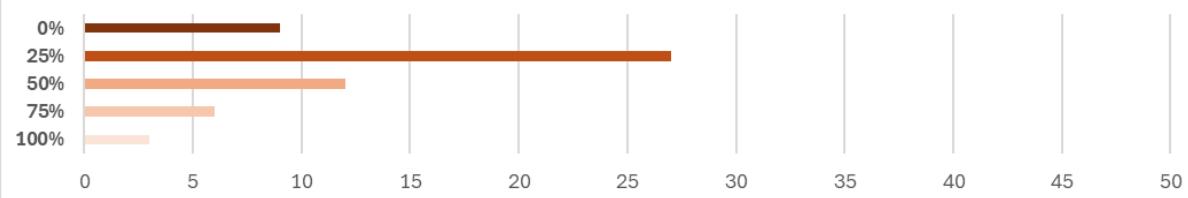
Frage 2

Wie beurteilen Sie das Wissen in Ihrem Büro zum Thema Nachhaltigkeit in der Tragwerksplanung (für Planer) und Nachhaltigkeit auf der Rohbaustelle (für Bauausführende)?



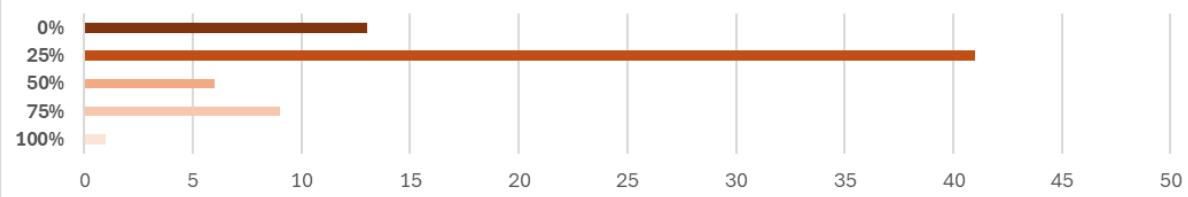
Frage 3

Für Planer: In wie vielen Fällen (Schätzung) wünschen Ihre Kunden (Bauherren) von Ihnen, dass Sie explizit Nachhaltigkeitsaspekte in der Planung berücksichtigen?



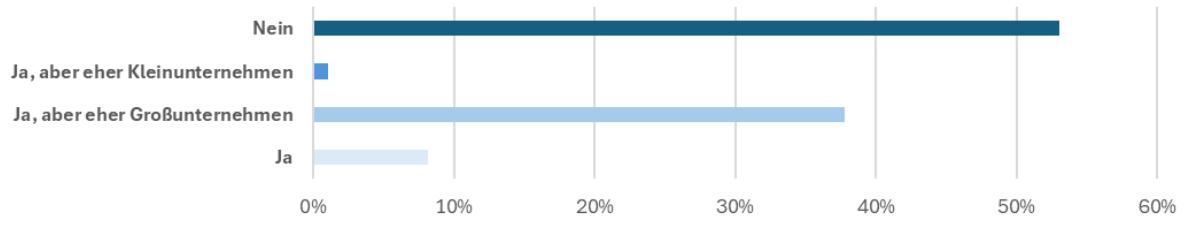
Frage 4

Für Bauausführende: In wie vielen Fällen (Schätzung) sind in Rohbau-Leistungsverzeichnissen Nachhaltigkeitsaspekte enthalten?



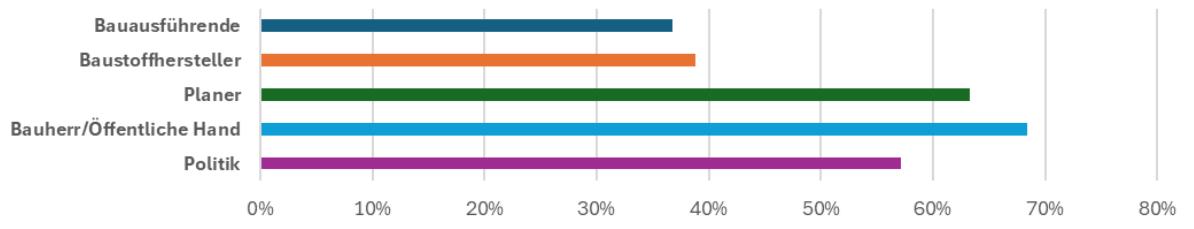
Frage 5

Sind Ihre Kunden bereit, einen höheren Preis für mehr Nachhaltigkeit in Kauf zu nehmen?



Frage 6

Wer trägt aus Ihrer Sicht im Bauprozess zum erfolgreichen nachhaltigen Bauen bei?



Frage 7

Was sind aus Ihrer Sicht die zwei größten Hemmnisse beim nachhaltigen Bauen?

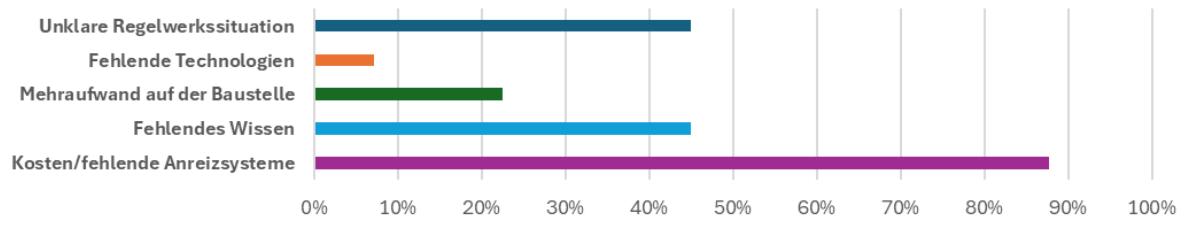


Bild 9: Auswertung der Umfrage zum Thema Nachhaltigkeit

4.6.3 Unternehmensziele für das Erreichen von Klimaneutralität

Unternehmen mit unterschiedlichstem Bezug zum Bauen haben sich zum Teil eigene Ziele zur Erzielung ihrer Klimaneutralität gesetzt, die in folgender **Tabelle 7** dargestellt sind:

Tabelle 7: Jahresziele von Unternehmen aus dem DACH-Raum zur Erzielung ihrer Klimaneutralität

Unternehmen	Zieljahr	Funktion
Siemens AG	2030	Bauherr im Industriebau
Ed. Züblin AG / STRABAG SE	2040	Bauunternehmen
Deutsche Bahn AG	2040	Bauherr im Infrastrukturbau
Hamburg Port Authority	2040	Bauherr im Infrastrukturbau
HOCHTIEF AG	2045	Bauunternehmen
Holcim (Deutschland) GmbH	2045	Baustoffindustrie
Vonovia SE	2045	Bauherr im Wohnungsbau
Thyssenkrupp AG	2045	Grundstoffindustrie
Implenia SE	2050*	Bauunternehmen
* Für Bestandsbauten strebt Implenia das Jahr 2050 an. Spätestens ab 2040 sollen die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus von Neubauprojekten bei Netto-Null liegen. Die Emissionen aus dem Bauprozess und der Materialisierung werden daher bei allen Neubau-Entwicklungsprojekten bis 2040 sukzessive reduziert, siehe Bild 10 .		
Vinci inkl. Eurovia	2050	Bauunternehmen und Betreiber
Heidelberg Materials AG	2050	Baustoffindustrie

in kg CO₂/m²a

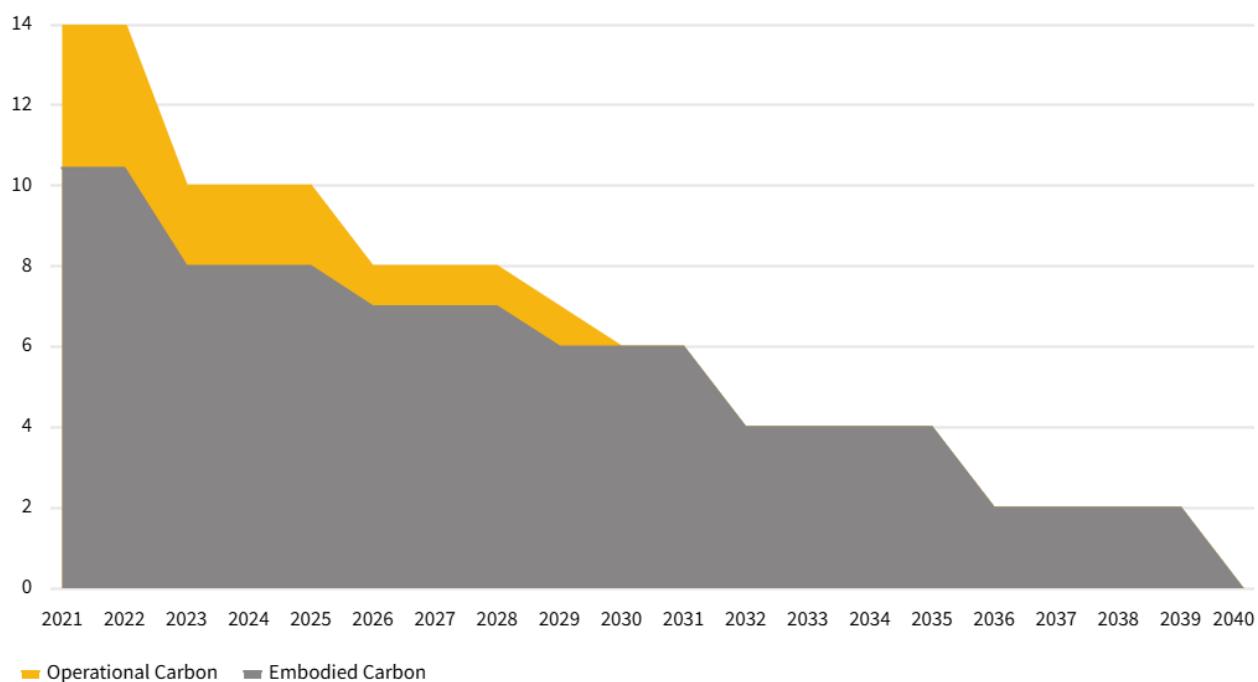


Bild 10: CO₂-Grenzwerte für Entwicklungsbauten am Beispiel von Wohnbauten (Neubauten, Schweiz) Implenia Real Estate [24]

Andere europäische Unternehmen der Bauwirtschaft verfolgen teilweise dynamische Ziele, siehe **Tabelle 8**.

Tabelle 8: Ziele ausgewählter europäischer Bauunternehmen zur Erzielung ihrer Klimaneutralität

Unternehmen	Ziel	Funktion
BOUYGUES CONSTRUCTION (Frankreich)	Reduzierung der direkten und indirekten Emissionen bis 2030 im Vergleich zu 2019 (-40 % in absoluten Zahlen für die Scopes* 1 und 2 sowie -30 % und -20 % für den Scope* 3 im Hoch- und Tiefbau)	Bauunternehmen und Betreiber
SKANSKA (Schweden)	Verringerung der Klimaauswirkungen wird als Geschäftsmöglichkeit gesehen. Der Plan sieht das Erreichen von Netto-Null-Effekt bis 2045 vor.	Bauunternehmen
Ferrovial (Spanien)	Die Strategie sieht eine Kombination von Verringerung der Emissionen und Kompensation von Restemissionen vor. Die Verringerung der THG-Emissionen soll bis 2050 80 % gegenüber 2009 betragen. Die restlichen 20 % sollen kompensiert werden.	Bauunternehmen

* Bei den Scopes geht es um die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen (ESG-Reporting). Die Scopes umfassen dabei folgende Aspekte: Scope 1 definiert alle direkten Emissionen (z. B. durch den Fuhrpark), Scope 2 umfasst indirekte Emissionen durch zugekauften Energie (z. B. den Stromverbrauch) und Scope-3-Emissionen entstehen indirekt durch die Unternehmensaktivität entlang der Wertschöpfungskette (z. B. Rohstoffe, Logistik, Geschäftsreisen, Anfahrt der Mitarbeitenden). Scope-3-Emissionen sind der größte Posten des Gesamtfußabdrucks.

4.6.4 Start-ups

In **Tabelle 9** sind einige Start-ups aufgeführt, die innovative Ansätze zu mehr Nachhaltigkeit im Bauwesen verfolgen und hier wertungsfrei genannt sind:

Tabelle 9: Übersicht von Start-ups im Bauwesen, die sich im Bereich Nachhaltigkeit engagieren

Unternehmen	Unternehmensgegenstand und Gründungsjahr
alcemy	Technisches Thema: Überwachung von Zement und Beton mit entsprechender Sensorik, Nutzung von KI zur Optimierung und Stabilisierung von Rezepturen, dadurch Einsparung von Zement. Unternehmensgründung: 2018
Neustark	Technisches Thema: Karbonatisierung von Betonrecyclingmaterial zur Wiederverwendung als Betonzuschlag. Unternehmensgründung: 2019
ecoLocked	Technisches Thema: Herstellung von Biokohle aus Abfallmasse durch Pyrolyse, Verwendung der Kohle als Zusatzstoff im Beton und somit Speicherung des CO ₂ im Beton alternativ zur Freisetzung durch Verrottung oder Verbrennung der Abfallmasse. Unternehmensgründung: 2021
CarStorCon	Technisches Thema: Herstellung von Biokohle aus Abfallmasse durch Pyrolyse, Verwendung der Kohle als Zusatzstoff im Beton und somit Speicherung des CO ₂ im Beton alternativ zur Freisetzung durch Verrottung oder Verbrennung der Abfallmasse. Unternehmensgründung: 2022
CarbonCure	Technisches Thema: Einbringen von CO ₂ in den frischen Beton und Mineralisierung des Kohlenstoffs auf diese Weise.
Sonocrete	Technisches Thema: In der Sonocrete-Vormischsanlage werden Zement und Wasser für kurze Zeit vorgemischt und mit Hochleistungsumtraschall behandelt. Dies bewirkt eine schnellere Festigkeitsentwicklung des Betons. Die Folge sind mögliche Zementeinsparungen im Betonfertigteilwerk. Unternehmensgründung: 2018
Concular	Technisches Thema: Erfassung und Bewertung der Baustoffe in bestehenden Gebäuden, Beratung zu Um- und Rückbau sowie dem Nachnutzungspotenzial des Gebäudes. Unternehmensgründung: 2020, Mitarbeiterzahl
Madaster	Technisches Thema: Erfassung und Bewertung der Baustoffe in bestehenden Gebäuden, Beratung zu Um- und Rückbau sowie dem Nachnutzungspotenzial des Gebäudes. Unternehmensgründung: 2017
ecopals	Technisches Thema: Recycelte Kunststoffe werden unter Zugabe chemischer Bestandteile zu einem Zuschlagstoff für Asphalt. Unternehmensgründung: 2021
Aeditive	Technisches Thema: Schalungsfreie und automatisierte Herstellung von Betonteilen in Containern. Unternehmensgründung: 2019

5 Grundanforderungen an Bauwerke: Vorrang des Klimaschutzes?

5.1 Priorisierung der Grundanforderungen an Gebäude

5.1.1 Zielstellung und Ausgangssituation

In Rahmen des Teilprojekts wurde untersucht, ob der Klimaschutz gegenüber anderen Grundanforderungen an Bauwerke wie dem Schallschutz und gesetzlichen Anforderungen priorisiert werden sollte.

Die Grundanforderungen sowie gesetzliche Anforderungen an Bauwerke ergeben sich aus den Landesbauordnungen und werden dort (derzeit) aus der (bisherigen) Bauproduktenverordnung [25] referenziert. In einer Projektgruppe mit Vertretern der Bundesvereinigung der Prüfingenieure (BVPI), des Verbandes beratender Ingenieure (VBI) und des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins (DBV) wurden verschiedene Interpretationen zur Priorisierung der Grundanforderungen diskutiert. Im Ergebnis wurde Folgendes festgehalten:

Die Landesbauordnungen und die Vorschriften aufgrund der Landesbauordnungen enthalten Anforderungen an bauliche Anlagen. So formuliert § 3 der Musterbauordnung (MBO) [26] im Zuge der Gefahrenabwehr folgende „Allgemeine Anforderungen“:

„Anlagen sind so anzurichten, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden; dabei sind die Grundanforderungen an Bauwerke gemäß Anhang I der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 zu berücksichtigen. Dies gilt auch für die Beseitigung von Anlagen und bei der Änderung ihrer Nutzung.“

Die Grundanforderungen an Bauwerke gemäß der referenzierten (bisherigen) EU-Bauproduktenverordnung [25], Anhang I betreffen:

1. Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
2. Brandschutz
3. Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
4. Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung
5. Schallschutz
6. Energieeinsparung und Wärmeschutz
7. Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

Zur Grundanforderung 3 „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ heißt es im Anhang I der bisherigen EU-Bauproduktenverordnung weiter:

„Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass es während seines gesamten Lebenszyklus weder die Hygiene noch die Gesundheit und Sicherheit von Arbeitnehmern, Bewohnern oder Anwohnern gefährdet und sich über seine gesamte Lebensdauer hinweg weder bei Errichtung noch bei Nutzung oder Abriss insbesondere durch folgende Einflüsse übermäßig stark auf die Umweltqualität oder das Klima auswirkt:“

- a) ...
- b) Emission von gefährlichen Stoffen, flüchtigen organischen Verbindungen, Treibhausgasen oder gefährlichen Partikeln in die Innen- oder Außenluft;
- c) (...)“

In der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) [27] werden die Grundanforderungen an Bauwerke 1 bis 6 aufgegriffen. So enthält Kapitel A der MVV TB „*Technische Baubestimmungen, die bei der Erfüllung der Grundanforderungen an Bauwerke zu beachten sind*“. Im Abschnitt A 3 „*Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz*“ erfahren bisher jedoch weder der Klimaschutz noch eine anderweitige Begrenzung der Treibhausgasemissionen eine Erwähnung oder eine regelnde Konkretisierung, wie die sich aus § 3 MBO ergebende Berücksichtigung der Grundanforderungen an Bauwerke durch die am Bau Beteiligten im Sinne der „*Grundpflichten*“ nach § 52 MBO zu erfolgen hat. Hier besteht insofern eine zu schließende Lücke, die auch als ein Anlass für dieses Forschungsvorhaben gesehen werden kann.

In der neuen Bauproduktenverordnung [10] werden folgende acht „Grundlegende Anforderungen an Bauwerke“ formuliert:

- 1. Strukturelle Integrität**
- 2. Brandschutz**
- 3. Schutz vor nachteiligen Auswirkungen auf Hygiene und Gesundheit**
- 4. Sicherheit und Barrierefreiheit**
- 5. Widerstandsfähigkeit gegen Schalldurchgang und Schalleigenschaften**
- 6. Energieeffizienz und thermische Leistung**
- 7. Emissionen in die Außenumwelt**
- 8. Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen**

Diese Grundanforderungen sind insofern insbesondere von Produktherstellern gesetzlich verpflichtend einzuhalten, dass zu Bauprodukten mit CE-Kennzeichnung auf Grundlage von Anhang II der neuen Bauproduktenverordnung [10] in den Leistungs- und Konformitätserklärungen u.a. auch Angaben zu „vorab festgelegten wesentlichen Umweltmerkmalen“ enthalten sein müssen. Es heißt dort:

„*Harmonisierte technische Spezifikationen und Europäische Bewertungsdokumente müssen die folgenden vorab festgelegten wesentlichen Umweltmerkmale im Zusammenhang mit der Lebenszyklusbewertung eines Produkts erfassen:*

- a) *Auswirkungen auf den Klimawandel — insgesamt;*
- b) *Auswirkungen auf den Klimawandel — fossile Energieträger;*
- c) *Auswirkungen auf den Klimawandel — biogen;*
- d) *Auswirkungen auf den Klimawandel — Landnutzung und Landnutzungsänderung*
- e) (...)“

Die Fragestellung, was mit diesen Informationen verpflichtend anzugebenden „*Vorab festgelegten wesentlichen Umweltmerkmalen*“ gemacht werden muss, lässt sich aus Artikel 7 (5) der EU-Gebäuderichtlinie absehen, wo es heißt:

„*Die Mitgliedstaaten veröffentlichen bis zum 1. Januar 2027 einen Fahrplan, in dem die Einführung von Grenzwerten für das gesamte kumulative Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzial aller neuen Gebäude im Einzelnen dargelegt wird und Zielvorgaben für neue Gebäude ab 2030 festgelegt werden, wobei ein schrittweiser Abwärtstrend sowie maximale Grenzwerte berücksichtigt werden, die nach unterschiedlichen Klimazonen und Gebäudetypologien aufgeführt sind, und sie übermitteln diesen Fahrplan der Kommission.“*

Es besteht also für den EU-Mitgliedstaat Bundesrepublik Deutschland eine bisher noch nicht umgesetzte EU-rechtliche Verpflichtung, bis zum 1. Januar 2027 gesetzliche Regelungen

aufzustellen, wie das gesamte kumulative Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzial aller neuen Gebäude ermittelt werden und durch gesetzliche Grenzwerte sukzessive reduziert werden soll.

Um diese EU-rechtliche Verpflichtung einzuhalten, wird es mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zu (national-)gesetzlichen Regelungen zu den anzuwendenden Verfahren und den einzuhaltenden Grenzwerten kommen müssen, die entweder direkt im Gesetz – bspw. einem fortgeschriebenen Gebäudeenergiegesetz (GEG) – enthalten sind oder die sich indirekt durch Referenzierung standardisierter Vorgehensweisen und Grenzwerte bspw. aus Baunormen oder anderen Regelwerken ergeben.

5.1.2 Möglichkeiten und Grenzen einer Priorisierung

Bisher gibt es keine Priorisierung der Grundlegenden Anforderungen an Bauwerke, die eine Leitlinie bilden könnte, falls die Beachtung der Grundanforderungen zu Zielkonflikten in der Planung führt.

Eine Priorisierung könnte in die Nummerierung der Grundlegenden Anforderungen an Bauwerke in der neuen Bauproduktenverordnung interpretiert werden. Jedoch taucht die „Freisetzung von Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre“ erst unter der Grundlegenden Anforderung Nr. 7 „Emissionen in die Außenumgebung“ auf. Unter Nr. 8 wird zudem die „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ gefordert: Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass eine „Minimierung der Gesamtmenge der grauen Energie“ erfolgt. In der Musterbauordnung [26] sind abstrakte Anforderungen an die Nachhaltigkeit in den § 3, § 13 und § 72 genannt.

Ist eine Grundlegende Anforderung nur bei Nichterfüllung einer anderen Anforderung einzuhalten (Zielkonflikt), muss eine Priorisierung erfolgen. Hierfür sollte der Klimaschutz aus Sicht der DBV/BVPI/VBI-Projektgruppe auf einer Stufe mit der strukturellen Integrität („Standsicherheit“) und dem Brandschutz stehen.

In § 3 (Allgemeine Anforderungen) der MBO wird u.a. der Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen definiert. Der Klimaschutz trägt elementar zum Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen bei. Klimaschutz kann insofern vor dem Hintergrund der teilweise katastrophalen Auswirkungen des Klimawandels auch als vorbeugende Gefahrenabwehr im Sinne der Bauordnungen der Länder angesehen werden.

Ziel ist zunächst die Einhaltung sämtlicher Grundlegender Anforderungen an Bauwerke. Können jedoch noch vom Gesetzgeber zu definierende Grenzwerte für Treibhausgasemissionen nur bei Einhaltung geringerer Anforderungen an den Schallschutz eingehalten werden, so sollte der Klimaschutz priorisiert werden. Unter Voraussetzung eines gesellschaftlichen Konsenses könnten auch Anforderungen an den Brandschutz zum Teil relativiert werden, wenn sie dem Klimaschutz entgegenstehen. Einen solchen gesellschaftlichen Konsens kann jedoch nur die Politik herbeiführen und sollte dies dann in Gesetzen oder nachgesetzliche Regelungen konkretisieren.

Empfehlungen für die Bauaufsicht:

1. Eine Priorisierung von Grundanforderungen an Bauwerke gibt es nicht und ist bisher auch nicht geplant. Die auf das Einhalten der Grundanforderungen ziellenden Maßnahmen müssen daher objektspezifisch festgelegt werden. Bisher wird der Klimaschutz eher untergeordnet bis gar nicht bewertet. Sofern Klimaschutz ein verbindliches Ziel werden soll, muss sichergestellt werden, dass er nicht aufgrund anderer Grundanforderungen vernachlässigt wird. Dazu sind entsprechende ordnungsrechtliche Regelungen empfehlenswert.
2. In § 3 der Musterbauordnung sollten die Grundlegenden Anforderungen an Bauwerke der neuen Bauproduktenverordnung übernommen und somit auch der Klimaschutz („Emissionen von Bauwerken in die Außenenumgebung – Freisetzung von Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre“, Anhang I, 7. d) der Verordnung (EU) 2024/3110) eindeutig als elementarer Bestandteil beim Schutz der natürlichen Lebensgrundlage konkretisiert werden.
3. In der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) sollten künftig zur Grundlegenden Anforderung an Bauwerke 7 gemäß EU-Bauproduktenverordnung [10] konkretisierende Regelungen enthalten sein, wie das gesamte kumulative Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzial gemäß der EU-Gebäuderichtlinie zu ermitteln ist und welche Grenzwerte gelten.

5.2 Klimaschutz als vorbeugende Gefahrenabwehr

Die Belange des Klimaschutzes berühren sowohl den Bereich der vorbeugenden Gefahrenabwehr als auch das Vorsorgeprinzip des Staates. Während ersteres in den Zuständigkeitsbereich der Länder fällt, ist der Vorsorgebereich dem Bund zugeordnet. Für eine eindeutige Zuordnung ist es erforderlich, entweder eine juristische Trennlinie zu definieren oder aufeinander abgestimmte Regelungen in den Gesetzen von Bund und Ländern zu treffen.

Empfehlung für die Bauaufsicht:

Die Bauaufsicht sollte darauf hinwirken, dass in Bund/Länder-Konsultationen sehr zeitnah aufeinander abgestimmte verbindliche Regelungen zum Klimaschutz in Gesetzen von Bund und Ländern oder in Regelungen aufgrund dieser Gesetze formuliert werden.

6 Arbeitspaket 1 – Stärken des Machbaren

6.1 Allgemeines

Im Arbeitspaket 1 werden Hilfestellungen für Maßnahmen entwickelt, die zu einer schnellen CO₂-Reduktion beim Bauen beitragen. Dazu werden auf die einzelnen Bauarten bezogene Maßnahmen zum Klimaschutz recherchiert und zusammengefasst. Bestehende und geplante sofort umsetzbare Maßnahmen zur klimaverträglichen Bemessung von Tragwerken werden erarbeitet und beschrieben.

Zudem werden konkrete Textvorschläge gegeben, wie bestehende Technische Baubestimmungen angepasst oder erweitert werden können, um diese Maßnahmen schnell in die Praxis zu bringen. Grundlage ist die Überlegung, dass eine Umkehr in Regelwerken erfolgen muss: Nachhaltiges Bauen muss als Standard beschrieben werden und nicht – wie bisher – als Ausnahme [6].

Dabei orientieren sich die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Maßnahmen an den Projektgruppen der PRB (**Bild 11**) und zudem an den Eurocodes.



Bild 11: Projektgruppen der PRB

6.2 Grundlegende Konstruktionsmaßnahmen (Vorgehensweise 1)

6.2.1 Sicherheitskonzept und Einwirkungen

Durch die Projektgruppe 1 der PRB (Sicherheitskonzept & Einwirkungen) wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens der Teilsicherheitsbeiwert für Eigenlasten sowie Einwirkungskombinationen untersucht [31]. Durch geringere Lasten fallen Bauteildimensionierungen kleiner aus und in der Folge kann Material eingespart werden. Ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,35 ist den Untersuchungen von Herrn Prof. Wolfram Jäger zufolge unrealistisch und zu hoch. Er begründet eine Reduzierung auf einen Wert von 1,19 und führt Beispielrechnungen durch. Durch die Reduzierung wären erhebliche Materialeinsparungen möglich, die Anpassung würde somit einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit im Bauwesen leisten. Alternative Einwirkungskombinationen, die in der Höhe der Belastungen realitätsnah und geringer sind, werden als zweiter möglicher Stellhebel der Lasteinwirkungen gesehen. Die alternativen Einwirkungskombinationen werden durch die Hälfte der europäischen Staaten bereits angewendet, Sicherheitsdefizite sind nicht bekannt und Hintergründe zu Gründen für den Ausschluss dieser Einwirkungskombinationen in Deutschland nicht auffindbar. Die Aufnahme dieser optimierten Regeln soll daher im Nationalen Ausschuss aufgenommen werden. Vertiefende Betrachtungen sind für einzelne Bauarten vorzunehmen.

Das deutsche Sicherheitsniveau bei den Tragwerken liegt im internationalen Vergleich auf einem auch historisch entwickelten sehr hohen Niveau. Damit ist auch regelmäßig ein höherer Materialverbrauch als in anderen Ländern verknüpft.

Es könnte insofern sinnvoll sein, eine Überprüfung des derzeitigen Sicherheitsniveaus durchzuführen. Ob im Ergebnis einer solchen Überprüfung unter Abwägung auch anderer Fragestellungen eine Absenkung des theoretischen (Ziel-)Sicherheitsniveaus in der Bemessung und Konstruktion zielführend wäre, ist nicht Gegenstand dieses Berichtes. Hier wird auf die derzeit laufende Überarbeitung bzw. Fortschreibung der „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für Bauliche Anlagen“ (GruSiBau) verwiesen, siehe hierzu auch [75]. Unabhängig vom Ergebnis einer solchen Überprüfung könnten zur Kompensation einer eventuellen Absenkung verbindliche Kompensationsmaßnahmen formuliert werden, wie z. B. ein verbindlicheres, strengeres und geregeltes Monitoring der Tragwerke (z. B. im Sinne von [28]).

In **Tabelle 10** sind beispielhaft andere nationale Festlegungen zu den Teilsicherheitsbeiwerten für Beton und Stahl für die wesentlichen GZT-Nachweise aufgeführt, die ein anderes Sicherheitsniveau für die Tragwerksbemessung implizieren.

Tabelle 10: Beispiele für reduzierte Teilsicherheitsbeiwerte (TSB) im Betonbau (ständige und vorübergehende Bemessungssituation im GZT)

Land / NSB	Beton γ_c	Betonstahl γ_s	Spannstahl γ_s
Deutschland	1,50		1,15
abhängig vom Überwachungsniveau:			
Dänemark	f_{cd} und E-Modul, bewehrt	1,38 – 1,6	1,14 – 1,32
	Betonstahl und Spannstahl		
Niederlande	1,50	1,15	1,10
Polen	1,40		1,15
DDR ETV Beton [29] (ab 1980 bis 1990)	1,30		1,16

Diese Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite dürfen i. d. R. nicht unabhängig von den verknüpften Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungsseite bewertet werden, um ein realistisches Gesamtbild zu erhalten.

Die Teilsicherheitsfaktoren im ETV Beton der DDR waren auch durch staatliche Materialmangel-lagen motiviert. Somit war ein Ziel hier auch eine mögliche Materialeinsparung in der Bemessung. In [29] wurde z. B. auf Grundlage von Vergleichsrechnungen geschlussfolgert, dass die erforderlichen Bewehrungsmengen nach ETV Beton zum Teil deutlich unter den Werten nach DIN 1045-1 liegen (bis ca. 15 % bis 20 % Einsparung). Von Einfluss waren dabei auch die geringeren Lastfaktoren für die Eigenlasten (1,1 bis 1,3 statt 1,35) und die Nutzlasten (1,2 bis 1,4 statt 1,50).

Fazit in [29]: „*Abgesehen von Dauerhaftigkeitsproblemen haben die nach ETV Beton geplanten und errichteten Bauwerke in den letzten ca. 30 Jahren keine Tragsicherheits- oder Gebrauchstauglichkeitsprobleme offenbart. Hinsichtlich der Frage der Wettbewerbsfähigkeit von Beton stellt sich damit die Frage, ob eine Abminderung insbesondere der Eigenlasten ohne eine Einschränkung der erforderlichen Sicherheit möglich wäre. Die Feldstudie ETV Beton scheint dies zu bestätigen.“*

Auf der Suche nach THG-Treibern, sind auch Belastungsannahmen aus der Bemessung zu überprüfen, die als Grundlage zur Ermittlung der Materialmengen gelten. **Bild 12** und **Bild 13** zeigen das Ergebnis eines Belastungsexperimentes, bei dem die Lastannahmen für Nutzlasten gemäß DIN EN 1991-1-1/NA, Tab. 6.1 [30] in der Kategorie B1 (Büroflächen) mit $2,0 \text{ kN/m}^2$ und in der Kategorie C1 (Versammlungsräume, Flächen mit Tischen) mit $3,0 \text{ kN/m}^2$ durch reale Personen nachgestellt wurden [31], [32]. Hierbei wurde deutlich, dass diese Flächenlasten nicht realistisch sind und somit durchaus Potential zur Optimierung der Nutzlastannahmen besteht.

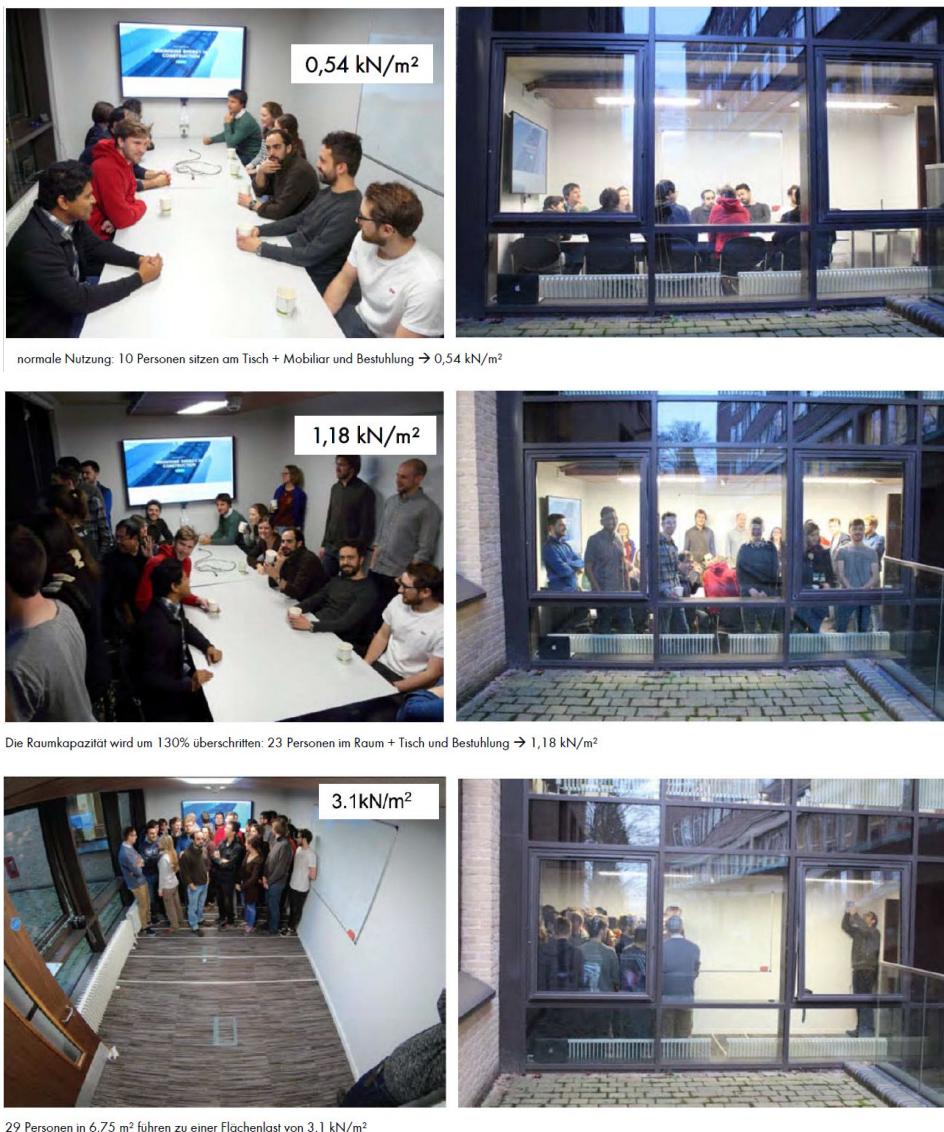


Bild 12: Fotos des Belastungsexperimentes im Rahmen des Projektes MEICON [32]

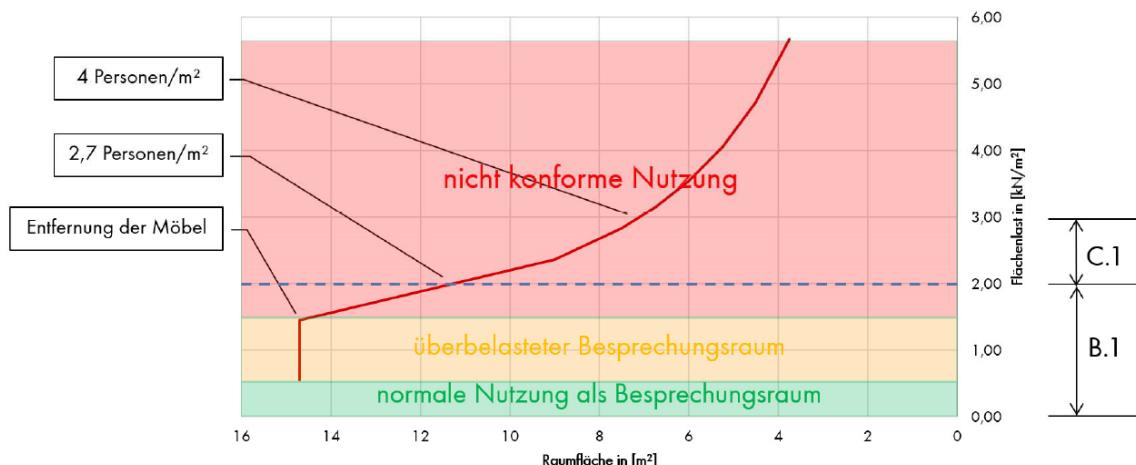


Bild 13: Ergebnis des Belastungsexperimentes im Rahmen des Projektes MEICON [32]

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde diskutiert, wie sich zukünftig Schnee- und Windlasten infolge des Klimawandels auf der Einwirkungsseite und damit auf die Bauteildimensionierungen auswirken werden. Aufgrund der Klimaerwärmung liegt die erste Vermutung nahe, dass Schneelasten in Zukunft geringer ausfallen könnten. Tatsächlich wächst die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf zu halten, exponentiell mit der Temperatur und die erhöhte Feuchtigkeit bietet Potenzial für höhere Schneelasten. Genau wie beim Wind steigt die Gefahr von Extremwetterereignissen. Auswirkungen auf die Lasteinwirkungen sollten in Forschungsvorhaben mit Bezug auf die Anpassung an Klimawandelfolgen untersucht werden.

Grundsätzlich wirken sich Lasteinwirkungen auf die Tragsicherheit von Bauwerken aus. Bestehende Lasteinwirkungen wurden in der Vergangenheit gut durchdacht und haben sich seit vielen Jahren bewährt. Diese Stellschraube sollte daher zur Verbesserung der Klimaverträglichkeit von Bauwerken nur in gut begründeten Fällen im Fokus stehen.

6.2.2 Betonbau

Beton ist der am häufigsten verwendete Baustoff weltweit und trägt maßgeblich zu den anthropogenen Treibhausgasemissionen bei. Mengenmäßig folgt Mauerwerk vor Stahl, während der CO₂-Fußabdruck von Stahl pro Tonne ein Vielfaches höher ist als der von Mauerwerk. Holz rangiert an vierter Stelle [33].

Die wesentlichen THG-Treiber im Betonbau sind die Herstellung und Verwendung der Bauprodukte Zement im Beton (primär und dominant) und Beton- und Spannstahl (sekundär und nachrangig). Klimaoptimiertes Entwerfen bedeutet somit, materialsparendes Entwerfen mit dem Schwerpunkt Reduktion des Betonverbrauchs.

Explizite THG-treibende verbindliche Bemessungs- und Konstruktionsregeln oder Anforderungen sind im Eurocode 2 grundsätzlich nicht enthalten. Der neue Eurocode 2 ist als teilweise erweiterter und anspruchsvoller Werkzeugkasten zu verstehen, aus dem der Tragwerksplaner weitgehend eigenverantwortlich auswählen kann.

Im Allgemeinen sind damit so

- einfache und kostengünstige,
- komplexe und kostenintensive,

- konventionelle und innovative
- mehr oder weniger oder nicht klimaoptimierte Tragwerke

entwurfsmäßig umsetzbar → **Quick Wins** [34]!

Beispiele für zulässige mehr oder weniger nachhaltige Bemessungs- und Konstruktionskonzepte enthält **Tabelle 11**.

Tabelle 11: Beispiele für zulässige mehr oder weniger THG-reduzierte Bemessungs- und Konstruktionskonzepte im Betonbau

Normaler Materialverbrauch	THG-reduzierter Materialverbrauch
Linear-elastische Schnittgrößenermittlung	Nichtlineare Berechnungsverfahren
Betondruckfestigkeit f_{ck} mit $t_{ref} = 28$ Tage	Betondruckfestigkeit f_{ck} bis $t_{ref} = 91$ Tage
Schlaff bewehrte Tragwerke	Vorgespannte Tragwerke
Stab- und Plattentragwerke	Schalen- und Faltwerke
Vollquerschnitte	Gegliederte oder Hohlquerschnitte
Monolithische Bauweise mit einheitlicher Expositionsklasse	Zonierte Bauweise mit differenzierten Expositionsklassen
Neubautragwerke	Weiter-/Umnutzung Bestandstragwerke

Im Eurocode 2 werden einerseits strenge Mindestanforderungen formuliert, von den nicht abgewichen werden darf (Anforderungen oder Verbote verknüpft mit den modalen Hilfsverben „muss“ oder „darf nicht“). Diese Anforderungen betreffen die bauaufsichtlich in den Landesbauordnungen adressierten Kategorien Standsicherheit und den konstruktiven baulichen Brandschutz der Betontragwerke in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit. Dazu gehören im Eurocode 2 z. B. die Teilsicherheitsbeiwerte (TSB) oder die Mindestbewehrungsregeln zur Sicherstellung eines robusten Tragverhaltens mit Ankündigung des Versagens.

Andererseits enthält der Eurocode 2 eine Vielzahl von Empfehlungen und Erlaubnissen (verknüpft mit den modalen Hilfsverben „sollte“ oder „darf“), die die Tragwerksplanung erleichtern, vereinfachen oder vielfältiger machen sollen bzw. können. Dies betrifft insbesondere und überwiegend die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (Begrenzung der Spannungen, Rissbreiten, Verformungen). Hierzu siehe als Beispiel das Thema Durchbiegungsbegrenzung im nachfolgenden Abschnitt.

Insbesondere auch auf Initiative der PRB-PG2 wurden vereinfachte und praxisgerechte Regelungen im Eurocode 2 und im Nationalen Anhang (NA) für die Bemessung und Konstruktion aufgenommen. Dies geschah oft zusätzlich zu komplexeren und umfangreicheren Nachweismodellen zum selben Thema. Damit ist naturgemäß verbunden, dass die vereinfachten Regelungen gegenüber den genaueren Nachweisformaten auf der sicheren Seite liegen und somit tendenziell einen mehr oder weniger großen Materialverbrauch nach sich ziehen. Hierzu siehe als Beispiel das Thema Durchbiegungsbegrenzung im nachfolgenden Abschnitt.

Der Eurocode 2 enthält keine Vorschriften, welches Nachweisniveau der Tragwerksplaner verwenden muss oder sollte (einfacher oder komplexer). Das angemessene und projektbezogene Vorgehen mit dem Eurocode 2 sollte der Tragwerksplaner weiterhin unter Gewichtung der Bauherrenwünsche (z. B. Kosten, Nachhaltigkeit) eigenverantwortlich entscheiden.

Beispiel: Durchbiegungsbegrenzung in EN 1992-1-1:2023-11 (GZG)

Im Eurocode 2 ist die Durchbiegungsbegrenzung wie folgt mit drei zulässigen Nachweistufen geregelt:

9.3 Begrenzung der Durchbiegung

9.3.1 Allgemeine Annahmen

(1) Die Verformung eines Bauteils oder eines Tragwerks sollte weder dessen ordnungsgemäße Funktion noch dessen Erscheinungsbild beeinträchtigen. Geeignete Grenzwerte für die Durchbiegung sollten unter Berücksichtigung der Art des Tragwerks, des Ausbaus, leichter Trennwände und von Befestigungen sowie der Funktion des Tragwerks festgelegt werden.

(2) Für Tragwerke, die in den Anwendungsbereich von EN 1990:2023, Abschnitt A.1, fallen, sollten Grenzwerte für vertikale Durchbiegungen nach Abschnitt A.1.8, Bild A.1.1 für jedes Bauvorhaben festgelegt und mit dem Auftraggeber vereinbart werden. Vorgeschlagene Höchstwerte sind in EN 1990:2023, Anhang A angegeben. Für Brücken gelten die Festlegungen nach EN 1990:2023, Abschnitt A.2.

(3) Durchbiegungen dürfen wie folgt begrenzt werden:

- in Hochbauten indirekt durch Begrenzung der Biegeschlankheit, siehe 9.3.2;
- in Hochbauten durch vereinfachte Berechnung der Durchbiegungen, siehe 9.3.3;
- in jeder Art von Tragwerken durch genauere Berechnung, siehe 9.3.4.

ANMERKUNG Die tatsächlichen Verformungen können von den abgeschätzten Werten abweichen (entweder nach 9.3.3 oder 9.3.4), insbesondere, wenn die Werte der einwirkenden Momente in der Nähe des Rissmoments liegen. Die Unterschiede hängen von der Streuung der Baustoffeigenschaften, den Umgebungsbedingungen, der Lastgeschichte, den Behinderungen an den Auflagern, den Baugrundverhältnissen usw. ab.

9.3.2 Vereinfachte Begrenzung der Durchbiegung mit Biegeschlankheit bei Hochbauten

(1) Wenn Stahlbetonbalken oder -platten im Hochbau, die überwiegend durch gleichmäßig verteilte Lasten beansprucht werden, so dimensioniert sind, dass die in Tabelle 9.3 angegebenen Biegeschlankheiten eingehalten werden, darf davon ausgegangen werden, dass auch ihre Durchbiegungen einen Gesamtwert von $l/250$ nicht überschreiten. In derartigen Fällen darf eine Berechnung der Durchbiegungen entfallen.

...

9.3.3 Vereinfachte Berechnung der Durchbiegungen bei Tragwerken in Stahlbetonhochbauten

(1) Bei Rechteckquerschnitten dürfen Langzeitdurchbiegungen anhand linear-elastischer Berechnung unter Verwendung von Brutto-Betonquerschnitten und unter Annahme von Langzeiteigenschaften (d. h. $E_{c,eff}$) nach Gleichung (9.23) bestimmt werden.

...

9.3.4 Allgemeines Verfahren für Durchbiegungsberechnungen

(1) Für eine genauere Begrenzung der Durchbiegung sollten die Verformungen unter Belastungsbedingungen berechnet werden, die dem Nachweiszweck entsprechen, siehe EN 1990.

...

Bauherr und Planer haben somit große Freiheiten, zunächst zulässige und nutzungsverträgliche Grenzwerte für Durchbiegungen projektbezogen festzulegen. Hierbei steht in Bezug auf die Bauteildimensionierung (insbesondere der Geschossdecken) schon ein großes Einsparpotential zur Verfügung.

In den Erläuterungen zum aktuellen Eurocode 2 [35] finden sich auch schon folgende zweckmäßige Hinweise:

„Die Begrenzung von Verformungen ist eine Anforderung der Gebrauchstauglichkeit. Sie soll Folgendes sicherstellen:

- Erhalt eines subjektiv verträglichen und Sicherheit vermittelnden äußeren Erscheinungsbildes,*
- Erhalt der eigentlichen Gebrauchstauglichkeit, z. B. Entwässerung (Gefälle), Vermeidung übermäßiger Auflagerkantenpressungen oder -verdrehungen, Putz- und Belagintegrität,*
- Vermeidung von Schäden in angrenzenden tragenden Bauteilen, z. B. unplanmäßige Auflagerverformungen oder Lasteinleitungen,*
- Vermeidung von Schäden in angrenzenden nichttragenden Bauteilen, z. B. Schäden in Trennwänden, Türen, Fenstern oder Fassaden durch Muldenbildung oder Aufsetzen,*
- Erhalt der Funktion von technischer Ausrüstung, z. B. Leitungsverbindungen, Rohrgefälle, Aufzüge,*
- Einhaltung zulässiger Verformungen oder Toleranzen verbundener technischer Systeme, z. B. Kranbahnen, Behälterschiefstellungen,*
- Vermeidung von übermäßigen Schwingungen (indirekte Begrenzung).*

In diesem Zusammenhang muss der Tragwerksplaner im Zweifelsfall mit dem Bauherrn, dem Objektplaner und anderen am Bau beteiligten Fachplanern weitergehende und fallspezifische Überlegungen anstellen. Eine Überschreitung der empfohlenen Grenzwerte ... für Verformungen ist nicht automatisch als Mangel zu sehen, während andererseits eine Einhaltung nicht in allen Fällen die volle Gebrauchstauglichkeit sicherstellt.

Die subjektive Wahrnehmung eines beeinträchtigten Erscheinungsbildes hängt neben den Verformungen auch von der Gestaltung der Oberflächen sowie der Vergleichsmöglichkeit mit vorhandenen Referenzlinien ab. Die Anforderung an das Erscheinungsbild kann in vielen Fällen durch den Ausbau (z. B. abgehängte Decken) erfüllt werden, sodass die Anforderungen an das Rohbautragwerk sekundär werden.

Die Angabe von Grenzwerten allgemeiner zulässiger Verformungen in einer Norm ist wegen der komplexen Randbedingungen, die sich je nach Gebäude, Bauteil, Einbauort, Funktion, Ausbau, technischer Gebäudeausrüstung, Nutzung, Einwirkungskombination usw. unterscheiden, immer diskussionswürdig.“

Weitere Einsparpotentiale liegen im Aufwand der Nachweisführung (Vereinfachtes Verfahren mit zulässigen Biegeschlankheiten nach 9.3.2, Näherungsverfahren mit linear-elastischer Berechnung für Stahlbetonbauteile nach 9.3.3 und genaueres Allgemeines Berechnungsverfahren nach 9.3.4) und/oder der konstruktiven Durchbildung (z. B. Überhöhung oder Vorspannung).

Dieses Beispiel der Durchbiegungsbegrenzung zeigt die Vielfalt der Möglichkeiten der Nachweisführung im Eurocode 2, die jeweils zu unterschiedlichen Materialverbräuchen und damit auch CO₂-Emmissionen führen könnten. Ein THG-Treiber im Sinne einer zwingenden (Mindest-)Anforderung ist hier jedoch nicht identifizierbar. Verbote oder Gebote für den Tragwerksplaner sind nicht sachgerecht und praxisfern.

Für den Betonbau mögliche Maßnahmen und deren Bezug in den Technischen Baubestimmungen (TB) sind in der **Tabelle 12** dargestellt. Die Projektgruppe 2 (Betonbau) der PRB hat diese Quick Wins (Maßnahmen, die sofort umsetzbar sind) zusammen mit dem Deutschen Beton- und Bautechnik Verein (DBV) erarbeitet und in [34] veröffentlicht. Ingenieure werden durch den DBV in Seminaren und firmeninternen Veranstaltungen geschult.

Tabelle 12: Maßnahmen zur schnellen CO₂-Reduzierung im Betonbau

Nr.	Maßnahme	Beschreibung	Technische Baubestimmung
1	Einsatz von klinkereffizienten Zementen	Verringerung des Klinkeranteiles im Beton mit Rückgang von Emissionen, die bei der Herstellung von Zementklinker ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) entstehen	DIN EN 197-5 [77]
2	Verlängerung des Nachweisalters für Beton	Festigkeitszuwachs durch Nacherhärtung kann genutzt werden, um Zement (Zementklinker) einzusparen, da die Bemessungsfestigkeit für den Nutzungszustand erst später als nach 28 Tagen erreicht werden muss	DIN EN 1992-1-1/NA [36]
3	Zonierte Bauweise bei massigen Bauteilen	Möglichkeiten, in dickeren Bauteilen verschiedene Betonsorten bedarfs- und leistungsorientiert in verschiedenen Bauteilzonen einzubauen, um Zementmengen (bzw. Klinkeranteile) und damit CO ₂ einzusparen	DIN EN 1992-1-1/NA [36]
4	Entwurfsgrundsatz EGS-c als Standard	Einsparung von Bewehrung durch konsequente Planung und Umsetzung des EGS-c (wenige breite Risse mit planmäßiger Rissbehandlung) anstelle von EGS-b (viele Risse mit geringer Rissbreite)	DIN EN 1992-1-1/NA [36]
5	Einsatz von hochfestem Betonstahl	Verwendung hochfester Betonstäbe mit Streckgrenzen > 500 MPa könnte zu relevanten Stahleinsparungen führen	DIN 488 [78] und DIN EN 1992-1-1/NA [36]
6	Präventiver kathodischer Korrosionsschutz	Elektrochemisches Verfahren als dauerhafter wirkungsvoller Schutz gegen Bewehrungskorrosion bei Einwirkung von Chloriden	Technische Regel Instandhaltung von Betontragwerken (TR Instandhaltung) [79]
7	Spannbetonhohlplatten	Materialeinsparung durch Querschnittsreduktion infolge von Vorspannung	DAfStb-Richtlinie Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten [80]
8	Instandsetzung und Ertüchtigung vor Abriss	Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen, die der Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Tragfähigkeit oder der Gebrauchstauglichkeit von Betonbauteilen für einen bestimmten Zeitraum dienen	Technische Regel Instandhaltung von Betontragwerken (TR Instandhaltung) [79]

Eine Möglichkeit der Umsetzung der Quick Wins enthält der DBV-Vorschlag [8] zur THG-Richtlinie des DAfStb [9]. Dabei werden grundlegenden Konstruktionsregeln zum Erreichen eines THG-reduzierten Tragwerks im Sinne der Vorgehensweise 1, siehe **Bild 6**, beschrieben.

Der Vorschlag enthält zunächst eine Definition von Randbedingungen, Annahmen und Grenzen, unter denen diese Vorgehensweise 1 angewendet werden kann. Sofern eine der Annahmen nicht erfüllt oder eine der Randbedingungen verletzt wird, stößt die Vorgehensweise an ihre Grenzen. Dann muss eine andere Vorgehensweise gewählt werden.

Vorschlag zur Ergänzung der THG-Richtlinie des DAfStb:
Grundlegende Konstruktionshinweise (Vorgehensweise 1)

1 Randbedingungen, Annahmen und Grenzen

(1) Die Vorgehensweise 1 ist ein rein qualitatives Verfahren, zu dem keine quantitativen bzw. rechnerischen Nachweise geführt werden.

(2) Bei allen Maßnahmen nach Abschnitt 3 wird angenommen, dass durch das Umsetzen einer der vorgegebenen Maßnahmen grundsätzlich eine Reduzierung der THG-Emissionen gegenüber dem Fall eintritt, in dem die Maßnahme nicht angewendet wurde.

(3) Sofern offensichtlich wird, dass die Anwendung einer der Maßnahmen zu einem signifikanten Anstieg der THG-Emissionen führt, darf die Vorgehensweise 1 nicht angewendet werden.

(4) Sofern im spezifischen Projekt einzelne der vorgegebenen Maßnahmen für die Vorgehensweise 1 nicht umsetzbar sind oder mit Projektzielen kollidieren, darf die Vorgehensweise 1 nicht angewendet werden.

ANMERKUNG: Die Klärung, welche Vorgehensweise gewählt wird, sofern die Vorgehensweise 1 nicht umsetzbar ist, kann in den BBQ-Gesprächen im Sinne von DIN 1045-1000 erfolgen.

2 Anforderungen und Nachweisführung

(1) Das Tragwerk ist so zu optimieren, dass seine nachteiligen Auswirkungen insbesondere auf das Klima und die Umweltressourcen während seiner gesamten Nutzungsdauer begrenzt werden (siehe E DIN EN 1990/NA, 4.7).

(2) Die Reduzierung von Treibhausgasemissionen und die Ressourcenschonung durch effizienten Materialeinsatz sind primäre Planungsziele.

(3) Das Tragwerk gilt grundsätzlich als optimiert im Sinne der Vorgehensweise 1, wenn die Maßnahmen gemäß Abschnitt 3 umgesetzt wurden. Dies ist vom Tragwerksplaner zu dokumentieren.

3 Maßnahmen

(1) Maßnahme 1: Die Lastannahmen sind hinsichtlich ihrer Auswirkungen zu optimieren und auf das niedrigste vertretbare Niveau zu reduzieren.

(2) Maßnahme 2: Der Lastabtrag im Tragwerk muss grundsätzlich über direkte und kurze Lastpfade erfolgen.

(3) Maßnahme 3: Die Tragstruktur ist so zu wählen, dass das Nachweisalter für die Betondruckfestigkeit auf 56 Tage festgelegt werden kann.

(4) Maßnahme 4: Es sind alle wesentlichen Bauabläufe und Bauzustände zu planen und speziell festzulegen. Hierzu sind entsprechende Abstimmungen gemäß Betonbauqualitätsklasse BBQ-S durchzuführen (siehe DIN 1045-1000: 2023-08, Tabelle 2, Zeile 0).

(5) Maßnahme 5: Bei Gründungsbauteilen mit chemischem Angriff ist stets zu prüfen, ob die Anordnung von Opferschichten möglich ist, um für den Kernbeton auf eine Einstufung in eine Expositionsklasse für chemischen Angriff verzichten und insofern nur auf die Tragfähigkeit auslegen zu können. Diese ist dann zu planen und auszuführen.

(6) Maßnahme 6: Bei massigen Bauteilen ist eine zonierte Bauweise zu planen, bei der die Anforderungen an den Kernbeton gegenüber den Anforderungen an den äußeren Beton gesondert festgelegt werden können.

Empfehlung an die Bauaufsicht:

Sofern die THG-Richtlinie des DAfStb nicht in diesem Sinne fortgeschrieben wird, kann die Vorgehensweise 1 auch im Nationalen Anhang zu DIN EN 1992-1-1 aufgenommen werden. Darauf sollte die Bauaufsicht in den Gremien des NABau im DIN hinwirken.

6.2.3 Stahlbau

Der Stahlbau besitzt aufgrund der bereits praktizierten schrottbasierten Stahlproduktion über die Elektrolichtbogenroute bereits heute einen effizienten Hebel zur deutlichen Reduzierung der materialbedingten CO₂-Emissionen. Allerdings ist nicht genug recycelnder Stahl verfügbar, um den Bedarf zu 100 % aus der Elektrostahlproduktion abzudecken. Es muss daher weiterhin auch Stahl aus Primärrohstoffen hergestellt werden.

Für die Primärstahlproduktion existieren bereits neue Technologien, bei denen Eisen ohne den Einsatz von Kohle reduziert wird. Perspektivisch soll der konventionelle Hochofenprozess durch die umweltfreundlichere Direktreduktion mit Wasserstoff ersetzt werden. In der Übergangsphase wird die dafür benötigte Energie zunächst noch durch Erdgas bereitgestellt. Mittelfristig ist geplant, die Energiezufuhr vollständig auf Wasserstoff und grünen Strom umzustellen, um die CO₂-Emissionen weitgehend zu vermeiden. Allerdings hat sich gezeigt, dass die Transformation hin zu einer klimaneutralen Wasserstoffproduktion – insbesondere der Umstieg auf Direktreduktion und Elektrolichtbogenöfen als Ersatz für die Hochofenroute – zeitaufwändiger ist als ursprünglich angenommen [37]. Hauptgründe dafür sind die derzeit unzureichende Verfügbarkeit von Wasserstoff sowie wirtschaftliche Hürden, die den Einsatz für viele Unternehmen der Stahlbranche erschweren.

Ist eine CO₂-freie Herstellung von Stahl möglich, stellt sich die Frage der Notwendigkeit weiterer Maßnahmen. Da eine emissionsfreie Herstellung kurzfristig nicht zu 100 % umgesetzt werden kann, werden weitere Maßnahmen betrachtet und erarbeitet. Außerdem bleiben Ressourcenschonung, konsequente Kreislaufwirtschaft, Abfallvermeidung und die Reduzierung der, neben den CO₂-Emissionen, bestehenden weiteren negativen Umweltwirkungen nach wie vor ein Ziel des nachhaltigen Bauens.

Es soll effizient geplant und bemessen werden. Überbemessungen sollen verringert werden, dazu sollen Lasten, Querschnitts- und Profiloptimierungen umgesetzt werden. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund des hohen Kostendrucks im Bauwesen eine Materialoptimierung bereits in der Vergangenheit angestrebt wurde. Die Vorgehensweise 1 ist insofern schon sehr weitgehend implementiert.

Der Einsatz von höher- und hochfesten Stahlgüten führt durch die Materialreduktion in vielen Fällen zur Reduzierung von Kosten und Emissionen. Hierbei zeigen sich die Auswirkungen nicht nur am Bauwerk selbst, sondern auch in weniger Transporten zur Baustelle. Verkehrsbelastung und Emissionen werden auch in diesem Bereich gesenkt.

Durch den auch börsennotierten Schrottwert ist ein effizientes Recyclingnetzwerk in Deutschland, Europa und der Welt etabliert. Geschlossene Kreisläufe und die stetige Nutzung der unendlichen Recyclingfähigkeit von Baustahl entstehen daraus.

Für Stahl, darunter auch Baustahl und Betonstahl, wurde von der Stahlindustrie ein Low Emission Steel Standard (LESS) entwickelt, der für die Vorgehensweise 2 von Bedeutung ist, siehe Abschnitt 7.2.4.

Die Nachweisführung für Bauteile aus Stahl nach DIN EN 1993 (Eurocodes 3) lässt an verschiedenen Stellen vereinfachte und komplexere Nachweiskonzepte zu. Damit steht es den Anwenderinnen und Anwendern frei, entweder vereinfachte - und damit i. d. R. etwas auf der sicheren Seite liegende - Bemessungsverfahren anzuwenden oder durch die Nutzung von zugeschrärfeten Bemessungsregeln eine Optimierung der Bauteile zu erreichen. Dies ist allerdings unter Berücksichtigung weiterer Kriterien wie Verformungsbegrenzungen (Gebrauchstauglichkeit) und architektonischer Aspekte nicht in jedem Fall geeignet, eine Reduktion des Stahlbedarfs herbeizuführen.

Die Nachweiskonzepte im Stahlbau nach Eurocode 3 können insgesamt als wirtschaftlich angesehen werden, was auch für die angesprochenen vereinfachten Verfahren gilt. Die zweite Generation des Eurocodes 3 enthält diesbezüglich einige Verbesserungen (z. B. Übersicht über unterschiedliche Arten der Tragwerksberechnung und zugehöriger Nachweisführung nach Kap. 7.2.2 und Berücksichtigung von semi-kompakten Querschnitten nach DIN EN 1993-1-1, Anhang B). Von daher ist ein Verbesserungspotenzial durch Optimierung von Nachweiskonzepten nicht in größerem Umfang zu erwarten.

Ebenso wurde durch die Aufnahme von Regelungen für Baustähle mit höheren Festigkeiten bis S700 die Möglichkeit geschaffen, schlankere und somit CO₂-reduzierte Tragwerke in Stahlbauweise zu entwickeln.

Mittel- und langfristig wird ein größeres Potenzial in der Entwicklung von Strukturen, rechtlicher Vorgaben und Bemessungsregeln für die Wiederverwendung von ganzen Stahlbauteilen (z. B. Stützen und Träger aus dem Rückbau von Stahltragwerken) gesehen. Hier könnte bei entsprechender Verfügbarkeit ein langzyklischer Kreislauf etabliert und der Weg über die schrottbasierte Stahlproduktion übersprungen werden, was zu einer deutlichen CO₂-Einsparung führt.

Ebenso kann der Fokus auf erweiterte Ertüchtigungsmaßnahmen beim Bauen im Bestand mittel- und langfristig als zielführend im Sinne der Fragestellung angesehen werden. Tragwerke aus Stahl eignen sich hervorragend für nachträgliche Erweiterungs-, Verstärkungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen. Dies kann bei vorhandener Schweißeignung durch das Anschweißen von zusätzlichen Lamellen oder Steifen erfolgen oder durch geschraubte Verstärkungen. Davon profitiert die CO₂-Bilanz des ganzen Gebäudes und nicht nur die für den Werkstoff Stahl.

6.2.4 Holzbau

- (1) In der Projektgruppe „Holzbau“ wurden Maßnahmen zum „klimaoptimierten“ Entwurf und Bemessung von Tragwerken aus Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung der Bemessungsvorschriften gemäß dem aktuellen Entwurf des Eurocode 5 (FpREN 1995-1-1:2024 (E)) [39] identifiziert.
- (2) Das Ziel besteht darin, fossile Treibhausgasemissionen zu reduzieren und Ressourcen durch effizienten Materialeinsatz bei der Erstellung von Gebäuden aus Holzbauteilen zu schonen.
- (3) Die Maßnahmen zur Umsetzung durch Planer, Ingenieure oder Tragwerksplaner werden in die folgenden drei Handlungsfelder unterteilt:
- Handlungsfeld 1 – THG-Optimierte Werkstoffauswahl: Die Auswahl der Werkstoffe soll hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das fossile Treibhausgaspotential und den Rohstoffeinsatz optimiert werden, **Tabelle 13**.
 - Handlungsfeld 2 – Materialeffiziente Bemessung von Tragwerken aus Holz: Die Bemessung von Holztragwerken sollte möglichst ohne konservative Vereinfachungen erfolgen, die sich nachteilig auf die Dimensionierung und den Ressourceneinsatz auswirken könnten. Tragstruktur, Lastannahmen und Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit sind so zu wählen, dass ein effizienter Lastabtrag ohne Überdimensionierung erreicht wird, **Tabelle 14**.
 - Handlungsfeld 3 – Materialgerechter Entwurf von Bauteilen in Holzbauweise: Optimierungspotenziale im Zusammenhang mit dem Entwurf oder der Auswahl raumabschließender Wand- und Deckenbauteile in der Leichtbauweise (Tafeln) oder Massivbauweise mit Primärtragwerken aus Holzwerkstoffen und holzfremden Ausbaustoffen, die als integrale Gesamtbauteile die Funktionen Brandschutz, Schallschutz und Gebäudedämmung erfüllen, sollten sorgfältig untersucht werden, **Tabelle 15**.
- (4) Die Bewertung der Maßnahmen erfolgt anhand des notwendigen Ressourceneinsatzes [m^3 Holzwerkstoffmenge] sowie des fossilen Treibhausgaspotentials GWP-fossil [kg CO₂eq]. Sowohl das biogene Treibhauspotential (GWP-biogen [kg CO₂eq]) als auch der biogene Kohlenstoffgehalt („C-Speicher“ [kg C]) sollten nicht als Bewertungskriterien herangezogen, sondern lediglich informativ dargestellt werden. Bei der Bilanzierung fossiler und biogener Emissionen sollte grundsätzlich auf eine Zusammenrechnung verzichtet werden.
- (5) Die statische Bilanzierung biogener Emissionen als Zustand der Kohlenstoffneutralität über den Produktlebenszyklus beruht auf dem Grundsatz der nachhaltigen Forstwirtschaft, der die Erhaltung der Produktionsfunktion des Waldes sicherstellt. Das temporäre Speichern biogenen Kohlenstoffs führt zu einer Verzögerung bzw. Aufschiebung klimarelevanter Emissionen. Maßnahmen, die die Auflösung des Kohlenstoffspeichers, insbesondere durch Kaskaden- und Kreislaufnutzung, weiter verzögern, sollten nach Möglichkeit genutzt werden.

Tabelle 13: Handlungsfeld 1 – THG-Treiber im Holzbau – Werkstoffauswahl

Maßnahme	Beschreibung	Klimaschutzzpotential
Verwendung von Holzwerkstoffen mit hohem Festigkeit/THG Verhältnis	Die Werkstoffauswahl sollte je nach mechanischer Zielgröße unter Berücksichtigung der großen Unterschiede im THG-Potential von einzelnen Holzwerkstoffen erfolgen. Die Verwendung von gering verarbeiteten Vollholzwerkstoffen ist aktuell zu bevorzugen.	Hoch
Verwendung von Holzwerkstoffen mit geringem Primärenergieverhältnis PERE/PERM	Als Maß für die Effizienz der Holznutzung während der Herstellung kann das Primärenergieverhältnis PERE/PERM herangezogen werden. Je höher das Verhältnis, desto höher ist der Holzanteil, der vorzeitig durch Verbrennung das System verlässt.	Mittel
Verstärkter Einsatz hochfester Laubvollhölzer	Im Zuge des durch den Klimawandel bedingten Waldumbaus wird in Zukunft eine verstärkte stoffliche Verwertung von Laubhölzern als Substitution für Nadelhölzer erforderlich sein. Aufgrund der vorteilhaften mechanischen Eigenschaften von Laubhölzern im Vergleich zu Nadelhölzern besteht ein erhebliches Potenzial zur Einsparung von Material und fossilen Treibhausgasen. Eine Erweiterung bzw. Optimierung der Sortiermöglichkeiten und -verfahren ermöglicht in Zukunft die Zuordnung von Laubholzbrettern in höhere Festigkeitsklassen.	(Zukünftig) Hoch

Tabelle 14: Handlungsfeld 2 – THG-Treiber im Holzbau – Materialeffiziente Bemessung

Maßnahme	Beschreibung	Klimaschutzzpotential
Lastumverteilung und Systemfestigkeit → FprEN 1995-1-1:2024 (E) A.7 / 8.5	Überprüfung von der Lastumverteilung und der Systemfestigkeit lastverteilender Systeme.	Gering
Stabilitätsnachweis → FprEN 1995-1-1:2024 (E) A.8.2	Für eine materialeffiziente Bemessung von stabilitätsgefährdeten Trägern ist eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung mit Imperfektionsannahmen gegenüber dem kc/km-Verfahren (Ersatzstabverfahren) zu bevorzugen.	Mittel
Gebrauchstauglichkeit → FprEN 1995-1-1:2024 (E) A.9	Die Auswirkungen des Anforderungsniveaus der Deckenschwingung („Floor Performance Levels“) sollte im Rahmen der Entwurfsplanung eingehend untersucht und mit den beteiligten Planern und Bauherren abgestimmt werden.	Hoch
Tragwerke unter Brändeinwirkung → FprEN 1995-1-2:2024 (E)	Die Nachweisführung anhand gelisteter, tabellierter Nachweise kann gegenüber einer Bemessung nach dem Vereinfachten Verfahren (Europäisches Abbrandmodell) unter Verwendung effektiver Querschnitte zu konservativen Ergebnissen führen.	Mittel
Fügung und Verstärkungen von Tragwerken → FprEN 1995-1-1:2024 (E) A.11	Die Möglichkeiten zur Bauteilverstärkung, speziell bei hohen Querdrucklasten in Tafelbauten, sollten genutzt werden, um Material einzusparen. Grundsätzlich sind axial beanspruchte Anschlusskonfigurationen hinsichtlich Steifigkeit und Tragfähigkeit vorteilhafter als querbeanspruchte stiftförmige Verbindungsmitte.	Gering
Tragwerke aus zusammengesetzten Elementen und Tragwerke mit besonderen Geometrien → FprEN 1995-1-1:2024 (E) A.8.3 → FprEN 1995-1-1:2024 (E) A.8.4 /12	Durch die Verwendung zusammengesetzter Elemente, Bauteile mit spezieller Geometrie oder kombinierten Holzqualitäten können Tragwerke geschaffen werden, die speziell auf den Kraftfluss zugeschnitten und somit besonders effizient sind. Solche bauwerkspezifischen Träger ermöglichen eine äußerst effiziente Nutzung lamellierter Hölzer mit unterschiedlichen Qualitäten und Festigkeiten.	Mittel

Tabelle 15: Handlungsfeld 3 – THG-Treiber im Holzbau – Materialgerechter Entwurf

Maßnahme	Beschreibung	Klimaschutzenpotential
Materialübergreifende Bauteiloptimierung	THG-reduzierte Holzbauteile werden durch einen materialgerechten und abgestimmten Aufbau von Dämmung, Brandschutzbeplankung und Holztragwerk erzeugt. Der Einsatz von THG-reduzierten Materialien sowie der Verzicht auf redundante Bauteilschichten sollte unter Berücksichtigung der normativen & baurechtlichen Anforderungen sorgfältig geprüft werden.	Hoch
Einsatz von Leichtbauweisen	Durch das Anwenden von Leichtbauprinzipien im mehrgeschossigen Hochbau können im Holzbau Treibhausgasemissionen eingespart werden.	Hoch

6.2.5 Mauerwerksbau

In [40] werden Roadmaps zur Klimaeffizienz für die Kalksandstein-, die Ziegel- und die Porenbetonindustrie vorgestellt. Der Weg der Reduzierung von Emissionen in der Kalksandstein- und Ziegelindustrie wird jeweils durch drei unterschiedliche Reduktionspfade dargestellt. In diesen greifen unterschiedliche Maßnahmen und führen somit zu unterschiedlich starken Reduzierungen. Beide Industrien stellen einen Reduktionspfad der Klimaneutralität im Jahr 2045 (Kalksandstein) und 2050 (Ziegel) in Aussicht. Diese sind allerdings verbunden mit hohen Investitionskosten und der Anpassung von externen Rahmenbedingungen.

Folgende Maßnahmen im Mauerwerksbau werden zur Dekarbonisierung von Baustoffen genannt:

- Einsatz von regenerativen Energien und grünem Wasserstoff bei der Herstellung
- biogene Porosierungsmittel
- kalkfreie Tone
- optimierte Ziegelgeometrien
- Einsatz sauberer Brennstoffe
- auf grünem Strom basierende Maschinentechnik
- optimiertes Wärmemanagement
- Reduzierung von prozessbedingten Emissionen bei Kalksandsteinen und Porenbeton durch alternative Bindemittel und CO₂-Speicherung (CCS)
- Wiederaufnahme von Kohlenstoffdioxid (Recarbonatisierung) bei Kalksandsteinen und beim Porenbeton

Lehmsteine, Natursteine und aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Mauerwerksteine (Bsp. Hanf) bieten Potenziale für eine nachhaltige Bauweise.

Der Einsatz von Robotik bei der Herstellung von Mauerwerkswänden und die zunehmende Digitalisierung führen zu besseren Bauprozessen und damit einer Erhöhung von Effizienz und Qualität.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens [41] hat die Projektgruppe 5 diverse Möglichkeiten aufgezeigt, wie bisher ungenutzte Potentiale für eine klimaschonendere Planung, Bemessung

und Konstruktion von Mauerwerksbauteilen ausgeschöpft werden könnten. Einige der vorgeschlagenen Maßnahmen lassen sich dabei relativ kurzfristig und ohne größeren Forschungsaufwand umsetzen, wodurch bereits eine zeitnahe Verringerung der Treibhausgasemissionen erzielt werden könnte. Andere Maßnahmen wiederum erfordern für eine konsistente Umsetzung weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen. Hierbei sind in den meisten Fällen theoretische Analysen notwendig, welche den aktuellen Stand der Technik erweitern oder ergänzen. Für manche Maßnahmen sollten außerdem zusätzliche experimentelle Untersuchungen durchgeführt werden. Diese dienen beispielsweise dazu, eine entsprechende Datengrundlage zu generieren oder die Ergebnisse der theoretischen Ausarbeitungen zu validieren. Die hiervon betroffenen Maßnahmen sind auf Grund des höheren Zeitaufwands jedoch erst mittel- oder langfristig umsetzbar. Zu den mittel- und langfristig umsetzbaren Maßnahmen zählen daher insbesondere vollständige Neuentwicklungen von Regelwerken oder die Erarbeitung wesentlicher Änderungen in bestehenden Planungs- und Bemessungsgrundlagen zugunsten des Klimaschutzes. In der Regel bieten diese umfangreicheren Maßnahmen aber auch größeres Potential für die Einsparung von Treibhausgasemissionen, als es bei kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen der Fall ist, weshalb die Umsetzung der aufwändigeren Projekte trotz des höheren Zeit- und Kostenaufwands durchaus lohnenswert ist und im Sinne des Klimaschutzes möglichst zeitnah gestartet werden sollte.

Um die Priorisierung der in [41] vorgestellten Maßnahmen zur Erhöhung des Klimaschutzes bei der Planung und Konstruktion von Mauerwerk zu vereinfachen, ist in der nachfolgenden **Tabelle 16** eine erste Einschätzung zum Klimaschutzzpotential der jeweiligen Vorschläge gegeben.

Tabelle 16: Maßnahmen zur schnellen CO₂-Reduzierung im Mauerwerksbau

Kapitel & Umsetzbarkeit	Maßnahme	Klimaschutzzpotential
Kurzfristig	Erhöhung des Prüfalters von Mauermörteln und Ergänzungsbauten aus Beton	Mittel
	Verwendung von bewehrtem Mauerwerk	Gering
	Optimierung des Nachweises von vorgefertigten Mauerwerkselementen	Mittel
	Erhöhung des zulässigen Schalenabstands von zweischaligem Mauerwerk	Mittel
	Verringerung der Mindestdicke von Vorsatzschalen in zweischaligem Mauerwerk	Gering
	Optimierung des Stabilitätsnachweises	Gering
	Optimierung des vereinfachten Nachweises für Kelleraußenwände	Gering
	Streichung des stark vereinfachten Nachweisverfahrens gemäß DIN EN 1996-3/NA Anhang A	Gering
Mittelfristig	Entwicklung von Bemessungsregeln für Bestandsmauerwerk	Sehr hoch
	Entwicklung von Bemessungsregeln für Mauerwerkswände mit nachhaltigen Deckensystemen	Mittel
	Optimierung des Nachweises von Aussteifungswänden	Gering

Langfristig	Entwicklung von Bemessungsregeln für wiederverwendetes Mauerwerk	Hoch
	Erarbeitung normativer Regelungen für Mauerwerk aus neuartigen Baustoffen	Hoch
	Überprüfung des Dauerstandfaktors	Mittel

6.2.6 Geotechnik

Nach den Erkenntnissen des Arbeitskreises 6.7 (AK 6.7) „Nachhaltigkeit in der Geotechnik“ der DGGeT e.V. werden die hinsichtlich eines energieeffizienten Bauens relevanten Entscheidungen mit dem größten Hebel bereits mit Beginn der Vorplanung getroffen. In der Regel werden zu diesem Zeitpunkt etablierte Sichtweisen und Lösungen in den folgenden Prozessabschnitten in nur geringem Maß verändert und daher systematisch nachhaltigere Lösungen im weiteren Ablauf der Bautätigkeit verhindert. Diesem Umstand ist es zu verdanken, dass der AK 6.7 seinen ersten Fokus auf die Fragestellung gelenkt hat, wie im Kontext der Baugrundgrunduntersuchung, welche mit Beginn der Vorplanung realisiert wird, neben der technischen und der ökonomischen Umsetzung (Komplexität und Wirtschaftlichkeit) auch die Nachhaltigkeit der getroffenen Empfehlungen bewertet werden kann. Die nachfolgende Zusammenstellung repräsentiert unter diesem Gesichtspunkt die nach der getroffenen Entscheidung zur Errichtung eines Bauwerks gegebenen Aspekte und ist in dieser Hinsicht tendenziell ähnlich zu den Abläufen und Erkenntnissen der anderen Themenschwerpunkte des vorliegenden Berichts. Für geotechnische Bauwerke sind grundsätzlich zwei verschiedene Quellen von THG-Emissionen relevant:

- a) Emissionen, welche durch das maschinelle Bewegen von Lockergestein und Festgestein sowie durch das maschinelle Errichten von Bauwerken des Spezialtiefbaus und den Einbau von Materialien entstehen (Phasen A4 und A5 in der Ökobilanz nach DIN EN 15978) sowie
- b) Emissionen, die aus der Herstellung von Baustoffen entstehen, die in Bauwerken des Spezialtiefbaus verwendet werden (Phasen A1 bis A3 in der Ökobilanz nach DIN EN 15978).

Soll in den Phasen A4 und A5 eine nachhaltigere Lösung realisiert werden, besteht die Möglichkeit die zur Bewegung von Erdmassen eingesetzten Maschinen mit erneuerbaren Energien zu betreiben. Da Baumaschinen zum Transport und zum Verladen von Lockergestein derzeit überwiegend mit fossilen Energieträgern betrieben werden, wäre es ein positiver Effekt, wenn im Rahmen des Bauprozesses Lockergesteine so wenig wie möglich bewegt werden oder bereits am Ort des geplanten Bauwerks gewonnen und genutzt werden können. Ein Beispiel hierfür ist das sog. Mixed-in-Place-Verfahren, beim dem ein anstehendes Lockergestein lokal maschinell aufgebrochen, umgelagert sowie mit einer porenfüllenden Bindemittelsuspension gemischt wird.

In der Geotechnik spielt die und damit verbunden die Auswahl des Bauverfahrens eine wichtige Rolle. Ein ökobilanzieller Vergleich kann Auskunft darüber geben, welches Bauverfahren zu bevorzugen ist. Als ressourcenschonende Gründungstechnologie zur Reduktion von CO₂-Emissionen wird in [42] die Kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP) genannt. Als Grund hierfür kann angenommen werden, dass durch die mittragende Wirkung der die Last aufnehmenden Platte eine größere Effektivität der Gründung erreicht wird und im Vergleich zur Pfahlgründung

effektiv Pfahl-Meter eingespart werden können. Jedoch ist hierbei der Umstand zu beachten, dass das System KPP nur für bestimmte Böden und Lastgrößen (Fundamente) anwendbar ist. In den Phasen A1 bis A3 des Spezialtiefbaus liegt der Fokus auf dekarbonisierten Baustoffen, d. h. Beton und Stahl. Insofern sind die Ansätze zur Dekarbonisierung in diesen Phasen deckungsgleich mit den Ansätzen im Betonbau und im Stahlbau.

Viele Bauverfahren im Spezialtiefbau beruhen auf dem Einsatz von Baustoffen wie Zement und Stahl, die ein hohes GWP aufweisen. Für die geotechnische Fachplanung ergibt sich ein Anpassungsdruck zur Substitution dieser Baustoffe. So können (steifere) Schlitzwände durch (flexiblere) wiedergewinnbare Spundwände ersetzt werden. Geländesprünge können mittels Geokunststoff- oder Bewehrte-Erde-Konstruktionen klimafreundlicher gesichert werden als mit Winkelstützwänden aus Stahlbeton. In Zukunft kann Bewehrungsstahl durch Nicht-Metallwerkstoffe wie z.B. eine „Basaltbewehrung“ gegebenenfalls eine nachhaltigere Lösung liefern.

Geotechnischer Bericht:

Generell muss der geotechnische Sachverständige durch mehr und vertiefte Untersuchungen in die Lage versetzt werden, eine genauere Beschreibung des Baugrunds zu realisieren, um eine schlanke und von „versteckten Sicherheiten“, beispielsweise durch Verwendung sehr vorsichtiger geotechnischer Bemessungsparameter, befreite Planung zu ermöglichen. Grundlage hierfür ist der größere – auch finanzielle – Aufwand in der Phase der Grundlagenermittlung sowie der Planung der Baugrunduntersuchungen, der in größeren Projekten durch einhergehende Einsparungen in den Baukosten allermeist mehr als kompensiert wird.

Bereits im Rahmen der Planung von Baugrunduntersuchungen sowie bei der nachfolgenden Erstellung des geotechnischen (Entwurfs-)Berichts sind Baustoffgewinnung und Energieversorgung zu thematisieren. Im Berichtsabschnitt 3 zum Geotechnischen Bericht nach EN 1997 werden u. a. Gründungsempfehlungen und die Bewertung von Boden und Fels als Baustoff behandelt. Hier muss zukünftig die Berücksichtigung und Bewertung der Nachhaltigkeit durch die entsprechende Kompetenz des Geotechnischen Sachverständigen verbindlich erfasst werden.

Die Aufgaben und Fähigkeiten der geotechnischen Fachplanung sind im Sinne der Nachhaltigkeit so zu erweitern, dass eine Berechnung des GWPs möglich ist, um hier eine Optimierung bereits im Planungsprozess zu realisieren. Wichtig ist hierbei die Schnittstelle zum Geotechnischen Entwurfsbericht, welcher bei der geotechnischen Planung zur Optimierung der Lösungsansätze genutzt werden kann. Die Grundlage für derartige Betrachtungen sind bspw. EPDs und Erfahrungswerte zum Bauprozess. Die Ableitung verschiedener Szenarien zum Baustellenbetrieb, deren Untersuchung ehemals eine Aufgabe der bauausführenden Unternehmen war, wird für den Planungsprozess und damit auch für den Planer relevant. Nur in Kenntnis der möglichen Szenarien können die GWP-Prognosen realitätsnah erstellt und als Entscheidungsgrundlage für unterschiedliche Bauweisen verwendet werden.

Im Hinblick auf die Bauprozesse wird das GWP die Bewertungsmaßstäbe verändern. Baugrundverbesserungen werden vorzugsweise nicht durch den Einsatz von Bindemitteln erreicht, sondern durch (Tiefen-)Verdichtung, Vorkonsolidierung inkl. Drains oder vertikale Tragelementen ohne Bindemittel, wie beispielsweise Schottersäulen. Eine Abdichtung, z. B. eine dichtende Trogsohle, wird vorzugsweise mittels einer Weichgelinjektion anstelle des Düsenstrahlverfahrens erzeugt. Im Verkehrswegebau sind vorrangig ggf. inkl. Konditionierung verwertbare Ausbauböden und möglichst tolerante Liefermaterialien, mineralische Ersatz- und Primärbaustoffe, zugunsten der Marktverfügbarkeit der Planung zugrunde zu legen, um Transport, Rohstoffgewinnung und Deponieraum einzusparen.

Neben den oben beschriebenen reinen Ingenieuraufgaben kommt auf die begutachtenden und planenden Ingenieure ein gesteigerter Erklärungs- und Beratungsaufwand zu. Alle Beteiligten,

Bauherrn, Ausführende, Planer, Genehmigungsbehörden, Nachbarn und weitere Dritte, müssen die vermeintlichen Nachteile, mehr Verformungen, geringere Reserven, mehr Aufwand in der Grundlagenermittlung, mit den übergeordneten Zielen der Vermeidung von herkömmlichem und gasförmigem Abfall (CO_2) und der Verringerung des GWP abwägen. Dazu bedarf es der kompetenten Beratung durch geotechnische Ingenieure.

Bauverfahren:

Für den Nachweis der nachhaltigen Lösung bietet sich ein Vergleich von Varianten an. Ausgangspunkt kann z.B. eine „übliche“ Bauweise sein. Dieser Vergleich kann zusätzlich mit einem gewünschten Reduzierungsfaktor erweitert werden. Der Ansatz repräsentiert eine bauliche Lösung, die man üblicherweise ohne besondere Nachhaltigkeitsanforderungen, z. B. aus rein wirtschaftlichen oder terminlichen Gesichtspunkten, gewählt hätte. Die Optimierungsvariante bildet dem gegenüber einer baulichen Lösung ab, die Verbesserungen berücksichtigt. Dazu können eine CO_2 -optimierte Materialwahl, Massenoptimierungen oder kreislaufgerechte Baukonstruktionen zählen. Der Quotient der beiden Varianten zeigt die relative Verbesserung oder Verschlechterung der Optimierungsvariante im Vergleich zur Ausgangssituation.

Es ist auch möglich den Reduzierungsfaktor vorab zu vereinbaren und so bspw. einen definierten CO_2 -Reduzierungspfads zu realisieren. Große private Unternehmen geben sich zum Teil aber auch eigene CO_2 -Reduzierungspfade. In diesem Fall kann man sich als Ausgangssituation eine Bauvariante wählen, die vor Beginn der CO_2 -Reduzierung gewählt worden wäre. Gemäß dem Ausführungsjahr einer neuen Baumaßnahme lässt sich der Reduzierungsfaktor ermitteln und mit der Ausgangssituation vergleichen.

Bauphase:

Baubegleitend zu einer Spezialtiefbaumaßnahme ist es das Ziel, durch eine Dokumentation von definierten Maßzahlen (KPIs = Key-Performance-Indikatoren) während der Bauphase einen Vergleich mit den Maßzahlen der Planungsphase zu ermöglichen. Dadurch wird es möglich, einen Erfahrungsschatz aufzubauen sowie auch eine Datengrundlage für gegenwärtige auf der Baustelle durchzuführende oder zukünftige Optimierungen zu erhalten. Diese objektiven Maßzahlen werden dabei idealerweise ohne großen Aufwand für die Baustelle erhalten.

Für die Erfassung von objektiven Maßzahlen können z. B. automatisierte Projektdatenerfassungssysteme einschließlich elektronisch aufgezeichneter Maschinendaten und Daten aus Materialströmen auf der Baustelle verwendet werden. Geeignete Maßzahlen sind hierbei bspw. der Dieselverbrauch je Betriebsstunde (l/h) oder der Energieverbrauch (kWh) sowie Materialmengen von verwendeten Baustoffen, Reststoffen oder Abfällen. Auch der Transport von Materialien und Personal, insbesondere im Zusammenhang mit dem Erdbau, kann auf den Baustellen gemessen werden.

Sobald die zuvor genannten Maßzahlen vorliegen, kann eine Gesamtbewertung der Bauphase vorgenommen werden. Hierzu werden die in der Planung ermittelten Maßzahlen mit den während der Bauphase erfassten Maßzahlen verglichen. Wird dies bereits im Zuge der Bauphase vorgenommen, besteht die Möglichkeit einer Optimierung. Nach Abschluss der Bauphase kann die gewonnene Datengrundlage für zukünftigen Projekte verwendet werden. Die Bewertung der erfassten Daten wird anhand der projektspezifischen Bedingungen vorgenommen. Teilweise werden die Maßzahlen bereits für die Zertifizierung einer nachhaltigen Baustelle, z. B. gemäß DGNB, verwendet. Werden Zertifizierungssysteme angewendet, ist eine Bewertung von Bauphase / Bauabwicklung möglich.

Eine Hilfe zur Berechnung von CO₂-Emissionen im Spezialtiefbau liefert der Carbon Calculator. Der Carbon Calculator ist ein frei zugängliches, kostenloses Tool der European Federation of Foundation Contractors (EFFC) [43].

6.2.7 Verbund- und Hybridbauweisen

Stahl-Beton-Verbundbauweise

Verbund- und Hybridbauweisen wurden entwickelt, um dem baustoffspezifischen optimalen Tragverhalten von zum Beispiel Beton (Druck) und Stahl (Zug) gerecht zu werden. Diese Bauweise hat sich als zudem sehr wirtschaftlich für diverse Bauteile und Tragwerke (z. B. Verbundträger und -decken, Verbundstützen, Parkhäuser, Brücken) etabliert.

In [44] werden beispielsweise Vergleichsrechnungen von verschiedenen Stahlträger-Verbunddecken veröffentlicht, siehe **Bild 14**. Für Deckensysteme mit einer Spannweite von 6 m - 12 m hat sich dabei herausgestellt, dass Stahlsystem-Verbunddecken auch gegenüber z. B. Brettsperrholzdecken oder Decken mit Spannbetonhohlplatten als nachhaltig effizient bezeichnet werden können.

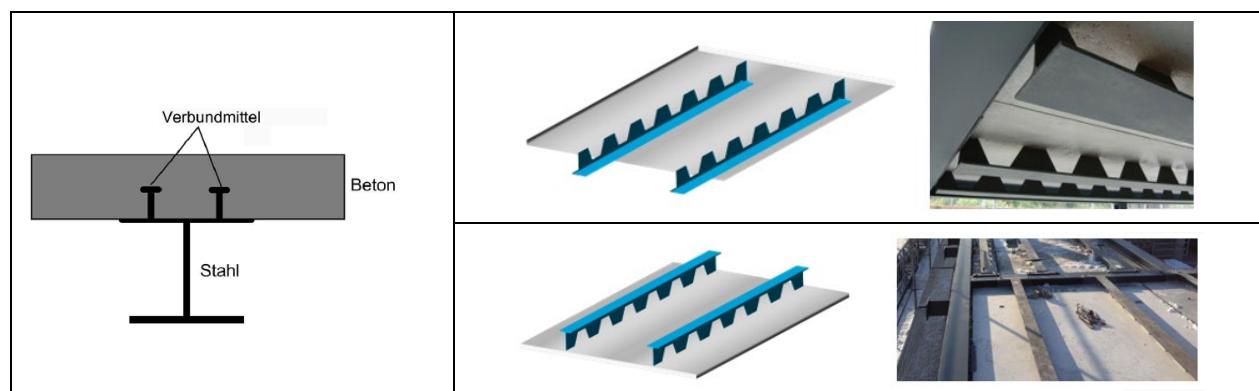


Bild 14: Stahlträger-Verbunddecke – links: klassische Stahlträger-Verbunddecke, rechts oben: Topfloor Integral mit Positivlage (Stb.-Platte oben), rechts unten: Topfloor Integral mit Negativlage (Stb.-Platte unten) [44]

Durch das Ausnutzen von Überhöhungen bei der Fertigung von Stahlverbundträger- und -deckensystemen kann im Bereich höherer Deckenspannweiten die Bauhöhe reduziert werden, wenn der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gegenüber der Tragfähigkeit maßgebend ist. Das vermindert den Materialeinsatz und verbessert die CO₂-Bilanz insgesamt.

Holz-Beton-Verbundbauweise

Die Holz-Beton-Verbundbauweise wird derzeit sehr stark weiterentwickelt. Hier kann mittel- und langfristig ein erhöhtes Potenzial zur Reduktion von CO₂-Emissionen gesehen werden. In einem Teilprojekt dieses Forschungsvorhabens wurde die Erarbeitung eines Sachstandberichts „Holz-Beton-Verbundkonstruktionen“ [45] unterstützt, in dem ergänzende Regelungen zur Umsetzung von DIN CEN/TS 19103:2022-02 [46] gegeben werden, die beim Fortschreiben der Technischen Baubestimmungen eingearbeitet werden können.

Beim ökobilanziellen Vergleich verschiedener Bauweisen schneiden Holz-Beton-Verbund-Konstruktionen meist sehr gut ab – insbesondere im Vergleich zu reinen Stahlbeton- oder Spannbeton-Konstruktionen, siehe **Bild 15**.

In [47] wurden verschiedene Deckensysteme miteinander verglichen. Die Ergebnisse der GWP-Berechnungen für einzelne Bauteile hängen stark von den berücksichtigten Randbedingungen (Module und Lebenszyklusphasen) ab. Aus der Gegenüberstellung geht hervor, dass die Stahlbetonmassivdecke, als das am weitesten verbreitete Deckensystem in Deutschland, die größte Menge an Treibhausgasemissionen verursacht. Durch Hohlräume, Rippen und Vorspannung können die Emissionen signifikant reduziert werden. Bei Berücksichtigung der Module A1 bis A3, C3 und C4 liegen die Treibhausgasemissionen der HBV-Decke auf dem Niveau der ressourcenverbesserten Betondeckensysteme, wie Hohlkörper- und Rippendecke sowie der Spannbetonhohldiele.

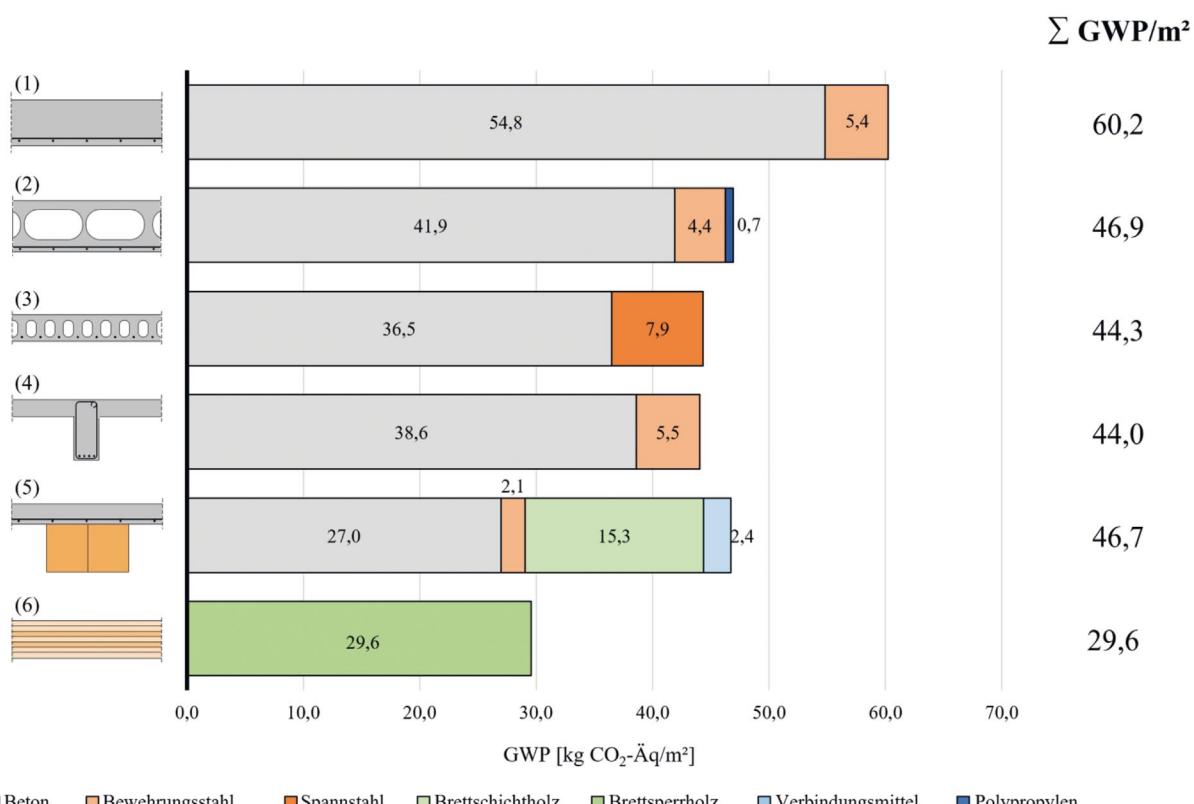


Bild 15: Gegenüberstellung der Treibhausgasemissionen verschiedener Deckensysteme (Module A1 bis A3, C3 und C4), aus: [47]

Neben den Vorteilen und Optionen, die sich aus der Verbundbauweise ergeben, wird auf die Verbesserung der Klimabilanz der beteiligten Baustoffe Beton (siehe Kap. 6.2.2), Baustahl (siehe Kap. 6.2.3) und Holz (siehe Kap. 6.2.4) verwiesen, die hier direkt mit einfließen.

Empfehlung an die Bauaufsicht:

Die Bauaufsicht sollte anhand des Sachstandberichtes von DBV, HDI und PRB die bauordnungsrechtliche Einbindung von DIN CEN/TS 19103:2022-02 fortschreiben.

6.2.8 Zwischenfazit

Die bauartspezifisch umsetzbaren Maßnahmen sind in der Übersicht in **Bild 16** dargestellt.

	Maßnahmen für alle Bauarten
	<ul style="list-style-type: none">Optimierung der TragstrukturVerwendung dekarbonisierter BaustoffeVerschwendungsarme Prozesse
	Ausgewählte Maßnahmen der Bauarten
 EN 1992	<ul style="list-style-type: none">Ausnutzung der NacherhärtungZonierte Bauweisen bei massigen BauteilenEinsatz klinkereffizienter BetoneEinsatz von nichtrostendem Bewehrungsstahl
 EN 1993	<ul style="list-style-type: none">Verwendung höherfester StähleSchrottbasierter ElektrostahlproduktionWiederverwendung von Stahlträgern und -stützenErtüchtigung und Verstärkung von Tragwerken aus Stahl
 EN 1995	<ul style="list-style-type: none">Verwendung von Holzwerkstoffen mit einem hohen Festigkeits-/THG-VerhältnisEinsatz von LeichtbauweisenVerstärkter Einsatz von hochfesten Laubvollhölzern
 EN 1996	<ul style="list-style-type: none">Entwicklung von Bemessungsregeln für Bestandsmauerwerk und für wiederverwendetes MauerwerkErarbeitung normativer Regelungen für Mauerwerk aus neuartigen Baustoffen
 GEOTECHNICAL DESIGN	<ul style="list-style-type: none">Baugrundverbesserungen durch (Tiefen-)Verdichtung, inkl. Drains oder vertikale Tragelemente ohne Bindemittel, z.B. SchottersäulenEinsatz klinkereffizienter BetoneAbdichtung mittels Weichgelinjektion statt Düsenstrahlverfahren

Bild 16: Übersicht der bauartspezifisch sofort umsetzbaren Maßnahmen

6.3 Klimaverträgliche Gestaltung von Gebäudeteilen

6.3.1 Verteilung der grauen Emissionen im Tragwerk

Im Hochbau besteht das Ziel in einer deutlichen Reduzierung von CO₂-Emissionen, insbesondere im Bereich des Neubaus von Gebäuden. Hierzu ist es erforderlich, diejenigen Konstruktionen näher zu beleuchten, welche für den größten Anteil des Ausstoßes von Treibhausgasen verantwortlich sind.

In [48] wird gezeigt, dass das Tragwerk mit seinen hohen Masseanteilen und letztendlich überschaubarem Materialkatalog bis zu 70 % des CO₂-Anteils der grauen Emissionen eines Bauwerks generiert. Sechs unterschiedliche Hochbauten wurden analysiert. Siehe folgendes **Bild 17**. Die Differenzierung nach Bauteilklassen (Primärtragwerk, Fassade, Ausbau, TGA usw.) und Nutzungsdauer wurde dabei umgesetzt.

Das Tragwerk bietet damit einen einfachen und effektiven Hebel zur CO₂-Reduktion im Bauen. Dabei sollte der Fokus auf den Konstruktionselementen mit hohen Masseanteilen liegen.

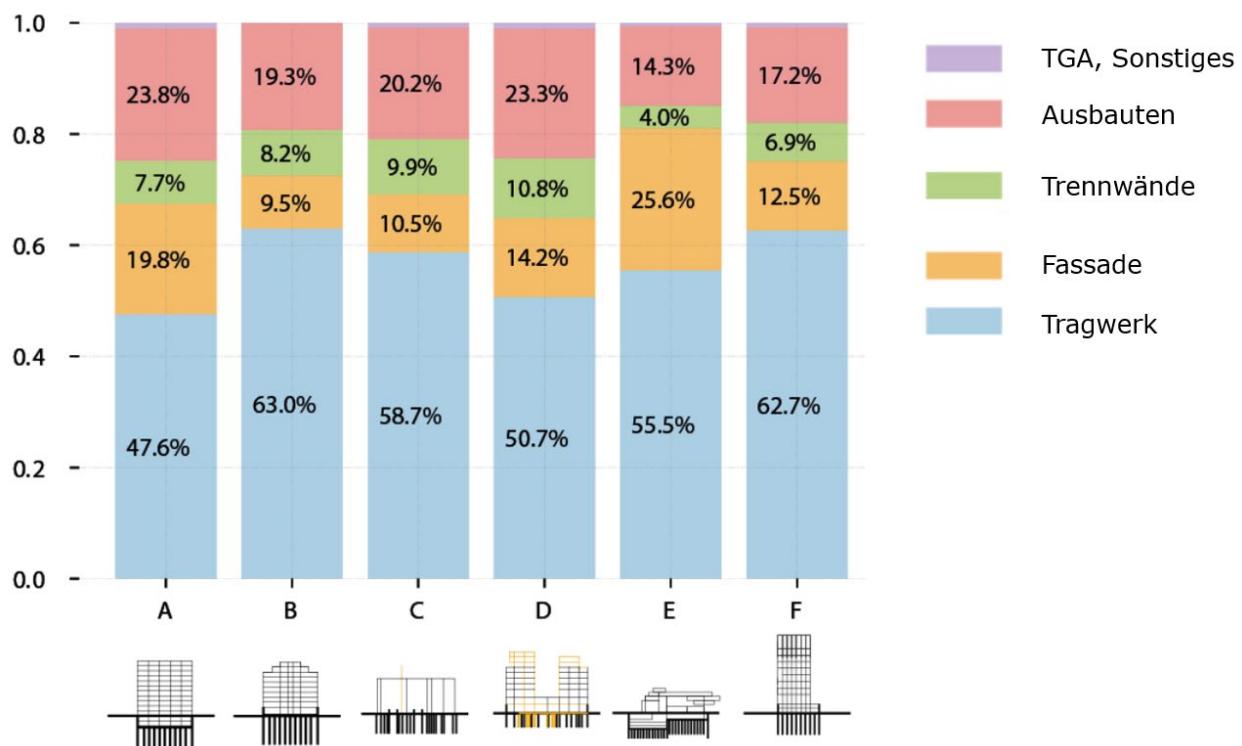


Bild 17: GWP_k von Bauwerken differenziert nach Bauteilklassen (Phasen A1-A3) – Datenbasis der Grafik [49] unter der Annahme cradle to gate

Wird das Tragwerk weiter nach einzelnen Bestandteilen unterteilt, wird ersichtlich, wie die CO₂-Gehalte innerhalb einer Hochbaustuktur verteilt sind.

In den letzten 50 Jahren wurde im Hochbau verstärkt mit dem Werkstoff Beton gebaut. Besonders im Bereich der Geschossdecken-Konstruktionen herrscht die punktgestützte Flachdecke als Deckensystem vor. Aus diesem Grund finden sich die maximalen Anteile des gesamten CO₂-Fußabdrucks i. d. R. in den Teilen eines Gebäudes wieder, in denen die meiste Masse an Beton verbaut wird.

Verteilung des CO₂-Gehaltes innerhalb einer Hochbautragstruktur

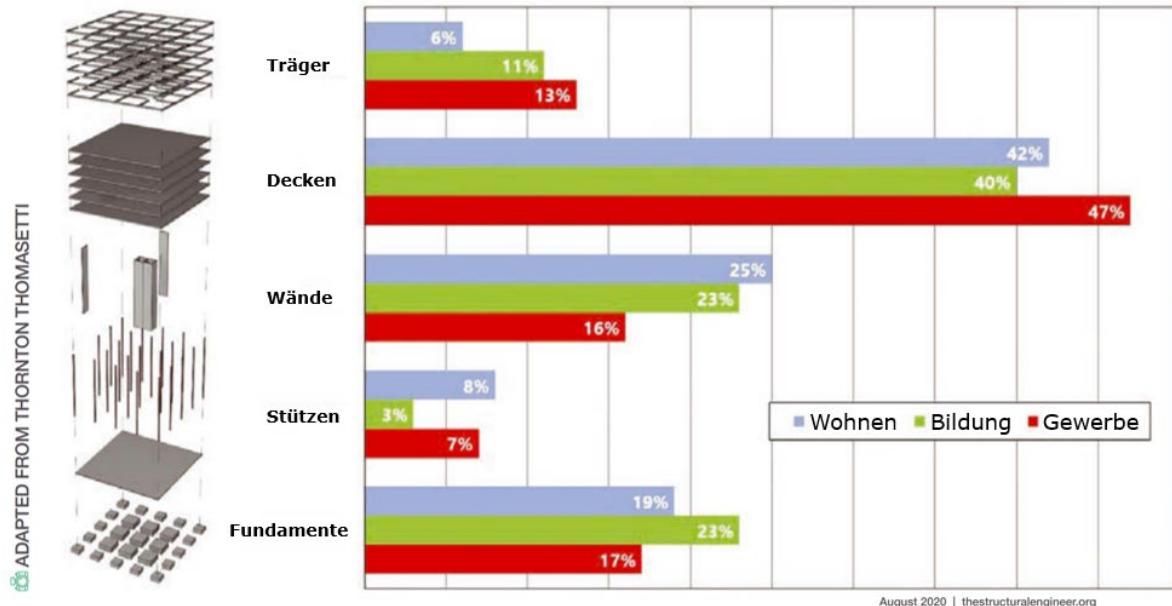


Bild 18: Verteilung des CO₂-Gehaltes (Herstellphasen A1-A3) innerhalb einer Hochbautragstruktur [50]

Einige Studien, z. B. [51], zeigen, dass bei gewöhnlichen Hochbauten in Decken zum Teil mehr als 40 % der Betonmasse des Tragwerks verbaut wird (**Bild 18**). Ihr Einfluss kann mit zunehmender Gebäudehöhe sogar auf 50 % bis 65 % ansteigen. Werden zusätzlich noch Dächer und Bodenplatten/Flachgründungen berücksichtigt, sind zum Teil über 70 % der Betonmassen in den horizontalen Bauteilen verbaut, siehe **Bild 19**. Die restlichen 30 % finden sich in den vertikalen Bauteilen wie Stützen und Wänden wieder.

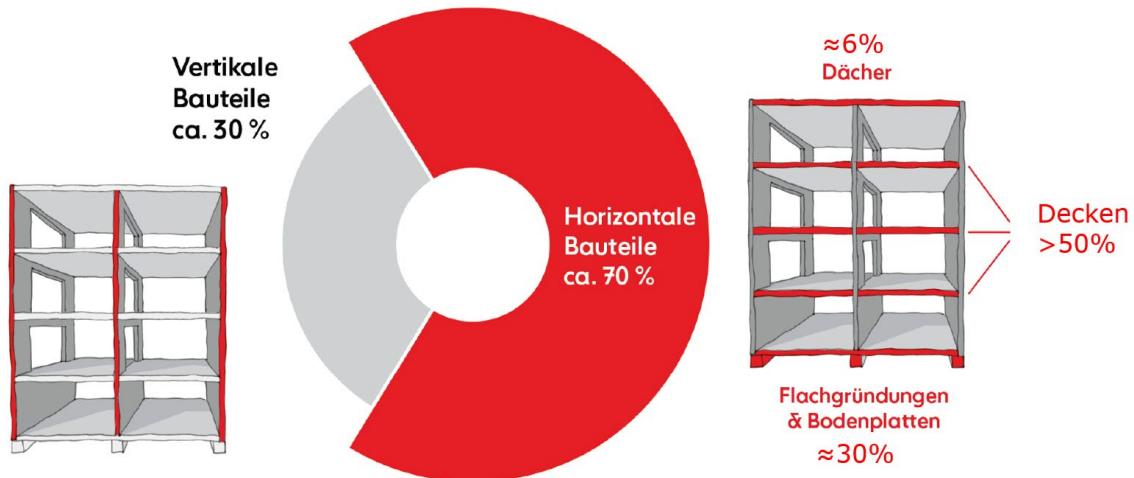


Bild 19: Verteilung der grauen Emissionen innerhalb eines Tragwerks im Hochbau

Auf der Grundlage dieser Analyse ist es folgerichtig, die Geschossdecken im gewöhnlichen Hochbau detaillierter zu untersuchen. Das schließt sowohl die Betrachtung der verschiedenen Geschossdeckenarten aus den verschiedenen Bauarten als auch die Prüfung zu Möglichkeiten ihrer Optimierung vor dem Hintergrund des Nachhaltigkeitsaspekts ein.

Möglichkeiten zur nachhaltigen Konstruktion der weiteren Gebäudeteile sollen im Folgenden ebenfalls behandelt werden.

6.3.2 Decken

Deckensysteme besitzen den größten Hebel bei der CO₂-Einsparung im Hochbau. Aus diesem Grund wurden bis heute zahlreiche Deckensysteme miteinander verglichen und entsprechende Studien und Veröffentlichungen erstellt [52] - [58].

Im Zuge der Auswertung der zuvor genannten Studien wurde deutlich, dass ein fundierter Vergleich nicht möglich ist, da die Randbedingungen der Deckensysteme (Spannweiten, Statisches System z.B. Durchlauf- oder Einfeld-Trägersysteme, Belastung, etc.) sehr unterschiedlich gewählt wurden.

Mit dem parallel zum Forschungsvorhaben erarbeiteten DBV-Heft 50, Band 3 [59] soll der Treibhausgasausstoß für die derzeit gängigsten Deckenarten übersichtlich dargestellt werden. Anhand einer in Abhängigkeit von der Spannweite vereinfacht vorgenommenen Berechnung des Treibhauspotentials für einen Meterstreifen der jeweiligen Deckenart, soll die prinzipielle Vorgehensweise bei der Erstellung einer Ökobilanz dargestellt werden.

Im Geschossdeckenkatalog wird ein entsprechender Rechenweg für die getroffenen Annahmen in exemplarischer Weise nachvollziehbar angegeben und es werden Möglichkeiten der Optimierung aufgezeigt. Ein Vergleich und eine daraus abgeleitete Bewertung der Deckenarten sind ausdrücklich nicht vorgesehen. Eine Bewertung ist stets an die projektabhängigen Randbedingungen geknüpft und sollte auch niemals pauschal vorgenommen werden.

Im **Bild 20** sind die ökobilanziell näher untersuchten Deckenarten angegeben.

<p>Stahlbetondecken</p> <ul style="list-style-type: none">• Punktgestützte Flachdecke• Stahlbetonplattendecke• Elementdecke• Vorgespannte Elementdecke• Stahlbetonrippendecke	<p>Betonfertigteildecken</p> <ul style="list-style-type: none">• Spannbetonhohlplattendecke• Stahlbetonhohlplattendecke• Plattenbalkendecke	<p>Stahlbetondecken mit Hohlraumbildnern</p> <ul style="list-style-type: none">• Hohlkörperdecke• Stahlbetonkassettendecke• Vorgespannte Sandwichdecke
<p>Verbunddecken</p> <ul style="list-style-type: none">• Stahlträgerverbunddecke• HBV-Balkendecke• HBV-Brettsperrholzdecke	<p>Ziegel- und Porenbetondecken</p> <ul style="list-style-type: none">• Ziegel-Elementdecke• Ziegel-Kappendecke• Porenbetondecke	<p>Holzdecken</p> <ul style="list-style-type: none">• Holzbalkendecke• Holzkastendecke• Brettstapeldecke• Brettsperrholzdecke

Bild 20: Übersicht über die untersuchten Deckenarten

Der „Geschossdeckenkatalog“ ist als Arbeitsmittel bei der Entwurfsplanung einsetzbar und im dritten Abschnitt von [59] zu finden.

7 Arbeitspaket 2 – Schaffen von Möglichkeiten

7.1 Allgemeines

Das Arbeitspaket 2 beinhaltet die Erarbeitung von konkretisierten, bauartübergreifenden Grundlagen für Technische Baubestimmungen für den Klimaschutz. Weiterhin erfolgt die Bestandsaufnahme von bisherigen Inhalten der Regelwerke zum Thema Nachhaltigkeit und die Integration des Themas in die Eurocodes. Die Projektgruppenmitglieder der PRB nutzten dazu ihre Funktion in den Spiegelausschüssen.

7.2 Einführung von Dekarbonisierungsstufen (Vorgehensweise 2)

7.2.1 Allgemeines

Neben der Ökobilanz als die umfassendste und präziseste Nachweisform für die Ermittlung von THG-Emissionen und für deren Reduzierung (= Verfahrensweise 3 im Sinne von Abschnitt 4.4) sowie grundlegenden Konstruktionsregeln (= Verfahrensweise 1 im Sinne von Abschnitt 4.4) kann als weitere Vorgehensweise die Definition von Dekarbonisierungsstufen dienen, deren Auswahl und Festlegung mit definierten Maßnahmen verbunden ist (= Verfahrensweise 2 im Sinne von Abschnitt 4.4).

Zu den Maßnahmen, die solchen Dekarbonisierungsstufen zuordenbar sind, gehören insbesondere:

- Die Massenoptimierung des Tragwerks zur Reduzierung der verbrauchten Menge Baustoff bzw. Material,
- Die Verwendung von THG-reduzierten Baustoffen,
- Verschwendungsarme Prozesse in der Bauausführung⁵ sowie
- Abscheidetechnologien oder andere wirkungsgleiche Maßnahmen zur THG-Reduzierung.

Diese Maßnahmen können spezifisch für verschiedene Bauarten ausdefiniert, miteinander kombiniert und abgestuft werden.

7.2.2 Randbedingungen, Annahmen und Grenzen

Die Vorgehensweise 2 mit Auswahl einer Dekarbonisierungsstufe ist ein rein qualitatives Verfahren, zu dem keine quantitativen bzw. rechnerischen Nachweise geführt werden.

Die Dekarbonisierungsstufen beinhalten insbesondere Maßnahmen für umweltverträgliche Baustoffe, einschließlich deren Herstellung, Entwurfslösungen, Konstruktionsprozesse und (Bau-)Ausführung. Insofern bezieht sich diese Vorgehensweise auf prEN 1990:2022, Abschnitt 4.7 [7].

Bei allen Maßnahmen, die einer Dekarbonisierungsstufe zugeordnet werden, wird angenommen, dass durch das Umsetzen der vorgegebenen Maßnahmen grundsätzlich eine Reduzierung der THG-Emissionen gegenüber dem Fall eintritt, in dem die Maßnahme nicht angewendet wurde. Die Dekarbonisierungsstufen sind dabei voneinander grundsätzlich nicht quantitativ abgrenzbar, da kein relativer Bezugspunkt (bspw. Nutzfläche oder Rauminhalt) für

⁵ Zusätzlich zu berücksichtigen sind die Treibhausgasemissionen aus Maschinentechnik in den Phasen A4 (Transport) und A5 (Bauausführung)

die Optimierung vorgegeben werden kann. Die Maßnahmen unterscheiden sich in den aufsteigenden Dekarbonisierungsstufen insofern zunächst nur qualitativ.

Sofern die Einstufung in eine Dekarbonisierungsstufe zu Maßnahmen führt, die mit den Anforderungen an das Tragwerk nicht vereinbar sind, kann die Vorgehensweise 2 nicht angewendet werden – und die Verfahrensweise 3 kann als Alternative angewendet werden.

7.2.3 Definition der Dekarbonisierungsstufen und Festlegung

Für Tragwerke können bspw. die Dekarbonisierungsstufen D, C, B, A und NZ gemäß **Bild 21** definiert werden. Dabei wird die zu erreichende Dekarbonisierungsstufe bspw. von den am Bau Beteiligten vorhabenspezifisch ausgewählt und festgelegt.

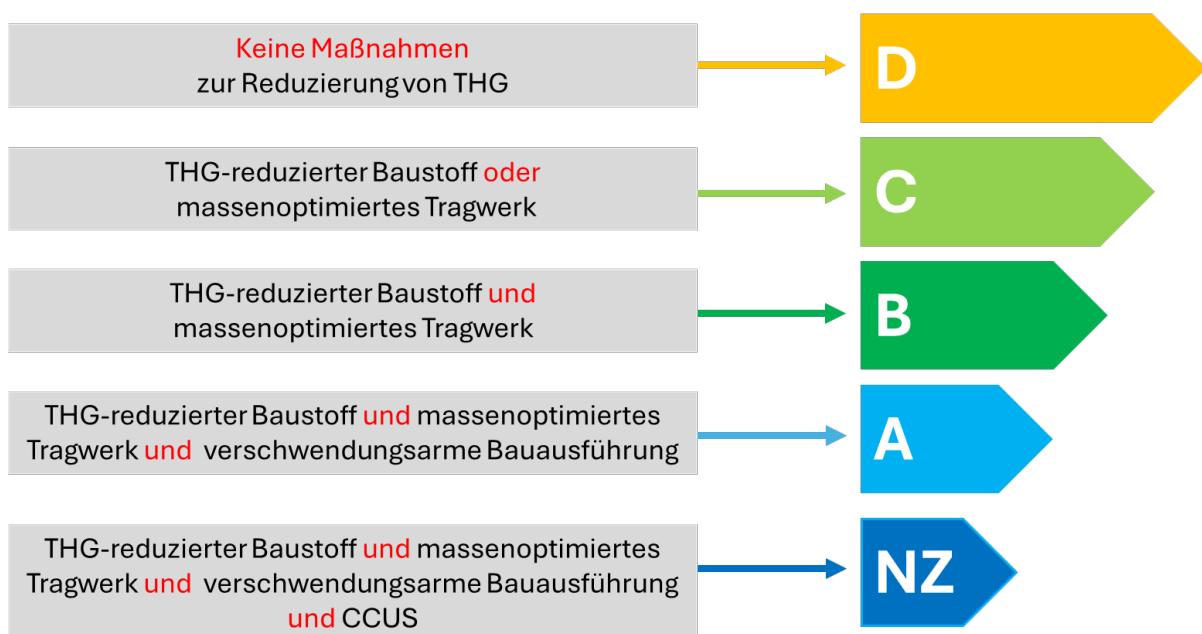


Bild 21: Vorschlag für eine Definition von Dekarbonisierungsstufen

Um eine grundsätzliche Legitimation der Vorgehensweise 2 durch Definition von Dekarbonisierungsstufen und damit die Möglichkeit, diese Bauartspezifisch in den Eurocodes und damit verbundenen Technischen Baubestimmungen zu erreichen, kann in EN 1990 nachfolgende Regelung – bspw. im Zusammenhang mit Abschnitt 4.7 aufgenommen werden:

Mögliche Formulierung für den Nationalen Anhang zu EN 1990 – bspw. zu Abschnitt 4.7:

- (1) In den Nationalen Anhängen zu den verschiedenen Bauarten (DIN EN 1992/NA, DIN EN 1993/NA, DIN EN 1994/NA usw.) sollte jeweils ein Konzept von Dekarbonisierungsstufen für das Tragwerk eingeführt werden.
- (2) Die Dekarbonisierungsstufen sollten von der geringsten THG-Reduzierung (Stufe E oder D) bis zur höchsten THG-Reduzierung (Stufe A) abgestuft sein. Sofern für den Baustoff eine Abscheidetechnologie oder andere wirkungsgleiche Maßnahmen THG-Reduzierungen nahe netto Null ermöglichen, darf auch die Dekarbonisierungsstufe NZ verwendet werden.

(3) Zu jeder verwendeten Dekarbonisierungsstufe ist dann im nationalen Anhang festzulegen, welche Kombination von THG-reduziertem (klimafreundlichem) Baustoff, massenoptimierter Tragstruktur und weiteren Maßnahmen maßgeblich sind.

ANMERKUNG: Hinweise zu möglichen Einstufungen klimafreundlicher Baustoffe enthält das Konzept des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) „Leitmärkte für klimafreundliche Grundstoffe“.

Einen Vorschlag zur konkreten Umsetzung der vorstehenden Formulierungen in den Nationalen Anhang enthält Abschnitt 7.3.1.

7.2.4 Beispiele für die Definition THG-reduzierter Baustoffe

Eine standardisierte Definition THG-reduzierter Baustoffe gibt es derzeit für Zement [60], Beton [61] sowie für Betonstahl und Baustahl [62].

Für **Zement** hat der Verein Deutscher Zementwerke ein privatwirtschaftlich initiiertes freiwilliges Label für Zement („CCC-Label“) eingeführt, um grüne Leitmärkte zu fördern. Zemente können künftig in Abhängigkeit von den Treibhausgasemissionen, die bei ihrer Herstellung entstehen, in eine „Cement Carbon Class“ (CCC) eingestuft werden. Die Klassifizierung (**Bild 22**) und Definition (**Bild 23**) folgen dabei jeweils einem Leitfaden [60].

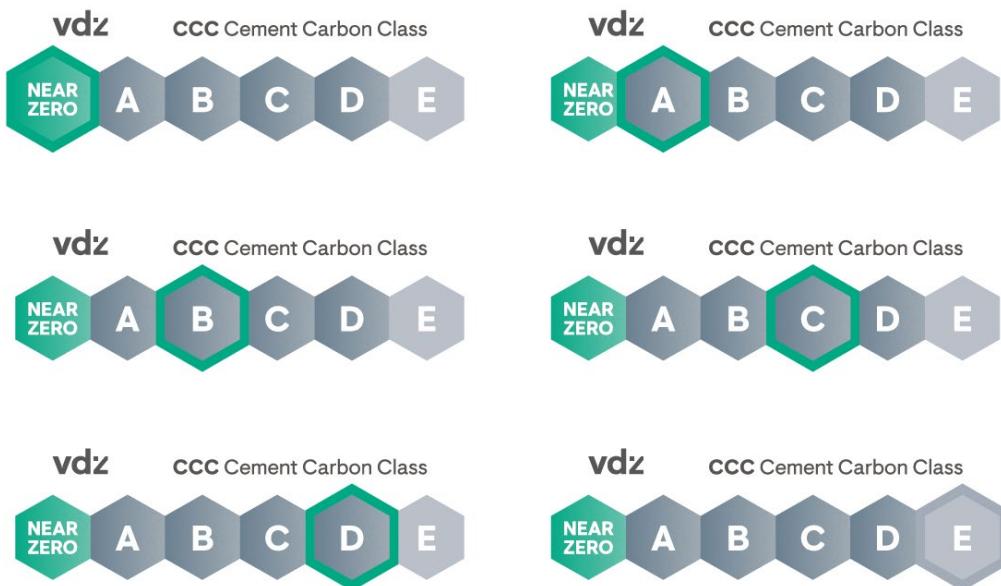


Bild 22: Darstellung der CCC-Klassen für Zement (Quelle: vdz-online.de)

CCC-Klassen für Zement		Anforderung (THG) CO ₂ Äqu / Tonne Zement
Klimafreundlich	D	400 ≤ THG < 500
	C	300 ≤ THG < 400
	B	200 ≤ THG < 300
	A	100 ≤ THG < 200
	Near Zero	< 100

Bild 23: Definition der CCC-Klassen für Zement (Quelle: vdz-online.de)

Für **Transportbeton** hat das Concrete Sustainability Council (CSC) über den Bundesverband Transportbeton (BTB) eine Klasseneinteilung in Form eines CO₂-Moduls etabliert, siehe [61]. Die Klasseneinteilung in Levels folgt dabei den Grenzwerten in **Bild 24**. Die französische Normungsorganisation AFNOR [63] sowie der norwegische Betonverband [64] sehen eine Klassifizierung THG-reduzierter Betone ebenfalls vor. Auch ist bei der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (öbv) das ÖBV-Merkblatt „CO₂-Klassen für Beton“ zu diesem Thema erschienen.

Deutschland						
CO2-Klassen	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55	C50/60
Maximal zulässige Treibhausgasemissionen [netto kg CO ₂ -Äq. / m ³]*						
Branchenreferenzwert	213	237	261	286	312	325
Level 1 (↓ ≥ 30%)	149	166	183	200	218	228
Level 2 (↓ ≥ 40%)	128	142	157	172	187	195
Level 3 (↓ ≥ 50%)	107	119	131	143	156	163
Level 4 (↓ ≥ 60%)	85	95	104	114	125	130
*) Da das GCCA-Tool (Vgl. K. 4.4 des Hintergrundberichtes) EcoInvent-Hintergrunddatensätze für Gesteinskörnung und Transporte verwendet, die konservativer sind als die entsprechenden Datensätze für Deutschland in der GaBi-Datenbank, dürfen die Branchenreferenzwerte des Durchschnittsbetons CEM I in Tabelle 2 bei Berechnung des Treibhauspotenzials mit dem GCCA-Tool um 14 kg CO₂-Äq/m³ erhöht werden , wenn im GCCA-Tool mit Standardwerten (default values) für Gesteinskörnung und Transporte gerechnet wird. Für andere Software-Tools, die die gleichen EcoInvent-Hintergrunddatensätze verwenden wie das GCCA-Tool, gilt dies ebenso. Wird abweichend nicht mit den Standardwerten für die Parameter Gesteinskörnung und Transport gerechnet, sondern mit individuellen Werten, gelten die oben genannten Werte.						
Einen Hintergrundbericht zu den Referenzwerten finden Sie hier: https://www.csc-zertifizierung.de/downloads/						

Bild 24: Klasseneinteilung für Transportbeton nach dem CO₂-Modul des CSC [61]

Anmerkung: Die Werte im CO₂-Modul werden als Treibhausgasemissionen [kg CO₂eq] (Global Warming Potential (GWP)) angegeben. Kohlendioxid (CO₂) ist der Hauptbestandteil, aber nicht das einzige freigesetzte Treibhausgas. DIN EN 15804 [65] unterteilt GWP-gesamt oder auch GWP-total in die Kategorien GWP-fossil, GWP-biogen und GWP-luluc (vgl. 7.6). Im CO₂-Modul erfolgt die Berechnung mit GWP-total.

Für **Stahl**, darunter auch Baustahl und Betonstahl hat die Wirtschaftsvereinigung Stahl (Wsv) eine Kennzeichnung auf Grundlage eines „Low Emissions Steel Standard“ etabliert, siehe [62]. Die Klasseneinteilung folgt den Grenzwerten in **Bild 26** und wird in zwei Kennzeichnungsformen gegeben: als „GWP-total“ entsprechend den Umweltproduktdeklarationen (EPD) gemäß EN 15804 (**Bild 25 links**) sowie als „Product Carbon Footprint“ gemäß ISO 14064/14067 [66], [67] aufbauend auf dem Greenhousegas-Protokoll (**Bild 25 rechts**). Dabei werden Emissionswerte in CO₂-Äquivalenten je Tonne Stahl für verschiedene Schrottquoten von 0 % bis 100 % abgestuft.



Bild 25: Kennzeichnung nach dem „Low Emissions Steel Standard“ (Quelle: wvstahl.de)

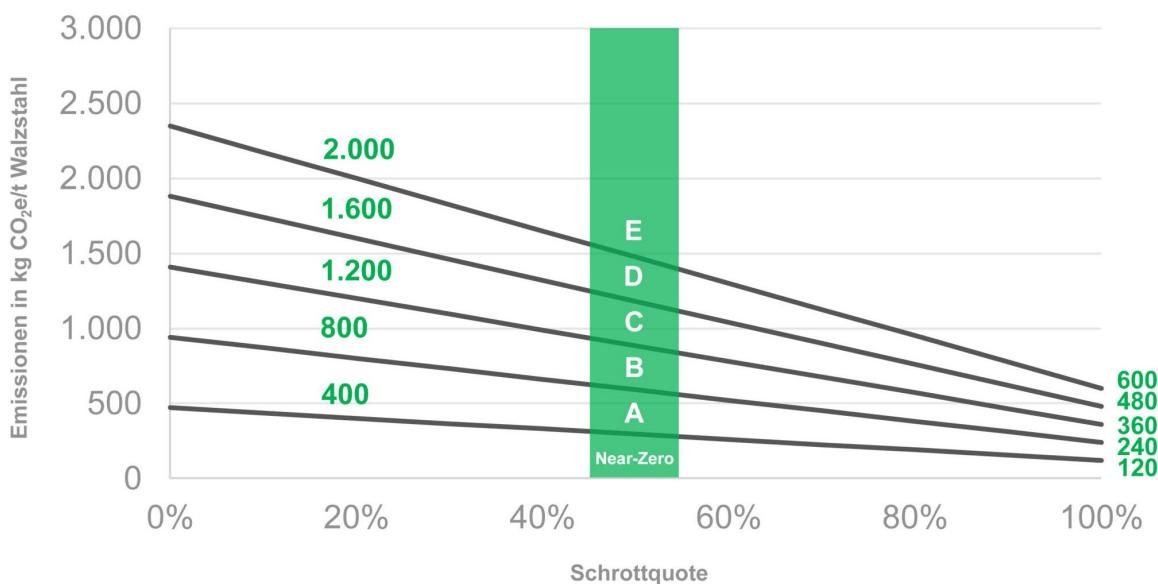


Bild 26: Klassifizierungssystem für Baustahl und Betonstahl (Quelle: wvstahl.de)

7.2.5 Beispiele für grundlegende Konstruktionshinweise zur THG-Reduzierung

Grundlegende Konstruktionshinweise, die als Maßnahmen bei der Auswahl und Umsetzung von Dekarbonisierungsstufen angesetzt werden können, sind zunächst ähnlich zu denen in der Verfahrensweise 1, siehe Abschnitt 6.2.

7.2.6 Beispielhafte Umsetzung von Dekarbonisierungsstufen für Betontragwerke

Ein Beispiel für die Einstufung von THG-reduziertem Beton mit CSC-Level oder Zement mit CCC-Zertifizierung und die Zuordnung zu einer Dekarbonisierungsstufe für das Tragwerk enthält **Bild 27**. Eine Einstufung in die Dekarbonisierungsstufe NZ (Near Zero) für das Tragwerk als Ganzes ist dabei nicht vorgesehen, weil der verwendete Betonstahl noch ausgeklammert ist. In Kombination der Einstufung NZ sowohl für Beton, Zement und Betonstahl könnte auch eine Dekarbonisierungsstufe NZ für das Tragwerk als Ganzes formuliert werden. Dies ist hier nicht abgebildet. Die Definition in **Bild 27** klammert weitere Optimierungspfade (grundlegende Konstruktionsregeln zur Massenoptimierung sowie verschwendungsarme Prozesse) zunächst aus.

CSC-Level	Cement Carbon Class	Reduzierung vs. CEM I	Einstufung Tragwerk
Level 1 ($\downarrow \geq 30\%$)	D (400 – 500 kg)	$\downarrow \geq 30\%$	E
Level 2 ($\downarrow \geq 40\%$)	C (300 – 400 kg)	$\downarrow \geq 45\%$	D
Level 3 ($\downarrow \geq 50\%$)	B (200 – 300 kg)	$\downarrow \geq 55\%$	C
Level 4 ($\downarrow \geq 60\%$)	A (100 – 200 kg)	$\downarrow \geq 70\%$	B
Level NZ ($\downarrow \geq 85\%$)	NZ (< 100 kg)	$\downarrow \geq 85\%$	A

Bild 27: Einstufungen von Beton und Zement und Zuordnung zu Dekarbonisierungsstufen für das Betontragwerk (ohne weitere Optimierungen)

7.3 Erarbeitung konkreter möglicher Inhalte der Eurocodes

Nachdem die Grundlagen für die Ökobilanz erarbeitet wurden, soll nun eine Verknüpfung mit den Eurocodes erfolgen. Dafür wird der Stand der Normungsinhalte zur Nachhaltigkeit sowie ein Weg zur Verknüpfung des Themas Klimaschutz mit den Eurocodes dargestellt.

Die zweite Generation der Eurocodes ist auf europäischer Ebene bereits fertiggestellt, nur die nationalen Anhänge sind noch in Bearbeitung. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde daher versucht, das Thema Klimaschutz über die nationalen Anhänge bereits in die zweite Generation der Eurodes einzubauen. Vollumfänglich wird dies in weiteren Entwicklungsschritten

der Eurocodes möglich sein. **Bild 28** stellt die mögliche Behandlung des Themas Nachhaltigkeit/Klimaschutz in Technischen Baubestimmungen dar:



Bild 28: Technische Baubestimmungen für den Klimaschutz

7.3.1 DIN EN 1990/NA

In EN 1990:2023 ist im Kapitel 4 „Allgemeine Regeln“ unter dem Abschnitt 4.7 „Nachhaltigkeit“ eine erste Regelung enthalten:

EN 1990, Abschnitt 4.7

(1) Das Tragwerk sollte so bemessen sein, dass seine nachteiligen Auswirkungen auf nicht erneuerbare Umweltressourcen, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft während seines gesamten Lebenszyklus begrenzt werden, wie von der zuständigen Behörde festgelegt, oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, wie für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart.

ANMERKUNG 1 Die nachteiligen Auswirkungen eines Tragwerks auf seine Umwelt, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft können z. B. durch entsprechend ausgewählte Konstruktionsprozesse und umweltverträgliche Baustoffe, einschließlich deren Herstellung, Entwurfslösungen, Dauerhaftigkeit, Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit, auf ein Mindestmaß verringert werden.

ANMERKUNG 2 Ergänzende Anforderungen zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit im Entwurf können im Nationalen Anhang angegeben werden.

Im Zuge einer Anfrage des Normenausschusses NA 005-51-01 AA (EN 1990) an die zuständigen Ausschüsse für die bauartbezogenen Eurocodes hinsichtlich der zu regelnden Schnittstellen in DIN EN 1990/NA wurde über den Normenausschuss NA 005-07-01 AA (EN 1992-1-1) eine Stellungnahme bezüglich des Erfordernisses einer Präzisierung des Abschnittes 4.7 in EN 1990 durch den Nationalen Anhang eingebbracht:

„Die Anmerkungen in Abschnitt 4.7 stellen Öffnungsmöglichkeiten dar, die in DIN EN 1990/NA bauartübergreifend so konkretisiert werden müssen, dass in den Nationalen Anhängen (und ggf.

auch in nationalen Ausführungs- und Baustoffnormen) für die verschiedenen Bauarten konsekutive nationale Ergänzungen und Konkretisierungen möglich werden. Diese Konkretisierung ist insbesondere für die folgenden Punkte vorzunehmen:

- nachteilige Auswirkungen eines Tragwerks auf seine Umwelt
- Konstruktionsprozesse und Entwurfslösungen
- umweltverträgliche Baustoffe, einschließlich deren Herstellung
- Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit“

Folgende Ergänzung für die Formulierung des Nationalen Anhangs zu EN 1990 hinsichtlich des Abschnittes 4.7 „Nachhaltigkeit“ wurde bisher im zuständigen Gremium des NABau im DIN vereinbart:

DIN EN 1990/NA: NDP zu 4.7, Anmerkung 2:

Ergänzende Anforderungen zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit werden nicht angegeben. Hinweise können in den bauartbezogenen Nationalen Anhängen der Eurocodes oder in den darin referenzierten Ausführungsregeln enthalten sein.

Dieser Inhalt stellt allerdings ein absolutes Mindestmaß dar und hält die Möglichkeit offen, in den bauartbezogenen Nationalen Anhängen konkretere Regelungen einzubringen.

Bestandteil zukünftiger Regelungen könnte eine Nachweisführungsmöglichkeit sein. Dazu könnten in einem fortgeschriebenen Nationalen Anhang zu DIN EN 1990 zunächst allgemeine Vorgehensweisen und zudem in den bauartbezogenen Nationalen Anhängen zu den übrigen Eurocodes die konkreten Maßnahmen beschrieben werden.

Ein Vorschlag für einen möglichen Inhalt des zukünftigen DIN EN 1990/NA ist im Folgenden dargestellt (Änderungen gegenüber EN 1990, Abschnitt 4.7 sind *kursiv* dargestellt):

DIN EN 1990/NA, Abschnitt 4.7

(1) Das Tragwerk *ist so zu entwerfen und zu bemessen*, dass seine nachteiligen Auswirkungen auf das Klima, auf die Umweltressourcen, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft während seines gesamten Lebenszyklus begrenzt werden, wie von der zuständigen Behörde festgelegt, oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, wie für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart.

ANMERKUNG 1 Die nachteiligen Auswirkungen eines Tragwerks auf seine Umwelt, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft können z. B. durch entsprechend ausgewählte Konstruktionsprozesse und umweltverträgliche Baustoffe, einschließlich deren Herstellung, Entwurfslösungen, Dauerhaftigkeit, Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit, auf ein Mindestmaß verringert werden.

ANMERKUNG 2 Ergänzende Anforderungen zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit im Entwurf können im Nationalen Anhang angegeben werden.

NCCI zu 4.7

(NA.1) Zur Umsetzung von (1) ist mindestens eine der folgenden drei Vorgehensweisen festzulegen:

Vorgehensweise 1: Nachweis über die Einhaltung grundlegender Konstruktionsregeln
Vorgehensweise 2: Auswahl einer Dekarbonisierungsstufe und Umsetzung der damit verknüpften Maßnahmen

Vorgehensweise 3: Nachweis über eine Ökobilanz nach EN 15978 gegen relative oder absolute Grenzwerte

ANMERKUNG Die entsprechend der festgesetzten Vorgehensweise zu beachtenden Regelungen können in den bauartbezogenen Nationalen Anhängen enthalten sein. Die Verknüpfung mit 4.7 (1) zeigt Bild 1.

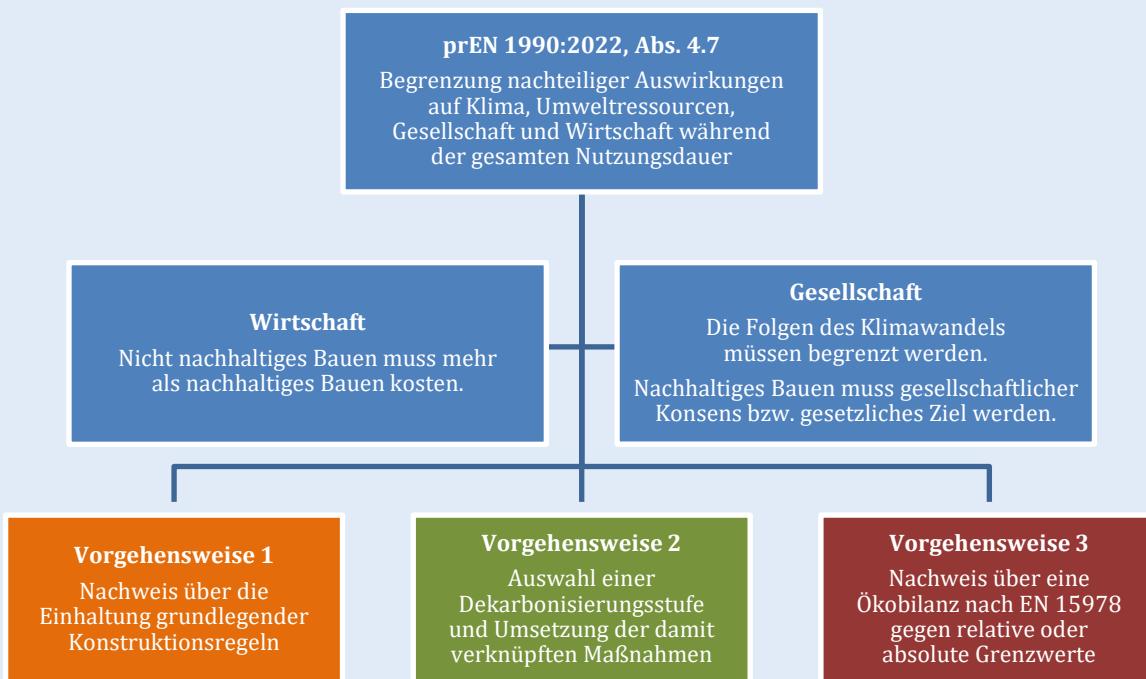


Bild 1: Ableitung der Vorgehensweisen aus den grundlegenden Regelungen zur Nachhaltigkeit

(NA.2) Zur Umsetzung von Vorgehensweise 1 können sich die notwendigen Maßnahmen erstrecken auf:

- Konstruktionsprozesse und Entwurfslösungen,
- umweltverträgliche Baustoffe einschließlich deren Herstellung,
- Dauerhaftigkeit – beispielsweise durch eine lebensdauerbezogene Dauerhaftigkeitsbemessung,
- Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit – beispielsweise Verwendung rezyklierter Materialien oder wiederverwendeter Bauteile.

ANMERKUNG Die Auswirkungen auf die Gesellschaft können durch einen CO₂-Schattenpreis abgebildet werden, siehe bspw. CO₂-Schattenpreis-Verordnung – CO₂-SP-VO des Landes Baden-Württemberg.

(NA.3) Zur Umsetzung der Vorgehensweise 2 sollte in den Nationalen Anhängen zu den verschiedenen Bauarten (DIN EN 1992/NA, DIN EN 1993/NA, DIN EN 1994/NA usw.) jeweils ein Konzept von Dekarbonisierungsstufen für das Tragwerk eingeführt werden, das dem nachfolgenden Muster in Bild 2 folgen darf.

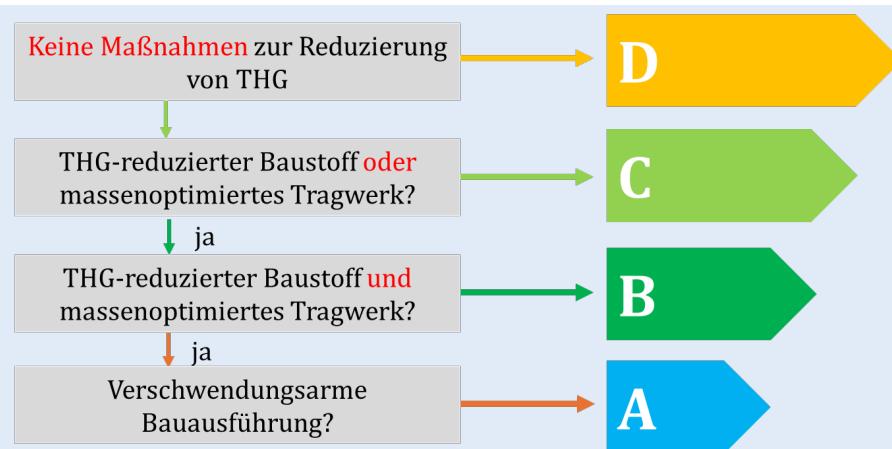


Bild 2: Mögliche vereinfachte Grundstruktur für Dekarbonisierungsstufen

(NA.4) Die Dekarbonisierungsstufen sollten von der geringsten THG-Reduzierung (Stufen E oder D) bis zur höchsten THG-Reduzierung (Stufe A) abgestuft sein. Sofern für den Baustoff eine Abscheidetechnologie oder andere wirkungsgleiche Maßnahmen THG-Reduzierungen nahe netto Null ermöglichen, darf auch die Dekarbonisierungsstufe NZ verwendet werden.

(NA.5) Zu jeder verwendeten Dekarbonisierungsstufe ist dann im Nationalen Anhang festzulegen, welche Kombination von THG-reduziertem (klimafreundlichem) Baustoff, massenoptimierter Tragstruktur und weiteren Maßnahmen maßgeblich sind.

ANMERKUNG Hinweise zu möglichen Einstufungen klimafreundlicher Baustoffe enthält das Konzept des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) „Leitmärkte für klimafreundliche Grundstoffe“.

(NA.6) Bei Vorgehensweise 3 ist der Nachweis über eine Ökobilanz nach EN 15978 gegen relative oder absolute Grenzwerte zu führen. Für die ökobilanzielle Nachweisführung sind zwischen den beteiligten Parteien insbesondere die folgenden Parameter festzulegen:

- Auszuwertende Lebenszyklusphasen (z.B. Wiege bis Werkstor, Wiege bis Bahre oder Wiege bis Wiege)
- Bezugsperspektiven (BGF, BRI, per Capita, Kubikmeter oder Tonne Material, ...)
- Projektbezogene Zielerreichungsgrade (Grenzwerte oder Benchmarks)
- Datenherkunft, Datenqualität (bspw. Umweltproduktdeklaration (EPD) gemäß DIN EN 15804:2020-03) und Datensatztypen (spezifisch, durchschnitt, repräsentativ oder generisch)
- Nachweis und Dokumentation von Berechnungsdaten
- Art und Umfang der Dokumentation für die Nachweisführung.

ANMERKUNG In Bezug auf die Auswirkungen von Gebäuden in deren Lebenszyklus kann der Rechtsrahmen der Europäischen Union sowie die darauf basierende nationale Gesetzgebung weitere Hinweise geben. Gemäß Artikel 7 (5) der Richtlinie (EU) 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EU-Gebäuderichtlinie) werden die Mitgliedstaaten bis zum 1. Januar 2027 einen Fahrplan veröffentlichen, in dem die Einführung von Grenzwerten für das gesamte kumulative Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzial aller neuen Gebäude im Einzelnen dargelegt wird und Zielvorgaben für neue Gebäude ab 2030 festgelegt werden, wobei ein schrittweiser Abwärtstrend sowie maximale Grenzwerte berücksichtigt werden, die nach unterschiedlichen Klimazonen und Gebäudetypologien aufgeführt sind, und sie übermitteln diesen Fahrplan der Kommission. Diese maximalen Grenzwerte müssen gemäß Richtlinie im Einklang mit den Zielen der Union, die Klimaneutralität zu erreichen, stehen.

Empfehlung für die Bauaufsicht:

Die Bauaufsicht sollte den vorgeschlagenen Text in die Beratungen der zuständigen Gremien des NABau im DIN einbringen und dort für eine Umsetzung im (fortgeschriebenen) Nationalen Anhang zu DIN EN 1990 eintreten.

7.3.2 DIN EN 1991/NA

In Kapitel 6.2.1. dieses Dokumentes werden bereits Beispiele gegeben, wie eine Reduktion des Sicherheitskonzeptes auch am Beispiel anderer Länder aussehen kann. Des Weiteren werden Ergebnisse realitätsnaher Simulationen von Verkehrslastannahmen für Kategorie B1 (Büroflächen) und Kategorie C1 (Versammlungsräume, Flächen mit Tischen) gezeigt [32]. Unrealistisch hohe Lastannahmen führen zu großen statisch erforderlichen Bauteildimensionen und somit zu höheren Baustoffmengen. Eine Voraussetzung, um aktiv Klimaschutz zu betreiben, ist die Vereinbarung angemessener und moderater Lastannahmen für Ausbau- und Nutzlasten, siehe hierzu auch [76].

Ein Vorschlag für mögliche Änderungen der lotrechten Nutzlasten gemäß Tabelle 6.1 in DIN EN 1991-1-1/NA ist im Folgenden dargestellt (Änderungsvorschläge sind rot dargestellt):

Tabelle 6.1DE – Lotrechte Nutzlasten auf Decken, Treppen und Balkone:

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile	Kategorie	Nutzung	Beispiele	q_k kN/m ²	ϱ_k^e kN
1	A	A1 Spitzböden	Für Wohnzwecke nicht geeigneter, aber zugänglicher Dachraum bis 1,80 m lichter Höhe	1,0	1,0
2		A2 Wohn- und Aufenthaltsräume	Decken mit ausreichender Querverteilung der Lasten, Räume und Flure in Wohngebäuden, Bettenräume in Krankenhäusern, Hotelzimmer einschl. zugehöriger Küchen und Bäder	1,5	—
3		A3	wie A2, aber ohne ausreichende Querverteilung der Lasten	2,0 ^c	1,0
4	B	B1	Flure in Bürogebäuden, Büroflächen, Arztpraxen ohne schweres Gerät , Stationsräume, Aufenthaltsräume einschl. der Flure, Kleinviehställe	2,0	2,0
5		B2	Flure und Küchen in Krankenhäusern, Hotels, Altenheimen, Flure in Internaten usw.; Behandlungsräume in Krankenhäusern , einschl. Operationsräume ohne schweres Gerät; Kellerräume in Wohngebäuden	3,0	3,0
6		B3	Alle Beispiele von B1 u. B2, jedoch mit schwerem Gerät	5,0	4,0
7	C	C1	Flächen mit Tischen; z. B. Kindertagesstätten, Kinderkrippen , Schulräume, Cafés, Restaurants, Speisesäle, Leseräume, Empfangsräume, Lehrerzimmer	3,0 2,0	4,0
8		C2	Flächen mit fester Bestuhlung; z. B. Flächen in Kirchen, Theatern oder Kinos, Kongresssäle, Hörsäle, Wartesäle	4,0 3,0	4,0
9		C3	Frei begehbarer Flächen; z. B. Museumsflächen, Ausstellungsflächen, Eingangsbereiche in öffentlichen Gebäuden, Hotels, nicht befahrbare Hofkellerdecken, sowie die zur Nutzungskategorie C1 bis C3 gehörigen Flure	5,0	4,0
10		C4	Sport- und Spielflächen; z. B. Tanzsäle, Sporthallen, Gymnastik- und Kraftsporträume, Bühnen	5,0	7,0
			Flächen für große Menschenansammlungen; z. B. in		

Aus [32] wird ersichtlich, dass bei Flächen mit Möblierung, wie Tischen oder auch fester Bestuhlung, die Kapazität nur bis zu einem gewissen Grad überschritten werden kann. Zum Beispiel ist eine Kapazitätsüberschreitung von 130 % in dem genutzten Raum der Studie geometrisch nicht möglich (max. Flächenlast = 1,18 kN/m²). Aus diesem Grund ist die vorgeschlagene Reduktion der Flächenlasten für die Kategorie C1 und C2 vorstellbar. Im zweiten Teil der Studie wurde der Versuchsräum ohne Mobiliar mit Menschen gefüllt. Es fällt auf, dass Verkehrslasten von 1,4 kN/m² bis 5,5 kN/m² simulierbar sind. Eine Flächenlast von 2,3 kN/m² ist in Flurbereichen durchaus vorstellbar, wenn dort eine große Anzahl an Personen warten sollte. Somit ist aus Sicht der Forscher von einer Reduktion der B1-Kategorie unter 2 kN/m² eher abzusehen.

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass die Auswirkung auf die Reduktion von statisch erforderlichen Bauteilgeometrien bei der Reduktion der Lastannahmen nach Kategorie C1 und C2 eher moderat ausfallen und in der Kategorie B1 nicht möglich sind.

Gerne werden auch von Bauherren in Baubeschreibungen oder Ausschreibungen höhere Lastannahmen als nach DIN EN 1991-1-1/NA (Tabelle 6.1) gefordert. Grund dafür können gewünschte Flexibilität oder auch höhere Sicherheiten sein. Dies ist aus Gründen der Nachhaltigkeit/des Klimaschutzes zu vermeiden.

Neben den Auswirkungen auf den Klimaschutz spielt dieser Eurocode eine entscheidende Rolle bei der Berücksichtigung von Klimawandelfolgen. Dies sollte in einem Folgeforschungsprojekt behandelt werden.

7.3.3 DIN EN 1992/NA

EN 1992-1-1 enthält bisher noch keine direkten Regelungen hinsichtlich der Nachhaltigkeit. Im Nationalen Anhang zu EN 1992-1-1 ist daher in Kapitel 4 „Grundlagen der Tragwerksplanung“ ein Abschnitt 4.6 „Nachhaltigkeit“ zu ergänzen:

NA.4.6 Nachhaltiges Bauen mit Beton

(NA.1) Betontragwerke müssen so entworfen und bemessen sein, dass die nachteiligen Auswirkungen auf das Klima, auf die Umweltressourcen, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft während ihres gesamten Lebenszyklus begrenzt werden. Dazu notwendige Maßnahmen legen die an einem bestimmten Bauvorhaben beteiligten Parteien fest.

ANMERKUNG 1: Die Festlegung der notwendigen Maßnahmen kann sich erstrecken auf:

- Konstruktionsprozesse und Entwurfslösungen – beispielsweise gemäß der Planungshilfe des DAStb,
- umweltverträgliche Baustoffe einschließlich deren Herstellung – beispielsweise gemäß dem CO₂-Modul im Zertifizierungssystem des Concrete Sustainability Council (CSC-Level für Beton),
- Dauerhaftigkeit – beispielsweise durch eine lebensdauerbezogene Dauerhaftigkeitsbemessung gemäß fib Model Code 2020,
- Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit – beispielsweise Verwendung rezyklierter Gesteinskörnung gemäß der DAStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit recycelten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100“.

ANMERKUNG 2: Die Auswirkungen auf die Gesellschaft können durch einen CO₂-Schattenpreis abgebildet werden, siehe bspw. CO₂-Schattenpreis-Verordnung – CO₂-SP-VO des Landes Baden-Württemberg.

ANMERKUNG 3: In Bezug auf die Auswirkungen von Gebäuden in deren Lebenszyklus kann der Rechtsrahmen der Europäischen Union sowie die darauf basierende nationale Gesetzgebung weitere Hinweise geben. Gemäß der Richtlinie (EU) 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EU-Gebäuderichtlinie) werden die Mitgliedstaaten bis zum 1. Januar 2027 einen Fahrplan veröffentlichen, in dem die Einführung von Grenzwerten für das gesamte kumulative Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzial aller neuen Gebäude im Einzelnen dargelegt wird und Zielvorgaben für neue Gebäude ab 2030 festgelegt werden, wobei ein schrittweiser Abwärtstrend sowie maximale Grenzwerte berücksichtigt werden, die nach unterschiedlichen Klimazonen und Gebäudetypologien aufgeführt sind, und sie übermitteln diesen Fahrplan der Kommission. Diese maximalen Grenzwerte müssen gemäß Richtlinie im Einklang mit den Zielen der Union, die Klimaneutralität zu erreichen, stehen.

(NA.2) Sollen Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen bzw. Lebenszyklus-Treibhausgaspotenziale in die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken einbezogen werden, können verschiedene Vorgehensweisen angewendet werden.

ANMERKUNG 4: In der DAfStb-Richtlinie Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton – Teil 1: Grundlagen und Nachweis am gesamten Tragwerk werden grundsätzlich folgende Vorgehensweisen genannt:

- Beachtung von grundlegenden Konstruktionsprinzipien,
- Auswahl einer Dekarbonisierungsstufe und Umsetzung von damit verknüpften Maßnahmen,
- Ökobilanzielle Darstellung und Nachweisführung gegen Treibhausgas-Minderungsklassen als festzulegende Grenzwerte.

Hinweise zu grundlegenden Konstruktionsprinzipien enthält das DBV-Heft 50, Band 2.

(NA.3) Sofern als Vorgehensweise eine ökobilanzielle Darstellung und Nachweisführung gegen Treibhausgas-Minderungsklassen als festzulegende Grenzwerte festgelegt wurde, sollte die DAfStb-Richtlinie Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton – Teil 1: Grundlagen und Nachweis am gesamten Tragwerk angewendet werden.

7.3.4 DIN EN 1993/NA

Im nationalen Anhang sollten folgende, speziell für den Stahlbau geltenden, Maßnahmen aufgeführt werden.

NA.X.X Nachhaltiges Bauen mit Stahl

(NA.1) Stahltragwerke müssen so entworfen und bemessen sein, dass die nachteiligen Auswirkungen auf das Klima, auf die Umweltressourcen, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft während ihres gesamten Lebenszyklus begrenzt werden. Dazu notwendige Maßnahmen legen die an einem bestimmten Bauvorhaben beteiligten Parteien fest.

ANMERKUNG 1: Die Festlegung der notwendigen Maßnahmen kann sich erstrecken auf:

- Konstruktionsprozesse und Entwurfslösungen
- umweltverträgliche Baustoffe einschließlich deren Herstellung – beispielsweise gemäß dem Low Emissions Steel Standard der Wirtschaftsvereinigung Stahl (LESS),
- Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit – beispielsweise gemäß DIN CEN/TS 1090-201:2025-01 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Wiederverwendung von tragenden Stahlbauteilen“

ANMERKUNG 2: Die Auswirkungen auf die Gesellschaft können durch einen CO₂-Schattenpreis abgebildet werden, siehe [20].

ANMERKUNG 3: In Bezug auf die Auswirkungen von Gebäuden in deren Lebenszyklus kann der Rechtsrahmen der Europäischen Union sowie die darauf basierende nationale Gesetzgebung weitere Hinweise geben. Gemäß der Richtlinie (EU) 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EU-Gebäuderichtlinie) werden die Mitgliedstaaten bis zum 1. Januar 2027 einen Fahrplan veröffentlichen, in dem die Einführung von Grenzwerten für das gesamte kumulative Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzial aller neuen Gebäude im Einzelnen dargelegt wird und Zielvorgaben für neue Gebäude ab 2030 festgelegt werden, wobei ein schrittweiser Abwärtstrend sowie maximale Grenzwerte berücksichtigt werden, die nach unterschiedlichen Klimazonen und Gebäudetypologien aufgeführt sind, und sie übermitteln diesen Fahrplan der Kommission. Diese maximalen Grenzwerte müssen gemäß Richtlinie im Einklang mit den Zielen der Union, die Klimaneutralität zu erreichen, stehen.

(NA.2) Für die Berücksichtigung von Reduktionszielen für Treibhausgasemissionen bzw. Lebenszyklus-Treibhausgaspotenziale bei der Bemessung und Konstruktion von Tragwerken können verschiedene Vorgehensweisen angewendet werden.

ANMERKUNG 4: Es werden grundsätzlich folgende Vorgehensweisen genannt:

- Beachtung von grundlegenden Konstruktionsprinzipien,
- Auswahl einer Dekarbonisierungsstufe und Umsetzung von damit verknüpften Maßnahmen,
- Ökobilanzielle Darstellung und Nachweisführung gegen Treibhausgas-Minderungsklassen als festzulegende Grenzwerte.

7.3.5 DIN EN 1995/NA

Im nationalen Anhang sollten folgende, speziell für den Holzbau geltenden Maßnahmen aufgeführt werden:

NA.X.X Nachhaltiges Bauen mit Holzwerkstoffen

(NA.1) Tragwerke aus Holzwerkstoffen müssen so entworfen und bemessen sein, dass die nachteiligen Auswirkungen auf das Klima, auf die Umweltressourcen, auf die Gesellschaft und auf die Wirtschaft während ihres gesamten Lebenszyklus begrenzt werden. Dazu notwendige Maßnahmen legen die an einem bestimmten Bauvorhaben beteiligten Parteien fest.

ANMERKUNG 1: Die Festlegung der notwendigen Maßnahmen kann sich erstrecken auf:

- Die Optimierung der Werkstoffauswahl hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das fossile Treibhausgaspotential und den Rohstoffeinsatz.
- Die Bemessung von Tragwerken unter Vermeidung konservativer Vereinfachungen, die sich nachteilig auf die Dimensionierung und den Ressourceneinsatz auswirken, sowie einen angemessenen Ansatz von Lastannahmen und Gebrauchstauglichkeitsanforderungen.
- Die materialgerechte Kombination von Primärtragwerken aus Holzwerkstoffen und holzfremden Ausbaustoffen für Bauteile in Holzbauweise, die als Gesamtbauteile die Funktionen Brandschutz, Schallschutz und Gebäudedämmung erfüllen.
- Die Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit von Altholzmaterialien.

ANMERKUNG 2: Die Auswirkungen auf die Gesellschaft können durch einen CO₂-Schattenpreis abgebildet werden, siehe bspw. CO₂-Schattenpreis-Verordnung – CO₂-SP-VO des Landes Baden-Württemberg.

ANMERKUNG 3: In Bezug auf die Auswirkungen von Gebäuden in deren Lebenszyklus kann der Rechtsrahmen der Europäischen Union sowie die darauf basierende nationale Gesetzgebung weitere Hinweise geben. Gemäß der Richtlinie (EU) 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EU-Gebäuderichtlinie) werden die Mitgliedstaaten bis zum 1. Januar 2027 einen Fahrplan veröffentlichen, in dem die Einführung von Grenzwerten für das gesamte kumulative Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzial aller neuen Gebäude im Einzelnen dargelegt wird und Zielvorgaben für neue Gebäude ab 2030 festgelegt werden, wobei ein schrittweiser Abwärtstrend sowie maximale Grenzwerte berücksichtigt werden, die nach unterschiedlichen Klimazonen und Gebäudetypologien aufgeführt sind, und sie übermitteln diesen Fahrplan der Kommission. Diese maximalen Grenzwerte müssen gemäß Richtlinie im Einklang mit den Zielen der Union, die Klimaneutralität zu erreichen, stehen.

(NA.2) Sollen Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen bzw. Lebenszyklus-Treibhausgaspotenziale in die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken einbezogen werden, können verschiedene Vorgehensweisen angewendet werden.

ANMERKUNG 4: Es werden grundsätzlich folgende Vorgehensweisen genannt:

- Beachtung von grundlegenden Konstruktionsprinzipien,
- Auswahl einer Dekarbonisierungsstufe und Umsetzung von damit verknüpften Maßnahmen,
- Ökobilanzielle Darstellung und Nachweisführung gegen Treibhausgas-Minderungsklassen als festzulegende Grenzwerte.

ANMERKUNG 5: Die Auswertung erfolgt anhand des fossilen Treibhausgaspotentials GWP-fossil [kg CO₂eq]. Sowohl das biogene Treibhauspotential (GWP-biogen [kg CO₂eq]) als auch der biogene Kohlenstoffgehalt („C-Speicher“ [kg C]) sollten nicht als Bewertungskriterien herangezogen, sondern lediglich informativ dargestellt werden. Bei der Bilanzierung fossiler und biogener Emissionen sollte grundsätzlich auf eine Zusammenrechnung verzichtet werden.

7.3.6 DIN EN 1996/NA

Im nationalen Anhang sollten folgende, speziell für das Mauerwerk geltenden Maßnahmen aufgeführt werden:

NA.X.X Nachhaltiges Bauen mit Mauerwerk

(NA.1) Mauerwerksbauteile sollten so entworfen, bemessen und ausgeführt sein, dass die nachteiligen Auswirkungen auf das Klima, die Umweltressourcen, die Gesellschaft und die Wirtschaft begrenzt werden. Die notwendigen Maßnahmen legen die an einem bestimmten Bauvorhaben beteiligten Parteien fest.

ANMERKUNG 1: Die Festlegung der notwendigen Maßnahmen kann sich erstrecken auf:

- Planungs-, Ausführungs- und Konstruktionsprozesse
(z. B. Optimierung des Nachweisalters von Mauermörteln oder der Dicke von Vorsatzschalen beim zweischaligen Mauerwerk)
- umweltverträgliche Baustoffe,
- Wiederverwertbarkeit und Wiederverwendbarkeit

ANMERKUNG 3: In Bezug auf die Auswirkungen von Gebäuden in ihrem Lebenszyklus kann der Rechtsrahmen der Europäischen Union sowie die darauf basierende nationale Gesetzgebung weitere Hinweise geben.

(NA.2) Die Reduktion von Treibhausgasemissionen bzw. Lebenszyklus-Treibhausgaspotenziale sollte beim Entwurf und der Konstruktion von Tragwerken berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 4: Hierzu gehören beispielsweise:

- Beachtung von grundlegenden Konstruktionsprinzipien,
- ökobilanzielle Darstellung

7.3.7 DIN EN 1997/NA

In den aktuellen Normenentwürfen zum Eurocode 7 (FrPEN 1997-1 bis 3) ist an verschiedenen Stellen der Begriff „Nachhaltigkeit“ verortet worden. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Nachhaltigkeit in der Geotechnischen Normung mit den Normenentwürfen erstmals eingeführt wird, vgl. „Europäisches Vorwort“ zum FrPEN 1997-1: „... robustness, durability and sustainability have been introduced as new topics (Clause 4); ...“. Dieser Umstand spiegelt deutlich wider, dass ein Nachdenken über die Auswirkungen der Baupraxis in der Geotechnik bisher keine Rolle gespielt hat. Hintergrund war hier insbesondere der Standpunkt, dass die Gründung von Bauwerken im Gesamtkontext des Bauens als alternativlos angesehen wird und zugleich die prinzipielle Entscheidung zur Errichtung eines Bauwerks die größte Auswirkung hinsichtlich der Nachhaltigkeit hat. Im Umkehrschluss wurde damit die Verantwortung der übergeordneten Planung zugewiesen.

Im Detail ist an folgenden Stellen / Abschnitten in der FprEN 1997-1 der Begriff Nachhaltigkeit erläutert oder es werden Hinweise zum Umgang mit dem Thema gegeben:

- 3.1.6.1 „Zone of influence“
Begriffsdefinition der Einflusszone einer Gründung oder geotechnischen Maßnahme, in der der Begriff Nachhaltigkeit als ein Kriterium der Dimensionsbestimmung verwendet wird.
- 4.1.7 „Sustainability“
Der Abschnitt fasst die Verortung des Begriffs im Zusammenhang der geotechnischen Bemessung zusammen und liefert bereits wichtige Impulse des klimaverträglichen Bauens in der Geotechnik:
(3) Mögliche Strategien für die Gestaltung geotechnischer Bauwerke im Hinblick auf eine verbesserte Nachhaltigkeit sollten Folgendes umfassen:
 - Optimierung der Menge der verwendeten Materialien;
 - die Verwendung von erneuerbaren Materialien;
 - Einbeziehung von geothermischen Elementen in die geotechnische Struktur;
 - Wiederverwendung von Strukturelementen;
 - Wiederverwendung von Aushubmaterial auf der Baustelle;
 - Berücksichtigung des Kohlenstoff-Fußabdrucks der verwendeten Materialien und des angewandten Bauverfahrens; und
 - Beschränkung der Verwendung von Baumaterialien, die während der Ausführung oder während der geplanten Nutzungsdauer der Bauwerke zu Umweltverschmutzung führen können. (Übersetzt mit DeepL.com (kostenlose Version))
- Annex B „Contents of reports“; B.4 “Geotechnical Design Report”
Die Nachhaltigkeit wird kurz als ein zu bewertendes Kriterium benannt.

In den FprEN 1997-2 und -3 sind keine weiteren Hinweise zur Nachhaltigkeit enthalten.

Im Vergleich zu den i. W. materialspezifischen Eurocodes 1 bis 6 nimmt der EC 7 eine Sonderrolle ein, da Baugrund meistens kein konfektioniert erstelltes Material ist, sondern wesentlich durch seine geologisch bedingte Genese geprägt wird. Zugleich werden Locker- und Festgesteine als grundlegende Materialien für Erdbauwerke gewonnen und genutzt, wobei die Klassifizierung / Klassierung und Konfektionierung Einfluss auf die Verwendung haben. Selbstverständlich werden auch im Zusammenhang mit geotechnischen Bauwerken Konstruktionen bemessen und erstellt, die auf Materialien der genannten Eurocodes 1 bis 6 zurückgreifen.

Im Zusammenhang mit der aktuellen Erstellung der deutschen Fassungen der FprEN 1997-1 bis -3 ist vorgesehen in den informativen Anhängen Empfehlungen zum Umgang und der Handhabung bei der Thematik Nachhaltigkeit zu geben. Hauptsächlicher Fokus wird hierbei auf der inhaltlichen Struktur der Berichte liegen, in denen Empfehlungen zur weiteren Planung gegeben werden sollen. Weitere Hebel sind hierbei auch in den Themen Massen- und Baustoffoptimierungen gegeben.

7.4 Ökobilanzielle Darstellung und Nachweisführung (Vorgehensweise 3)

Eine ökobilanzielle Darstellung und Nachweisführung kann nach den Grundsätzen der DIN EN 15978 [15] erfolgen, in der für den Lebenszyklus von Gebäuden verschiedene Phasen von A bis D definiert sind, siehe **Bild 29**.

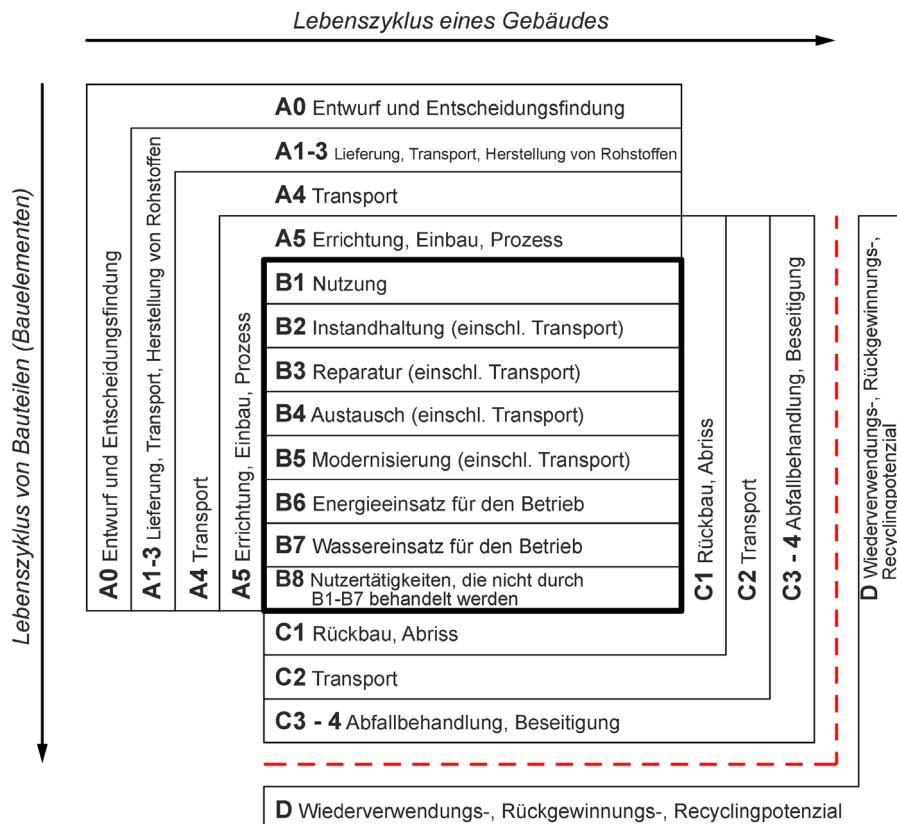


Bild 29: Modell des Lebenszyklus von Gebäuden und Bauteilkomponenten – Quelle: DIN EN 15978-1:2021-09

Zum Erreichen vergleichbarer Ergebnisse ökobilanzieller Darstellungen und Nachweisführungen ist es notwendig, bestimmte Parameter festzulegen, zu denen insbesondere die folgenden gehören:

- auszuwertende Lebenszyklusphasen (z.B. Wiege bis Werkstor, Wiege bis Bahre oder Wiege bis Wiege, siehe **Bild 30** und **Bild 31**)
- Bezugsperspektiven (BGF, NRF, BRI, per Capita, Kubikmeter oder Tonne Material, Nutzungsdauer, ...)
- projektbezogene Zielerreichungsgrade (Orientierungswerte oder Benchmarks)
- Datenherkunft, Datenqualität (bspw. Umweltproduktdeklaration (EPD) gemäß DIN EN 15804:2020-03) und Datensatztypen (spezifisch, durchschnitt, repräsentativ oder generisch)
- Nachweis und Dokumentation von Berechnungsdaten
- Art und Umfang der Dokumentation für die Nachweisführung
- ...

Die Einhaltung der festgelegten projektbezogenen Zielerreichungsgrade (Orientierungswerte oder Benchmarks) kann dann durch die ökobilanzielle Darstellung unter Berücksichtigung der festgelegten Parameter nachgewiesen werden.

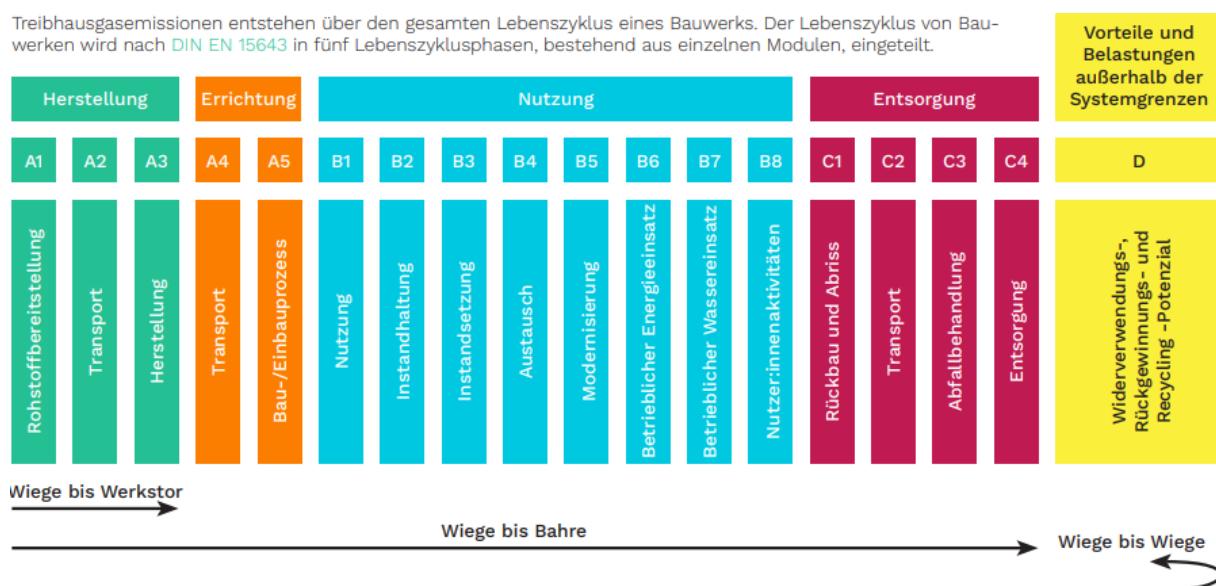
Ökobilanz-Datensätze für verschiedenste Bauprodukte stellt beispielsweise das Umweltbundesamt in der „Ökobaudat“ zur Verfügung. Zukünftig werden Datensätze auch

Gegenstand der Leistungs- und Konformitätserklärung im Sinne der EU-Bauproduktenverordnung [10] sein. Harmonisierte technische Spezifikationen und Europäische Bewertungsdokumente müssen insofern die folgenden vorab festgelegten wesentlichen Umweltmerkmale im Zusammenhang mit der Lebenszyklusbewertung eines Produkts erfassen:

- Auswirkungen auf den Klimawandel — insgesamt;
- Auswirkungen auf den Klimawandel — fossile Energieträger;
- Auswirkungen auf den Klimawandel — biogen;
- Auswirkungen auf den Klimawandel — Landnutzung und Landnutzungsänderung;

Sofern nicht anderweitig – bspw. in Gesetzen, in nachgesetzlichen Regelungen, in anderen einschlägigen Regelwerken oder im Vertrag – andere Grenzwerte festgelegt sind, können Orientierungswerte/Benchmarks zwischen den Parteien vereinbart werden.

Treibhausgasemissionen entstehen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Der Lebenszyklus von Bauwerken wird nach DIN EN 15643 in fünf Lebenszyklusphasen, bestehend aus einzelnen Modulen, eingeteilt.



- A1–A3** Enthält die Herstellung vom Rohstoffabbau bis zum fertigen Bauprodukt. In dieser Phase fallen für Bauwerke in der Regel die höchsten Umweltwirkungen an.
- A4** Enthält den Transport des Bauprodukts auf die Baustelle. Wenn Transportdistanz und Transportmittel bekannt sind, können die Auswirkungen dieses Moduls projektspezifisch berechnet werden.
- A5** Enthält die Errichtung auf der Baustelle mit Angaben zu Verpackungen und Materialverlusten. Werte für dieses Modul liegen oft nicht vor, weshalb es in der Regel vernachlässigt wird.
- B1–B7** Enthält die Auswirkungen in der Nutzungsphase eines Bauwerks. Für Bestandteile der Tragkonstruktion, welche in der Regel über die gesamte Nutzungsdauer eines Bauwerks nicht ausgetauscht werden, entstehen hier keine Auswirkungen. Besitzt ein Bauprodukt eine geringere Nutzungsdauer als das Bauwerk, entstehen im Modul B4 Umweltwirkungen für das Ersatzprodukt (A1–A5) und das ausgetauschte Produkt (C+D).
- C1–C4** Enthält das Lebenszyklusende eines Bauwerks. Vor allem bei der Abfallbehandlung (C3) können große Umweltwirkungen entstehen.
- D** Können Komponenten wiederverwendet, recycelt oder zur Energiegewinnung genutzt werden, entstehen in Modul D Gutschriften für das Bauprodukt. Modul D liegt außerhalb der Systemgrenzen. Modul D muss daher getrennt von den anderen Lebenszyklusphasen angegeben werden.

Bild 30: Lebenszyklusphasen für ökobilanzielle Darstellung und Nachweisführung, aus [68]

Nach DIN EN 15804 gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, welche Module in einer EPD enthalten sein müssen:

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D
Wiege bis Werktor mit C1–C4+D	P	P	P											P	P	P	P	P
Wiege bis Werktor mit Optionen C1–C4+D	P	P	P	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	P	P	P	P	P
Wiege bis Bahre	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Wiege bis Werktor*	P	P	P															
Wiege bis Werktor mit Optionen*	P	P	P	O	O									P				

* nur in Ausnahmefällen möglich

P Pflichtangabe
O Optionale Angabe

Wiege bis Werkstor →
Wiege bis Bahre →
Wiege bis Wiege ←

Abb. 2.3

Bild 31: Module für die Auswahl von Lebenszyklusphasen in einer EPD (aus [68])

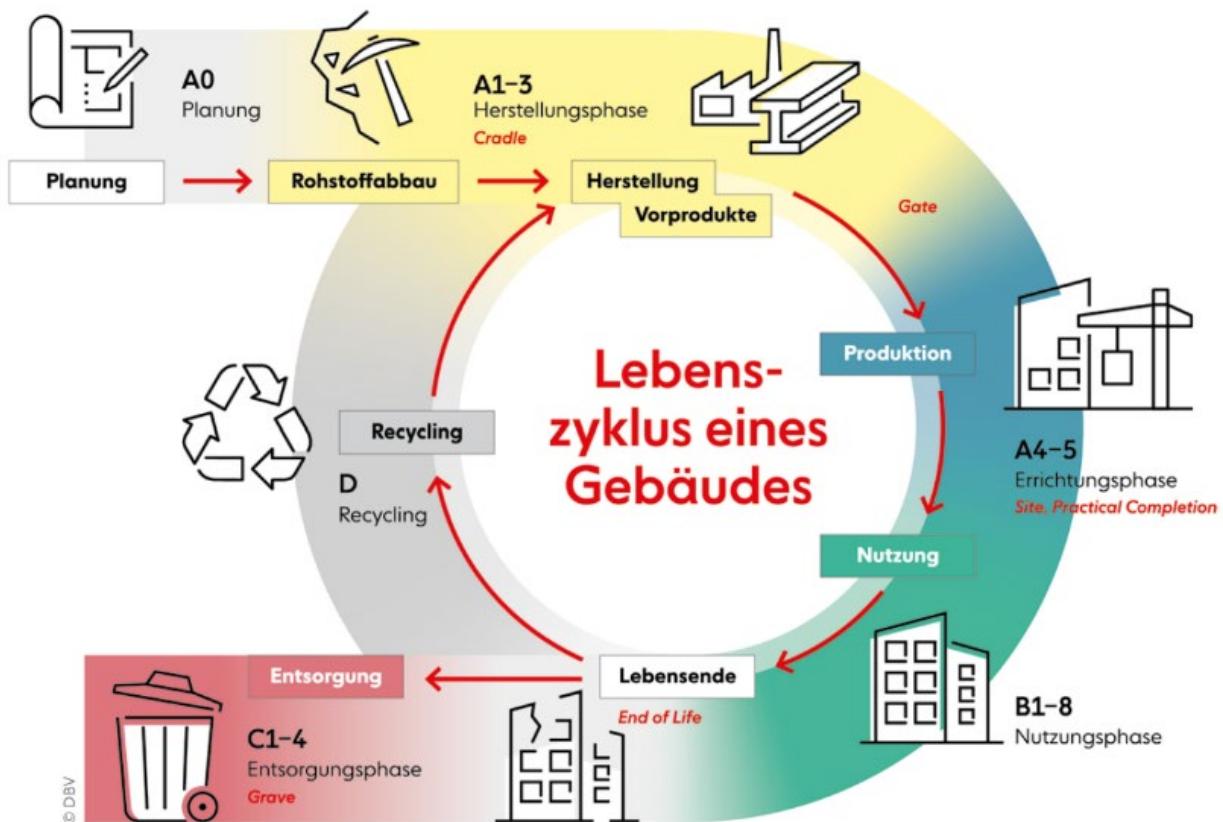


Bild 32: Anzeige modularer Informationen für die verschiedenen Phasen der Gebäudebewertung

Die im Bild 32 dargestellten Module A1-3 sind ein wichtiger Teil jeder Ökobilanzierung. C3 ist wichtig, wenn biogene Emissionen beim Baustoff Holz Berücksichtigung finden. C4 bezieht sich auf den Baustoff und kann bei der Berechnung von grauen Emissionen ebenfalls bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden. Die Module A4 - A5 und C1 - C2 betreffen Transportwege und Baustellenarbeiten. Diese sind durch die Objektbezogenheit in der

Planungsphase in der Regel nicht vorhersagbar. Die Nutzungsmodul B sind im Rahmen dieses Forschungsvorhabens von untergeordneter Bedeutung. Es wird davon ausgegangen, dass erneuerbare Energien, Geothermie und weitere Zukunftstechnologien mittel- bis langfristig dafür sorgen werden, dass der Primärenergieverbrauch keine Relevanz für entstehende Treibhausgasemissionen hat. Erforderliche Instandsetzungen oder Modernisierungen sind schwer vorhersehbar und können daher häufig nicht berücksichtigt werden. Das Modul D ist nicht Teil des Lebenszyklus des Gebäudes und wird daher nicht in die Bilanzierung einbezogen.

Weitere Grenzen müssen in der Ökobilanzierung hinsichtlich der berücksichtigten Bauwerksteile definiert werden. Betrachtet wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nur das Tragwerk. Ausbaugewerke wie Estriche, Putze oder Fenster, technische Anlagen wie Heizungen oder Klimaanlagen und vorbereitende Maßnahmen wie Forst- oder Erdarbeiten werden vernachlässigt. Zur besseren Abgrenzung von Bauwerksteilen und weiteren Arbeiten bieten sich die Kostengruppen nach DIN 276 an.

Werden in der Ökobilanzierung bestimmte Grenzen definiert, um die Klimaverträglichkeit beispielsweise eines Tragwerks oder eines Bauteils isoliert zu bewerten, können Wechselwirkungen die Übertragbarkeit auf die Gesamtbewertung erschweren:

- Beispiel 1: Eine Wand ist zur Verminderung der grauen Emissionen dünn und ohne Dämmung auszuführen, für die Verminderung des Primärenergiebedarfs während der Nutzung des Gebäudes ist sie jedoch dick und mit Dämmung auszuführen.
- Beispiel 2: Decken sollten zur Verminderung der grauen Emissionen geringe Spannweiten aufweisen. Damit das Gebäude flexibel zu nutzen ist und somit lange erhalten bleibt, sollten Spannweiten möglichst groß sein.
- Beispiel 3: Die statische Optimierung von Bauteilquerschnitten mit dem Ziel eines geringeren Materialeinsatzes beeinflusst die Nutzungsfähigkeit der Tragstruktur und vermindert die thermisch wirksame Speichermasse und den Schallschutz.

Die Beispiele zeigen, dass es sinnvoll ist, CO₂-Fußabdrücke unter Berücksichtigung aller Indikatoren während des gesamten Lebensweges zu begrenzen. Für die Annäherung an dieses Ziel und zur Herausarbeitung von Stellhebeln für einzelne Projektbeteiligte müssen Teile allerdings auch isoliert betrachtet werden. Mögliche negative Folgen einzelner Maßnahmen sind objektspezifisch zu beurteilen und gegebenenfalls zu vermeiden.

Je weiter ein Bauprozess vorangeschritten ist, desto genauer wird auch die Ökobilanzierung. Zum Einsatz kommende Produkte, Transportwege und Baustellenbedingungen werden zunehmend konkreter. In der Planungsphase können daher nur Annahmen für fehlende Informationen getroffen werden. Alternativ werden diese nicht berücksichtigt. Das ausführende Unternehmen hat die Einhaltung der in der Planung festgelegten Grenzen sicherzustellen oder es werden nur die bilanzierten Systemgrenzen verglichen.

Für ein einheitliches Vorgehen bei der Aufstellung von Ökobilanzen ist es nicht zuletzt für die Vergleichbarkeit von Berechnungsergebnissen unerlässlich, eine Festlegung verbindlich anzuwendender Rahmenbedingungen vorzunehmen. Es darf nicht der willkürlichen Entscheidung überlassen bleiben, auf welcher Datengrundlage eine Ökobilanz erstellt wird. Diese Festlegung kann auf folgenden Wegen erfolgen:

- per Gesetzgebung
- durch nachgesetzliche Regelungen
- durch Vertrag

Empfehlung für die Bauaufsicht:

Es wird empfohlen die Rahmenbedingungen der Ökobilanzierung durch nachgesetzliche Regelungen festzulegen.

7.5 Umweltproduktdeklarationen

Die EPD (engl. Environmental Product Declaration), geregelt in DIN EN 15804 [65], beinhaltet baustoff- oder bauteilbezogene Werte für die Belastungen der Umwelt. DIN EN 15804 unterteilt GWP-gesamt in die Kategorien GWP-fossil, GWP-biogen und GWP-luluc. GWP-fossil beschreibt die Abgabe von fossilen Stoffen in die Atmosphäre durch zum Beispiel Verbrennung, Lagerung oder chemische Reaktionen. GWP-biogen beinhaltet Kohlenstoff, der aus Biomasse in den Baustoff geht und der Atmosphäre somit CO₂ entzieht und in Gebäuden speichert. Ausgenommen ist hier Biomasse aus natürlichen Wäldern. GWP-biogen beinhaltet allerdings auch den Kohlenstoff, der am Ende des Lebenszyklus des Gebäudes wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. GWP-luluc berücksichtigt Treibhausgasemissionen infolge der Landnutzung und Landnutzungsänderung.

Grundlage für die Regelungen in den nationalen Anhängen für die Eurocodes sind ökobilanzielle Betrachtungen, welche auf der Auswertung des Treibhauspotentials (GWP) für die jeweilige Konstruktion aufbaut. Beim Treibhauspotenzial werden alle Treibhausgase in eine wirkungsgleiche (äquivalente) Masse an CO₂ überführt und entsprechend in „kg CO₂eq“ angegeben. Das GWP beschreibt also den jeweiligen Beitrag eines Gases zum Treibhauseffekt im Vergleich zu Kohlendioxid. Die Angabe kann für die jeweiligen Bauprodukte und Baustoffe in Umweltproduktdeklarationen (EPD) als generischer, repräsentativer, durchschnittlicher oder spezifischer Datensatz erfolgen.

Die Umweltproduktdeklarationen folgen im Allgemeinen der EN 15804. Die Ausgabe EN 15804 + A2 [65] wurde im Oktober 2019 veröffentlicht. Die Übergangsfrist zur Anwendung der bisherigen EN 15804 + A1 [69] lief zum Oktober 2022 ab. Die nach EN 15804 + A1 veröffentlichten Umweltproduktdeklarationen bleiben bis zum Ablauf ihrer Laufzeit von maximal fünf Jahren weiterhin gültig, sodass bis spätestens Oktober 2027 noch zwei Arten von Umweltproduktdeklarationen verfügbar sein werden.

Inhaltlich brachte die neue Ausgabe zwei wichtige Änderungen mit sich:

- Zum einen sind nunmehr für fast alle Bauprodukte Angaben zu den Umweltbelastungen bis zum Lebensende verpflichtend. Das bedeutet, dass Prozesse beim Rückbau, der Entsorgung oder einer möglichen Weiterverwendung berücksichtigt werden müssen.
- Zum anderen wurde die sog. Wirkungsabschätzung, d. h. die Zusammenfassung von Umweltwirkungen und Ressourcenverbrauch in wenigen Kennzahlen, neu aufgestellt. Hier wurden einerseits einige neue und z. T. optionale Indikatoren eingeführt, andererseits werden bei einigen der bestehenden Indikatoren die verwendeten Berechnungen neu definiert. Die Änderungen reichen dabei von kleineren Anpassungen an neuere Erkenntnisse, bis hin zum Aufsplitten eines bestehenden Indikators unter gleichzeitiger Einführung vollkommen neuer Modelle zur Berechnung der Umweltwirkung. Letzteres führt dazu, dass die Ergebnisse von Umweltproduktdeklarationen nach EN 15804 + A1 mit denen nach EN 15804 + A2 nicht mehr miteinander verglichen oder gemeinsam verwendet werden dürfen.

Mit Umsetzung der neuen Bauproduktenverordnung (BauPVO) [10] wird das GWP zukünftig von der EPD in die DoPC (Declaration of performance and conformity) überführt und ein neues Überwachungssystem AVS 3+ (Assessment and Verification System) eingeführt. Damit wird zukünftig die Datenqualität des GWP verstärkt kontrolliert und präzisiert. Hersteller von Bauprodukten müssen dies sicherstellen, um eine CE-Kennzeichnung ihrer Bauprodukte zu erlangen und ihre Produkte europaweit handeln zu dürfen. Für Beton, für den es derzeit keine CE-Kennzeichnung und somit auch keine DoPC gibt, muss die Angabe des GWP gesondert geklärt werden.

Umweltproduktdeklarationen müssen in Zukunft fortlaufend verbessert und angepasst werden. Für die zukünftige praxisgerechte Anwendung können Baustoffverbände GWPs vorgeben und somit einen einheitlichen Stand anbieten, der Wettbewerbsnachteile vermeidet. Dabei sollte eine Abstufung in Form von am Markt verfügbaren Baustoffen mit niedrigem GWP erfolgen. Der Betonbau ermöglicht dies bereits beim CSC (Concrete Sustainability Council) und der Stahlbau durch Einstufung in ein Low Emission Steel Standard (LESS). Es ist absehbar, dass in Zukunft erneuerbare Energien sukzessive zunehmen und somit Hintergrunddaten für EPDs fortlaufend angepasst werden müssen.

Empfehlung für die Bauaufsicht:

Empfohlen wird, dass die Bauaufsicht in den entsprechenden Normungsgremien darauf hinwirkt, dass für die Ökobilanzierung die standardisierte Verwendung von Umweltproduktdeklarationen (EPDs) verbindlich festgelegt wird. Eine denkbare Vereinheitlichung wäre die ausschließliche Bilanzierung von GWP-fossil⁶.

⁶ Die Empfehlung, auf die Zusammenrechnung von fossilen und biogenen Emissionen zu verzichten, wird in Kapitel 6.2.4 gegeben und in der ausführlichen Zuarbeit der PRB-Projektgruppe 4 (Holzbau) zum Forschungsvorhaben genauer begründet. In der 2. Sitzung der PRB-Projektgruppe Nachhaltigkeit am 18. Februar 2025 wird das Thema mit Herrn Prof. Lützkendorf diskutiert, seine Position ist die Folgende: „Fragen zum korrekten Umgang mit biogenen Treibhausgasemissionen werden weiterhin intensiv diskutiert. Durch die Aufteilung des „GWP total“ in Anteile für fossil, biogen und luluc bieten sich nun neue Möglichkeiten. Eine davon ist die Nutzung von „GWP fossil“ als neue Anforderungs- und Nachweisgröße, vorzugsweise in Kombination mit einer Zusatzinformation zum biogenen Kohlenstoffgehalt des Gebäudes. Eine entsprechende Umstellung wird von mir befürwortet. In der Darstellung von Ergebnissen einer vollständigen Ökobilanz sollten sämtliche Teilgrößen ausgewiesen werden.“

8 Arbeitspaket 3 – Nachweis des Möglichen

8.1 Derzeitige politische und rechtliche Rahmenbedingungen

Im Arbeitspaket 3 wurde der bauartübergreifenden Entwicklung eines Nachweises der Klimaverträglichkeit nachgegangen, mit dessen Hilfe staatlich festgelegte Anforderungen durch Berechnung erfüllt werden können.

Im Beschlussdokument der 142. Bauministerkonferenz⁷ am 23./24 November 2023 heißt es dazu:

Die Bauministerkonferenz bittet daher die Bundesregierung, ein einfaches anwenderfreundliches Bilanzierungssystem für THG-Emissionen zu schaffen, sodass zukünftig neben der Energie für den Betrieb auch die mit der Herstellung der Baustoffe verbundenen THG-Emissionen berücksichtigt werden können.

Die EU-Taxonomieverordnung [1] beinhaltet folgende Regelung:

Bei Gebäuden mit einer Fläche von mehr als 5.000 m² wurde das Lebenszyklus-Treibhauspotenzial (GWP) des errichteten Gebäudes für jede Phase im Lebenszyklus berechnet und wird gegenüber Investoren und Kunden auf Nachfrage offengelegt.

Die EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) beinhaltet im Artikel 7 folgende Regelungen, die im nationalen Gebäudeenergiegesetz umgesetzt werden sollen:

(2) Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass ab den folgenden Zeitpunkten das Lebenszyklus-Treibhauspotenzial gemäß Anhang III berechnet und im Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes offengelegt wird:

- a) ab dem 1. Januar 2028 für alle neuen Gebäude mit einer Nutzfläche von mehr als 1000 m²
- b) ab dem 1. Januar 2030 für alle neuen Gebäude.

(5) Die Mitgliedstaaten veröffentlichen bis zum 1. Januar 2027 einen Fahrplan, in dem die Einführung von Grenzwerten für das gesamte kumulative Lebenszyklus-Treibhausgaspotenzial aller neuen Gebäude im Einzelnen dargelegt wird und Zielvorgaben für neue Gebäude ab 2030 festgelegt werden, wobei ein schrittweiser Abwärtstrend sowie maximale Grenzwerte berücksichtigt werden, die nach unterschiedlichen Klimazonen und Gebäudetypologien aufgeführt sind, und sie übermitteln diesen Fahrplan der Kommission.

Die vorgenannten politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen zeigen, dass in den nächsten Jahren die Berechnung des THG-Fußabdruckes mit Hilfe der Ökobilanzierung für Bauwerke sowie die Festlegung von Grenzwerten aller Voraussicht nach verpflichtend werden.

Für die Festlegung von Grenzwerten sind Benchmarks erforderlich, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erarbeitet wurden (Abschnitt 8.3). Eine Nachweisführung wird somit möglich.

⁷ <https://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=3547&o=75903547>

8.2 Etablierte oder vorgeschlagene Treibhausgasreduktionspfade

In diesem Teilprojekt sollen Empfehlungen für die Verwendung eines Minderungspfades zur Begrenzung von THG-Emissionen gegeben werden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde das Thema in eine Projektgruppe aus Experten der Bundesvereinigung der Prüfingenieure (BVPI), des Verbandes Beratender Ingenieure (VBI) und des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins eingebbracht. Dort wurden Meinungen in schriftlicher Form gesammelt und in Sitzungen diskutiert.

Ein Minderungspfad im Rahmen dieses Teilprojektes beschreibt den zeitlichen Verlauf zukünftiger, möglicher Grenzwerte für THG-Emissionen. Dieser kann grafisch dargestellt werden. Folgende Minderungspfade bestehen:

- 1) Treibhausgasreduktionspfad gemäß IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), in Deutschland häufig als Weltklimarat bezeichnet (**Bild 33**)

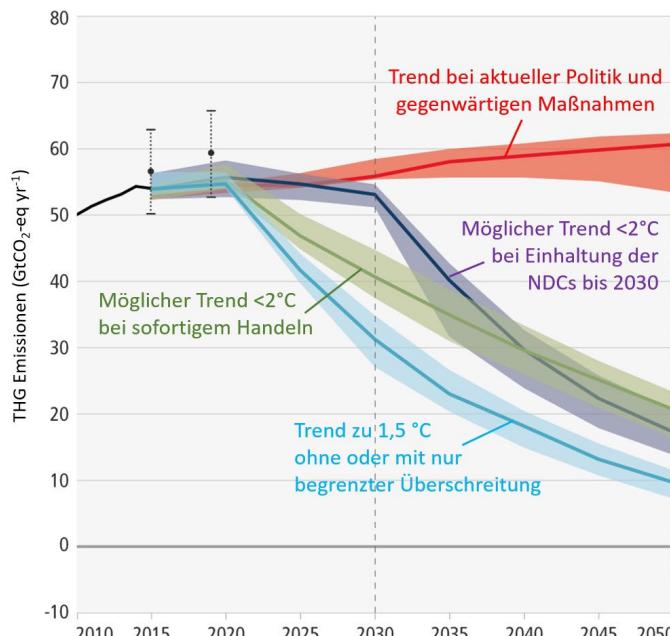


Bild 33: Grafik zum 3. Teilbericht des 6. IPCC-Sachstandsberichts [70]

Begrenzung der Erwärmung auf 1,5°C

- Die weltweiten THG-Emissionen erreichen ihren Höhepunkt vor 2025 und werden bis 2030 um 43 % reduziert
- Methan bis 2030 um 34 % reduziert

Begrenzung der Erwärmung auf etwa 2°C

- Die weltweiten THG-Emissionen erreichen ihren Höhepunkt vor 2025 und werden bis 2030 um 27 % reduziert

2) Treibhausgasreduktionsziele gemäß Klimaschutzgesetz 2021 und 2024 (**Bild 34**)

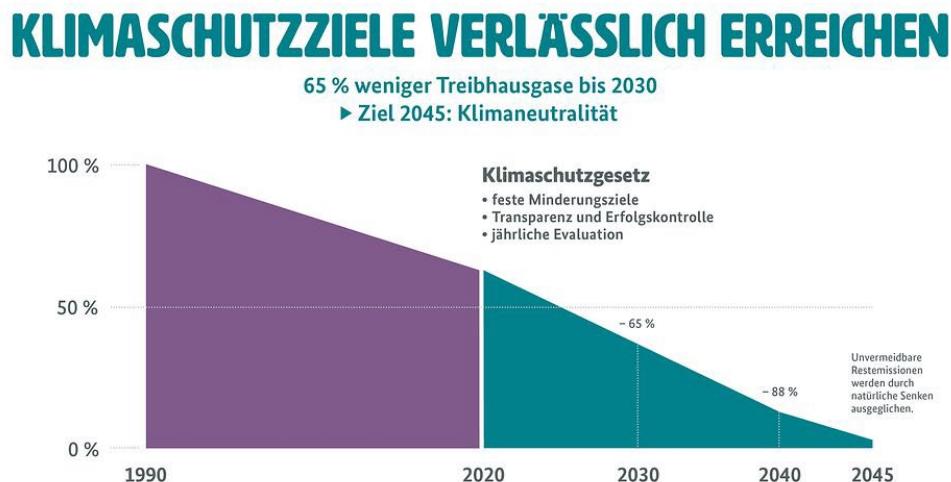


Bild 34: Grafik zu den Minderungszielen der Bundesregierung⁸

3) Treibhausgasreduktionsziele der grauen Emissionen im Gebäudebereich in einzelnen Ländern gemäß Ramboll [71].

Dänemark (**Bild 35**):

bis 2025:	12,0 kg CO ₂ /m ² a, niedrige Emissionsklasse 8 kg CO ₂ /m ² a
2025:	10,5 kg CO ₂ /m ² a, niedrige Emissionsklasse 7 kg CO ₂ /m ² a
2027:	9,0 kg CO ₂ /m ² a, niedrige Emissionsklasse 6 kg CO ₂ /m ² a
2029:	7,5 kg CO ₂ /m ² a, niedrige Emissionsklasse 5 kg CO ₂ /m ² a

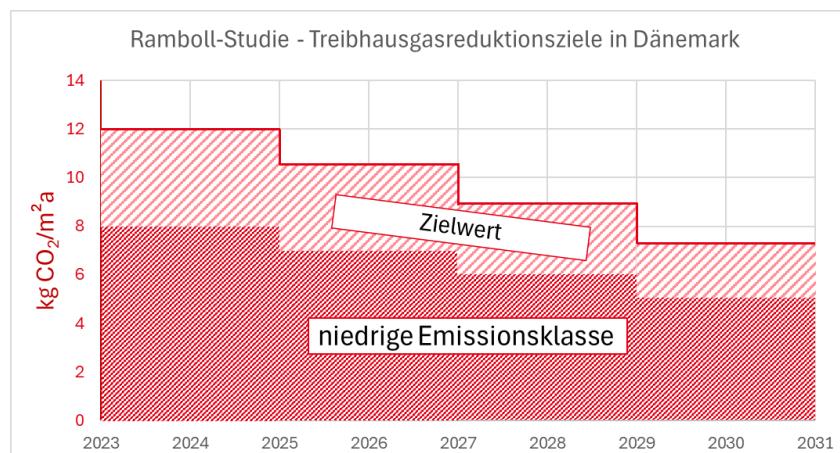


Bild 35: Minderungsziele in Dänemark

Frankreich (**Bild 36**):

2022:	EFH 640 kg CO ₂ /m ² , MFH 740 kg CO ₂ /m ²
2024:	EFH 530 kg CO ₂ /m ² , MFH 650 kg CO ₂ /m ²
2028:	EFH 475 kg CO ₂ /m ² , MFH 580 kg CO ₂ /m ²
2031:	EFH 415 kg CO ₂ /m ² , MFH 490 kg CO ₂ /m ²

⁸ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/datenschutzhinweis/transparenter-klimaschutz-1792144>

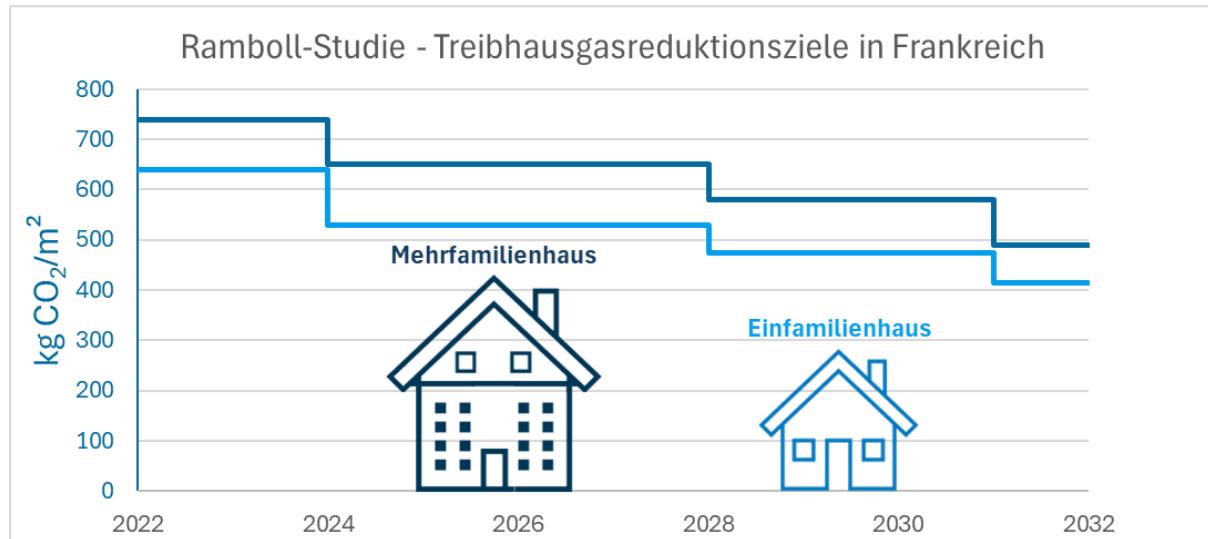


Bild 36: Minderungsziele in Frankreich

4) Treibhausgasreduktionsziele in Regelwerken

Erstmals wurde in technischen Regelwerken für Tragwerke in Deutschland ein Treibhausgasminderungspfad im Entwurf zur „DAfStb-Richtlinie - Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton“ im August 2023 vorgeschlagen, siehe Bild 37. Wegen fehlender gesetzlicher Rahmenbedingungen (bspw. zu einer CO₂-Infrastruktur) sowie wegen der Aufweichung früherer Klimaschutzziele aus 2021 im neuen Bundes-Klimaschutzgesetz 2024, musste dieser Reduktionspfad jedoch als faktisch unerreichbar verworfen werden.

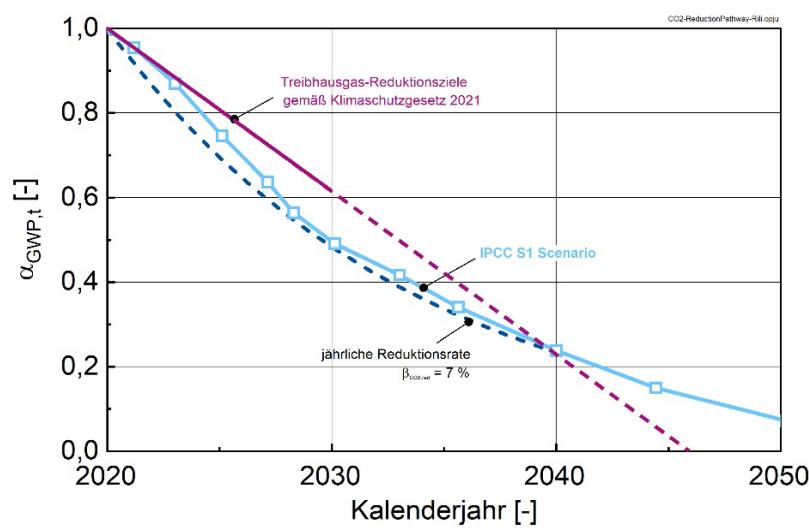


Bild 37: Treibhausgasreduktionspfad gemäß THG-Richtlinie des DAfStb (Entwurf August 2023) mit jährlicher Reduktionsrate von 7 % im Vergleich zum IPCC-Szenario und Bundes-Klimaschutzgesetz 2021 [9]

5) Treibhausgasreduktionsziele einzelner Baustoffe (Bild 38)

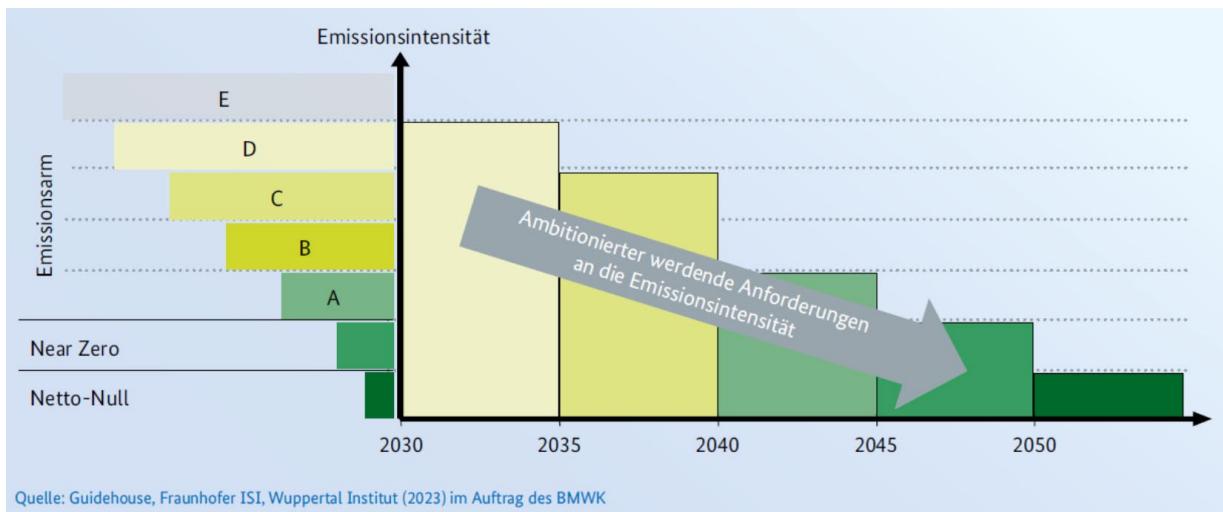


Bild 38: Schrittweise ansteigende Mindestanforderungen von Stahl im Konzept „Leitmärkte für Klimafreundliche Grundstoffe“ des BMWK, Mai 2024 [72]

Minderungspfade können, wie die Beispiele zeigen, einen exponentiellen (gekrümmten), einen linearen oder einen stufenförmigen Verlauf haben.

In [12] wird ein Minderungspfad, wie in Abschnitt 8.1 erläutert, von den Mitgliedstaaten gefordert. Aus Sicht der Projektleitung dieses Forschungsvorhabens sollte dieser einen stufenförmigen Verlauf haben, wobei die Stufen sich an einer linearen Funktion orientieren können. Für einen progressiven Verlauf dieser Funktion spricht, dass sich Technologien zunächst entwickeln müssen und ein schnellerer Absenkungspfad dann erfolgen kann, wenn technische Lösungen existieren.

Ein Minderungspfad mit der absoluten Höhe der erlaubten deutschen Jahresemissionsgesamtmenge in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent wird im Bundes-Klimaschutzgesetz, Anlage 2 und Anlage 3 aufgeführt. In Anlage 2a werden Sektorenziele aufgeführt. Erfolgt eine Korrektur der Zuordnung von Emissionen zu einzelnen Sektoren (die Baustoffherstellung geht aktuell in den Industriesektor und nicht in den Gebäudesektor), können absolute Werte für bestimmte Gebäude abgeleitet werden. Über Gebäudestatistiken und die in Abschnitt 8.3 erarbeiteten Benchmarks könnten Orientierungswerte für einzelne Gebäudetypen berechnet werden. Am Beispiel des Wohnungsbaus könnte dies dazu führen, dass mit der Planung von Wohnungsbauinitiativen, eine umso ambitionierte Klimaverträglichkeit der Bauwerke erforderlich ist. Dieser Zielkonflikt könnte auf diese Weise berücksichtigt werden.

Empfehlung für die Bauaufsicht:

Der Bauaufsicht wird empfohlen, im Zuge der Umsetzung der Verpflichtungen aus [12] folgende Punkte zu diskutieren:

- Festlegung von Minderungspfaden für das GWP mit stufenförmigem Verlauf und berechnet aus Vorgaben des Klimaschutzgesetzes,
- Festlegung von „CO₂-Guthaben“ für Flurstücke und Abbildung in Baugenehmigungen,
- Abstufung solcher „CO₂-Guthaben“ anhand verschiedener Gebäudetypologien.
Konkretisierungen dieser Empfehlungen sind nicht Gegenstand dieses Berichtes.

8.3 Ausgewählte Orientierungswerte (Benchmarks)

In diesem Teilprojekt des Forschungsvorhabens erfolgte die Zusammenstellung von Orientierungswerten zur Reduzierung von THG-Emissionen für verschiedene Gebäudetypologien (Verwendung dieses Begriffs in Anlehnung an [12]). Das Vorgehen wurde in der Projektgruppe aus Experten der Bundesvereinigung der Prüfingenieure (BVPI), des Verbandes beratender Ingenieure (VBI) und des Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein (DBV) abgestimmt. Der DBV stellte Rahmenbedingungen für die Ökobilanzierung bereit, da ein Vergleich von THG-Fußabdrücken von Bauwerken nur möglich ist, wenn gleiche Bezugswerte, Module und einheitliche Treibhausgase der Baustoffe (GWPs) verwendet werden. Die beteiligten Ingenieurbüros erarbeiteten Benchmarks anhand dieser Rahmenbedingungen.

Als Bezugswert wurde die Bruttogrundfläche (BGF) gewählt. Folgende Module und GWPs wurden verwendet (die nachfolgende **Tabelle 17** stammt aus dem DBV-Heft 50, Band 3 [59]):

Tabelle 17: GWP-Daten von Beton, Bewehrungsstahl, Spannstahl, Baustahl und Holzwerkstoffe [kg CO₂eq/Einheit] (Verbands-EPDs, Durchschnittswerte für Deutschland)

S	1	2	3	4	5	6	7	8
Z	Material	Einheit	A1-A3	C3	C4	GWP	Fassung	Lit.
1	Beton C12/15	m ³	129	5,1	ND	134	A2	[U1]
2	Beton C20/25	m ³	157	5,1	ND	162	A2	[U2]
3	Beton C25/30	m ³	181	5,1	ND	186	A2	[U3]
4	Beton C30/37	m ³	196	5,1	ND	201	A2	[U4]
5	Beton C35/45	m ³	220	5,1	ND	225	A2	[U5]
6	Beton C45/55	m ³	273	5,1	ND	278	A2	[U6]
7	Beton C50/60	m ³	275	5,1	ND	280	A2	[U7]
8	Beton C55/67	m ³	286	5,1	ND	291	A2	[U8]
9	Beton C60/75	m ³	289	5,1	ND	294	A2	[U9]
10	Betonstahl	t	615	-	-	615	A2	[U10]
11	Spannstahl	t	2910	0,0	2,4	2912	A2	[U11]
12	Baustahl	t	1050	42,3	0,0	1092	A2	[U12]
13	Konstruktionsvollholz (KVH)	m ³	-727	816	-	89	A2	[U13]
14	Brettsperrholz (BSP)	m ³	-669,6	798,7	-	129	A2	[U14]
15	Brettschichtholz (BSH)	m ³	-668,2	825,6	-	158	A2	[U15]

ND = nicht definiert; A2 = Datensatz nach EN 15804+A2
 A1-A3 (Beton) = Nettowert (exkl. der Emissionen aus der Verbrennung von Abfällen bei der Zementklinkerherstellung)

Die Einstufung in Gebäudetypologien wurde entsprechend der Nutzung des Gebäudes vorgenommen. Eine zukünftig mögliche Strukturierung von Gebäudetypologien könnte zum Beispiel in Anlehnung an den Dena Gebäudereport 2022, Seite 19 [73] erfolgen.

In folgender **Tabelle 18** sind die Ergebnisse der Berechnungen der THG-Fußabdrücke der Tragwerke dargestellt. Die Ergebnisse sind zudem als rote Punkte in der graphischen Darstellung der Treibhausgasminderungsklassen gemäß [9], siehe **Bild 39**, markiert.

Tabelle 18: Übersicht Ergebnisse THG-Fußabdrücke ausgewählter Bauwerke

Gebäudetyp	BGF in m ²	GWP in kg CO ₂ eq / m ² BGF
Bürogebäude 1	10.491	160
Bürogebäude 2	14.839	151
Bürogebäude 3	42.872	203
Bürogebäude 4	6.290	93
Bürogebäude 5	16.120	173

Bürogebäude 6	22.796	166
Bürogebäude 7	7.240	142
Bürogebäude 8	9.500	143
Bürogebäude 9	31.900	133
Bürogebäude 10	50.200	238
Mittelwert Bürogebäude:		160

Wohngebäude 1	2.000	142
Wohngebäude 2	7.000	150
Wohngebäude 3	7.180	118
Wohngebäude 4	3.860	127
Wohngebäude 5	10.945	104
Wohngebäude 6	8.755	175
Wohngebäude 7	7.191	185
Wohngebäude 8	6.175	180
Wohngebäude 9	11.646	190
Wohngebäude 10	18.200	245
Wohngebäude 11	22.337	200
Wohngebäude 12	15.296	182
Wohngebäude 13	19.510	148
Mittelwert Wohngebäude:		165

Schulgebäude/Kita 1	3.180	147
Schulgebäude/Kita 2	5.633	222
Schulgebäude/Kita 3	4.632	227
Schulgebäude/Kita 4	4.175	212
Schulgebäude/Kita 5	1.641	91
Schulgebäude/Kita 6	2.095	219
Schulgebäude/Kita 7	1.553	210
Schulgebäude/Kita 8	7.247	214
Mittelwert Schulgebäude/Kita:		193

Klinik 1	24.361	327
Klinik 2	37.089	224
Mittelwert Kliniken:		276

Laborgebäude 1	6.557	199
Laborgebäude 2	7.945	238
Laborgebäude 3	7.536	323
Laborgebäude 4	12.772	260
Laborgebäude 5	14.480	206
Laborgebäude 6	5.606	230
Mittelwert Laborgebäude:		243

Produktionsgebäude 1	102.275	509
Produktionsgebäude 2	3.042	352
Produktionsgebäude 3	8.550	201
Produktionsgebäude 4	27.268	271
Produktionsgebäude 5	4.288	295
Produktionsgebäude 6	40.000	205
Mittelwert Produktionsgebäude:		306

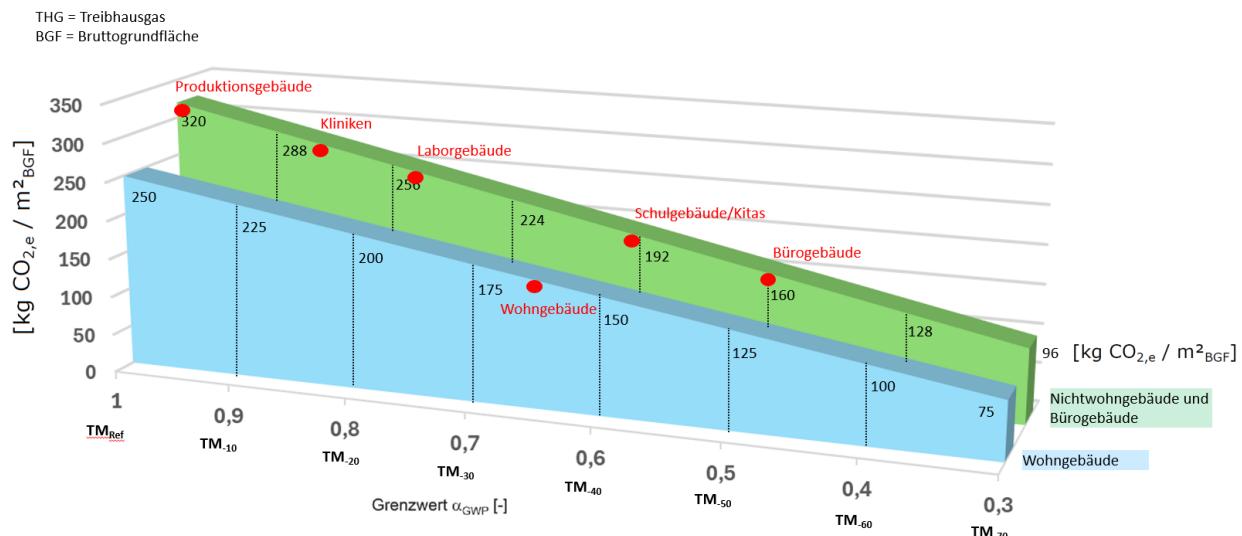


Bild 39: Graphische Darstellung der Treibhausgasminderungsklassen TM-xx gemäß [9] und Integration der Mittelwerte aus Tabelle 18

Die Ergebnisse geben einen ersten Überblick über die Größenordnung von THG-Fußabdrücken von Bauwerken und zeigen vor allem: Es ist möglich, Orientierungswerte von Tragwerken bestimmter Gebäudetypologien zu berechnen.

Empfehlung für die Bauaufsicht:

Der Bauaufsicht wird empfohlen darauf hinzuwirken, dass für die Ermittlung von THG-Emissionen zunächst Bezugswerte, Module, GWP und Gebäudetypologien genau definiert werden, um eine zukünftige Vergleichbarkeit von Werten zu ermöglichen. Anschließend sollte die weitere Erarbeitung von Orientierungswerten angestrebt werden, um Grenzwerte für THG-Fußabdrücke von Bauwerken, wie es [12] ab 2030 vorsieht, festlegen zu können.

8.4 Nachweis der Klimaverträglichkeit: Ökobilanzen und Orientierungswerte

Eine ökobilanzielle Darstellung und Nachweisführung im Sinne der Vorgehensweise 3 erfolgt nach den Grundsätzen der DIN EN 15978. Dabei sind bisher – siehe auch Abschnitt 7.4 – projektbezogene Zielerreichungsgrade (Orientierungswerte oder Benchmarks) zu definieren.

Die Ökobilanzierung ermöglicht zunächst die Berechnung des tatsächlichen THG-Fußabdrucks als planmäßige Soll-Größe oder als tatsächliche Ist-Größe. Dies bedeutet zunächst lediglich, dass eine Positionsbestimmung erfolgt, welche Treibhausgasemissionen erreicht werden. Ohne einen Bezugswert ist eine solche Ökobilanzierung jedoch wertlos.

Erst dann, wenn die planmäßige Soll-Größe und die tatsächliche Ist-Größe mit projektbezogenen Zielerreichungsgraden in Form von Orientierungswerten oder Benchmarks kombiniert werden, wird daraus ein Werkzeug zur effektiven Optimierung der Gesamt-THG-Emissionen.

8.5 Beispiel für eine Umsetzung ins Regelwerk: Die THG-Richtlinie des DAfStb

Die PRB war an der Erstellung der DAfStb-Richtlinie "Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton" (THG-Richtlinie) [9] beteiligt, welche einen Pilotcharakter, nicht nur für Betontragwerke hat.

Ziel der Richtlinienreihe ist es, Anforderungen zu definieren, mittels derer die Einhaltung der international und national vorgegebenen Treibhausgasreduktionsziele bei der Errichtung von Tragwerken aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton erreicht werden können.

Die Richtlinienreihe gilt für Beton-, Stahl- und Spannbetontragwerke, die nach DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit der Normenreihe DIN 1045, nach anderen DAfStb-Richtlinien oder allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bemessen, hergestellt und ausgeführt werden und bei denen der Beton zur Lastabtragung herangezogen wird.

Die Richtlinienreihe regelt in ihren verschiedenen Teilen Anforderungen an die zulässigen Treibhausgasemissionen infolge der Errichtung und Entsorgung von Tragwerken oder Tragwerksteilen, ohne jedoch die Technologieoffenheit im Bauwesen einzuschränken. Dabei werden bei der Erstellung der Ökobilanz und Ermittlung des CO₂-Fußabdrucks gemäß DIN EN 15978 die Module A1 bis A3 (Herstellungsphase) sowie C3 und C4 (Entsorgungsphase) berücksichtigt, siehe **Bild 40**. Alle verwendeten Umweltpunktdeklarationen (EPDs) müssen gemäß DIN EN 15804 erstellt worden sein.

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton,
Stahlbeton oder Spannbeton

Ausgabe August 2024

Teil 1: Grundlagen und Nachweis am gesamten Tragwerk
Teil 2: Deckenbauteile



Bild 40: Übersicht der Richtlinie (links) und verwendete Module zur Erstellung der Ökobilanz (rechts)

Zum jetzigen Zeitpunkt besteht die Richtlinie aus zwei Teilen:

Teil 1 „Grundlagen und Nachweis am gesamten Tragwerk“ führt in die Thematik ein, erläutert das Vorgehen und definiert über Treibhausgasminderungsklassen TM_{xx} erste relative Grenzwerte (Alpha) pro Treibhausgasminderungsklasse für das Gesamttragwerk. Mit dem Anhang A und der Tabelle A.1 werden in Abhängigkeit von TM_{xx} zulässige Grenzwerte angegeben, unterschieden nach zwei Gebäudetypen, Wohngebäude und Nichtwohngebäude/Bürogebäude (siehe **Bild 41**).

S Z	1 Treibhausgas-Minderungs-klasse TM_{xx}	2 α_{GWP} [-]	3 Zulässige Grenzwerte für die Emissionen des Tragwerks [kg CO _{2,e} / m ² BGF] Wohngebäude ²⁾	4 Nichtwohngebäude ²⁾ und Bürogebäude
1	$TM_{Ref}^1)$	1,00 ¹⁾	250	320
2	TM_{-10}	0,90	225	288
3	TM_{-20}	0,80	200	256
4	TM_{-30}	0,70	175	224
5	TM_{-40}	0,60	150	192
6	TM_{-50}	0,50	125	160
7	TM_{-60}	0,40	100	128
8	TM_{-70}	0,30	75	96

1) Referenzjahr 2020.

2) Die Aufteilung in Wohn- und Nichtwohngebäude wurde dem QNG-System entlehnt [QNG]. Wohngebäude sind demnach Gebäude nach § 3, Absatz 1, Nummer 33, GEG, die nach ihrer Zweckbestimmung überwiegend dem Wohnen dienen. Hierzu gehören auch Wohn-, Alten- und Pflegeheime und ähnliche Einrichtungen. Beispiele für Nichtwohngebäude sind: Schulen, Universitätsgebäude, Kindergärten, Industriegebäude.

Bild 41: Zulässige Grenzwerte für Wohngebäude und Nichtwohngebäude in Teil 1 der Richtlinie [9]

Teil 2 „Deckensysteme“, siehe **Bild 42**, bezieht sich nur auf den Tragwerksbereich Deckensysteme. Da Deckenkonstruktionen zum Teil 40 % bis 50 % des CO₂-Gehaltes eines Gesamttragwerks in sich vereinen, stellt dieses Bauteil einen großen Hebel bei der Reduktion der CO₂-Emissionen des Gesamttragwerks dar. Die in diesem Teil der Richtlinie gegebenen Grenzwerte, in Abhängigkeit zur Spannweite des Deckensystems, werden nur berücksichtigt, wenn Deckenkonstruktionen gesondert betrachtet werden sollen. Sobald das Gesamttragwerk nach Teil 1 nachgewiesen wird, gelten die Werte von Teil 2 als Empfehlung.

THG-Richtlinie Teil 2: Deckenbauteile

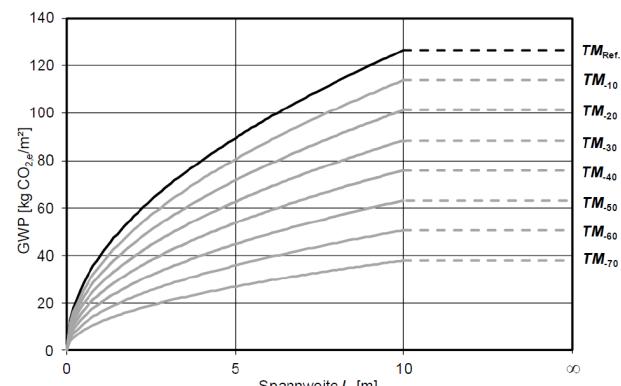
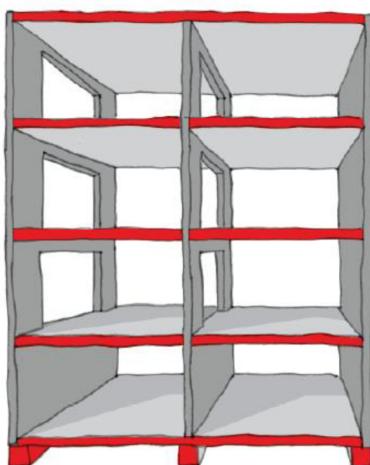


Bild 2 – Kurvenschar für den Referenzzustand und die Treibhausgas-Minderungsklassen nach Teil 1, Tabelle 1, dieser Richtlinie

L_i: Spannweite des betrachteten Deckenbauteils i in [m]. Für zweiachsiges Systeme ist die kurze Spannweite anzusetzen.

Bild 42: Beispieleiten aus dem Teil 2 „Deckensysteme“ [9]

Die DAfStb-Richtlinie "Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton" (THG-Richtlinie) entstand parallel zur Bearbeitung dieses Forschungsvorhabens. Die Richtlinie ist ein erstes veröffentlichtes Regelwerk zur Begrenzung von Treibhausgasemissionen im Bauwesen und stellt eine potenzielle Technische Baubestimmung für den Klimaschutz dar.

9 Entwicklungen im Ausland

9.1 Finnland

In Finnland wurde das in **Tabelle 19** dargestellte Klassifizierungssystem für kohlenstoffarme Beton entwickelt. Die „LowCarbon Classification“ wurde in Zusammenarbeit mit dem finnischen Betonverband, dem Verband der finnischen Bauindustrie und der Aalto-Universität erstellt.

Ziel war es, ein transparentes System zur Klassifizierung von Betonen anhand ihrer CO₂-Emissionen zu schaffen. Die Low-Carbon-Klassifizierung umfasst 18 verschiedene Arten von Transportbeton, 17 verschiedene Arten von Betonfertigteilen und fünf verschiedene Klassen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt. Der Referenzwert (GWP.REF) entspricht dem durchschnittlichen CO₂-Emissionswert der jeweiligen Betonart. Die Referenzwerte wurden mithilfe von Umfragen ermittelt, die im Sommer 2021 bei der finnischen Betonindustrie durchgeführt wurden. Die anderen Klassen (GWP.85, GWP.70, GWP.55 und GWP.40) wurden aus den Referenzwerten abgeleitet. Die niedrigste Klasse (GWP.40) entspricht einem Emissionswert von 40 % gegenüber dem Referenzwert. Zukünftig sollen dem System noch weitere Klassen hinzugefügt werden.

Tabelle 19: Low-Carbon-Classification⁹

Type of concrete	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C20/25	210	180	145	115	85
C25/30	230	195	160	125	90
C30/37	255	215	180	140	100
C35/45	285	240	200	155	115
C45/55	320	270	225	175	130
C50/60	340	290	240	185	135
C30/37 – Air-entrained	290	245	205	160	115
C35/45 – Air-entrained	330	280	230	180	130
C45/55 – Air-entrained	375	320	265	205	150
C50/60 – Air-entrained	395	335	275	215	160
C30/37 P0 *)	270	230	190	150	110
C30/37 P30 *)	300	255	210	165	120
C35/45 P0 *)	300	255	210	165	120
C35/45 P30 *)	330	280	230	180	130
C35/45 P50 *)	340	290	240	185	135
C45/55 P50 *)	375	320	265	205	150

*) P0, P30 und P50 sind salzfrostbeständige Betone

Die Grenzwerte jeder Low-Carbon-Klasse entsprechen in kg CO₂eq/m³ Beton gemessenen GWP-total-Werten für die Module A1 bis A3. Zur Berechnung der GWP-total-Werte wurde ein webbasiertes Berechnungstool erstellt. Grundlage der Berechnung stellt die Mischungsauslegung des Betons dar. Der Transport der Rohstoffe wird anhand der tatsächlichen Transportentfernungen berücksichtigt. Auch der Energieverbrauch und die Abfallmenge aus der Betonproduktion fließen mit ein. Für jeden Rohstoff, jedes Transportmittel und jeden Energieträger werden vorab festgelegte spezifische CO₂-Emissionswerte verwendet

⁹ <https://vahahillinenbetoni.fi/in-english/>

9.2 Dänemark

Seit dem 1. Januar 2023 gilt in Dänemark eine fortgeschriebene Fassung der Bauordnung (bygningsreglementet) BR18, mit deren Hilfe Anforderungen an die Dokumentation der Klimaauswirkungen von Neubauten aufgestellt und Obergrenzen für den CO₂-Ausstoß für bestimmte Gebäude ab einer bestimmten Größe festgelegt wurden. Die Einhaltung der Klimaauflagen ist dabei Voraussetzung für die Erteilung einer Nutzungsgenehmigung. Die Klimaanforderungen müssen zunächst nur beheizte Neubauten einhalten. Es wird aber davon ausgegangen, dass zukünftig auch Sanierungsmaßnahmen einbezogen werden.

Konkret handelt es sich um zwei neue Anforderungen, die analog zu den bestehenden Anforderungen hinsichtlich des Energie- und Brandschutzes in die BR18 aufgenommen wurden:

- Berechnung der Ökobilanz (LCA) des Gebäudes:

Die Pflicht zur Erstellung einer Ökobilanz (LCA) des Gebäudes gilt bis auf wenige Ausnahmen für alle Neubauten, unabhängig von ihrer Größe. Die Ökobilanzierung muss die Klimaauswirkungen des Gebäudes aus Bau, Betrieb und Abriss über einen Zeitraum von 50 Jahren nachweisen. Die Berechnung umfasst den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes, von der Herstellung der Baustoffe über den Energieverbrauch bis hin zum Betrieb und der Abfallbehandlung der Baustoffe.

- CO₂-Grenzwerte für Gebäude über 1.000 m²:

Für Neubauten über 1.000 m² gelten besondere Anforderungen an den Inhalt der Ökobilanzierung, da diese Gebäude einen jährlichen CO₂-Grenzwert von 12 kg CO₂-Äquivalenten pro m² einhalten müssen. Der Grenzwert wurde in Übereinstimmung mit den Regeln für LCA-Berechnungen der BR18 ermittelt, wobei bestimmte Teile der LCA-Berechnung nicht in die Ermittlung der Grenzwerte einbezogen werden dürfen. Im Hinblick auf die mögliche Wiederverwendung von Baumaterialien werden Wiederverwendung, Recycling und sonstige Verwertung nicht auf den Grenzwert angerechnet, sondern in die Ökobilanzierung einbezogen.

Bis 2030 wird der Jahressgrenzwert sukzessive gesenkt. Ab 2025 müssen voraussichtlich auch Neubauten unter 1.000 m² die festgelegten CO₂-Grenzwerte einhalten. Die ab 2025 geltenden Grenzwerte sind noch nicht politisch verabschiedet. Es wird jedoch mit einer kontinuierlichen Verschärfung der Anforderungen gerechnet.

Darüber hinaus gibt es seit 2023 eine freiwillige Niedrigemissionsklasse mit einem jährlichen CO₂-Grenzwert von 8 kg CO₂-Äquivalenten pro m², der bis 2030 ebenfalls gesenkt werden soll. Sowohl die Erstellung der Ökobilanz als auch die Dokumentation der Einhaltung des Grenzwertes sind Voraussetzung dafür, dass der Bauherr eine Genehmigung für die Inbetriebnahme des Gebäudes erhält.

Die genannten Regelungen sind in den §§ 297 – 298 der BR18 enthalten und können über folgenden Link eingesehen werden: <https://bygningsreglementet.dk>.

Interessant sind insbesondere auch die Tabellen 6 und 7 im Anhang B2 der BR18 mit der Vorgabe der zu berücksichtigenden Bauteile und der Angabe von generischen GWP-Daten.

9.3 Frankreich

Die im Jahr 2022 in Frankreich eingeführte Umweltschutzverordnung RE2020 (Réglementation environnementale 2020) löste die bisherige Wärmeschutzverordnung RT2012 (Réglementation thermique 2012) ab. Sie enthält ein neues System zur Bilanzierung der Umweltauswirkungen von Gebäuden, welches die Energieeffizienz und die Umweltverträglichkeit von Gebäuden verbessern und zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Bauindustrie beitragen soll.

Die RE2020 berücksichtigt nicht nur den Energieverbrauch des Gebäudes, sondern auch andere Faktoren wie die Art der Baustoffe, den Wasserverbrauch und die Verwendung von erneuerbaren Energien. Das System basiert auf einer Ökobilanz (LCA), die den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes berücksichtigt, einschließlich der Materialproduktion, der Bauzeit, der Nutzungsphase und der Entsorgung am Ende der Lebensdauer.

Das Ziel der RE2020 ist es, Gebäude zu errichten, die weniger Energie verbrauchen, weniger Treibhausgasemissionen produzieren und insgesamt umweltverträglicher sind. Um dies zu erreichen, müssen Gebäude bestimmte Mindestanforderungen erfüllen, die sich auf verschiedene Aspekte wie Energieeffizienz, CO₂-Emissionen und die Verwendung von erneuerbaren Energien beziehen. Es wird erwartet, dass die RE2020 dazu beitragen wird, den CO₂-Fußabdruck von Gebäuden in Frankreich erheblich zu reduzieren und den Übergang zu einer nachhaltigeren Bauindustrie zu fördern.

Weitere Informationen und einen Zugang zu den veröffentlichten Gesetzestexten hat das Deutsch-französische Büro für die Energiewende e. V. unter folgendem Link bereitgestellt:
<https://energie-fr-de.eu/de/effizienz-waerme/nachrichten/leser/memo-zu-den-energiepolitischen Zielen-und-rechtsrahmen-fuer-den-neubau-in-frankreich.html>

10 PRB-Werkstatttreffen

Ursprünglich war im Rahmen des Forschungsvorhabens ein einzelnes Werkstatttreffen vorgesehen. Im Verlauf des Projekts zeigte sich jedoch, dass eine kontinuierliche Einbindung der Expertise aus Unternehmen, Verbänden und Wissenschaft deutlich zielführender ist.

Mehrere zentrale Themen des Forschungsvorhabens wurden daher in einem fortlaufenden Austausch innerhalb einer Projektgruppe bearbeitet, die sich aus Mitarbeitenden sowie Mitgliedern der Verbände BVPI, VBI und DBV zusammensetzte. Diese Projektgruppe wurde im weiteren Verlauf um Vertreter aus den PRB-Projektgruppen, weiteren PRB-Mitgliedsverbänden sowie um Experten aus der Wissenschaft und der Bauaufsicht erweitert.

Die Zusammensetzung der daraus entstandenen Projektgruppe Nachhaltigkeit der PRB ist in **Tabelle 20** dargestellt:

Tabelle 20: Mitglieder der PRB-Projektgruppe Nachhaltigkeit (PG-N)

Vertreter aus PRB-Projektgruppen	Vertreter aus PRB-Mitgliedsverbänden	Experten aus Wissenschaft und Bauaufsicht
Herr Christian Klein (PG 1)	Frau Anne-Caroline Erbstößer (HDB)	Herr Prof. Markus Kuhnhenne (RWTH Aachen)
Herr Prof. Frank Fingerloos (PG 2)	Herren Prof. Christian Glock, Prof. Michael Haist, Prof. Udo Wiens (DAfStb)	Frau Brigitte Strathmann (DIBt)
Herr Prof. Stefan Heyde (PG 3)	Frau Angela Feldmann, Herren Henning Klattenhoff, Dr. Hans-Jürgen Krause, Lukas Muth, Christian Wrede (VBI)	Herr Christian Brandes (Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr)
Herr Johannes Niedermeyer (PG 4)	Herren Dr. Markus Hennecke, Alexander Pirlet, Dr. Halim Khbeis, Bernd von Seht (BVPI)	
Herr Prof. Valentin Förster (PG 5)	Dr. Raban Siebers (bauforumstahl)	
Herr Prof. Robert-B. Wudtke (PG 6)	Herr Tobias Röttgen (Holzbau Deutschland Institut)	
	Frau Dr. Claudia Klotz, Frau Dr. Susanne Urban, Herren Dr. Lars Meyer, Dr. Tim Schade, Simon Stratmann (DBV)	

11 Forschung und zukünftige Entwicklungen

Klimaschutz im Betonbau kann nur durch das Zusammenspiel technischer und regulatorischer Ansätze effektiv umgesetzt werden. Aus technischer Sicht konzentriert sich die Forschung – aktuell und zukünftig – auf nachhaltige Baustoffe und innovative (digitale) Herstellungsverfahren, die den CO₂-Ausstoß minimieren und die Optimierung von Konstruktionen, um den Materialeinsatz zu reduzieren. Eine der größten zukünftigen Herausforderungen im Bereich des Klimaschutzes im Bauwesen besteht darin, negative Aspekte von Baustoffen und Bauprozessen frühzeitig zu erkennen. Während der technologische Fortschritt bei der Entwicklung nachhaltiger Baustoffe und CO₂-reduzierter Herstellungsverfahren Fortschritte macht, besteht die Gefahr, Produkte oder Verfahren umweltfreundlicher darzustellen, als sie tatsächlich sind.

Gleichzeitig sind regulatorische Rahmenbedingungen entscheidend, um effektive technologische Fortschritte systematisch in der Praxis umzusetzen. Die Bauproduktenverordnung [10] legt europaweit Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Bauprodukten fest und spielt eine zentrale Rolle für den Klimaschutz im Bauwesen. Zwei zentrale Ansätze werden die zukünftigen regulatorischen Entwicklungen im Bauwesen bestimmen:

- Ein wichtiger Schwerpunkt ist die Verbesserung der Datenqualität und Vergleichbarkeit von Umweltwirkungen, um eine verlässliche Bewertung der Klimafreundlichkeit von Baustoffen und Bauweisen zu ermöglichen. Grenzwerte für graue und betriebliche Emissionen müssen erarbeitet, regelmäßig überprüft und angepasst werden.
 - Umweltproduktdeklarationen liefern transparente, standardisierte Informationen über CO₂-Emissionen, Ressourcenverbrauch und weitere Umweltwirkungen. Die Schaffung einheitlicher Benchmarks ist essenziell, um Bauprodukte und Bauweisen objektiv vergleichen und optimieren zu können.
 - Die DIN EN 15978 [15] bietet ein Rahmenwerk für Lebenszyklusanalysen, das kontinuierlich weiterentwickelt wird, um eine umfassendere Betrachtung von Emissionen über Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Bauwerken zu gewährleisten. Digitale Werkzeuge werden verstärkt in die Forschung integriert, um Umweltwirkungen frühzeitig zu berücksichtigen und nachhaltige Bauentscheidungen datenbasiert zu unterstützen. Der digitale Produktpass (DPP) wird als Schlüsselinstrument für mehr Transparenz und Nachhaltigkeit im Bauwesen betrachtet. Er ermöglicht die digitale Erfassung und Bereitstellung umfassender Informationen zu Bauprodukten über den gesamten Lebenszyklus.
- Neue gesetzliche Rahmenbedingungen, Zertifizierungssysteme und Anreize für nachhaltige Bauweisen könnten dazu beitragen, den Klimaschutz im Bauwesen weiter voranzutreiben und die Bauindustrie klimaneutraler zu gestalten
 - Dafür sind Anreizsysteme zu schaffen, die CO₂-reduzierte Bauweisen fördern und ökologische Innovationen beschleunigen. Ein zentraler Forschungsansatz ist die Weiterentwicklung klimaorientierter Vergabekriterien im öffentlichen Bauwesen. Durch die verstärkte Gewichtung von Umweltaspekten, etwa durch CO₂-Grenzwerte, können nachhaltige Bauweisen gezielt bevorzugt werden.
 - Auch finanzielle Anreize wie steuerliche Vergünstigungen oder gezielte Förderprogramme für CO₂-arme Bauprodukte und kreislauffähige Materialien stehen im Fokus der Forschung. Zukünftige Entwicklungen setzen verstärkt auf dynamische Fördermodelle, die nachhaltige Innovationen honorieren und kontinuierlich an aktuelle Klimaschutzanforderungen angepasst werden.

12 Zusammenfassung

In diesem Vorhaben wurde durch ein starkes Netzwerk aller Bauarten innerhalb der PRB zunächst der aktuelle Stand der Nachhaltigkeit im Bauwesen analysiert, um darauf basierend bauartspezifische als auch bauartübergreifende Maßnahmen zu entwickeln, die von sofort umsetzbaren bis hin zu zukünftigen Lösungen reichen.

Der Joint Final Report¹⁰ zweier Expertengruppen aus Industrie und Wissenschaft zeigt auf, dass für den Infrastrukturbau bereits viele Dekarbonisierungsmöglichkeiten verfügbar sind. Verschiedene Maßnahmen und Werkzeuge werden bereits benannt sowie die Wichtigkeit eines integralen Ansatzes für eine maximale Dekarbonisierung betont. Mit 24 konkreten Empfehlungen für die europäische Politik werden kritische Punkte für eine schnelle und vollständige Umsetzung adressiert. Allerdings: Eine Umfrage zeigt, dass Nachhaltigkeit in den Unternehmen nur langsam Einzug hält und noch nicht flächendeckend implementiert ist.

Das Vorhaben bietet konkrete Empfehlungen, wie sofort umsetzbare klimafreundliche Maßnahmen durch Anpassungen der Regulatorik, speziell der Normungstexte, zügig und unkompliziert eingeführt werden können. Diese Anpassungen sind darauf ausgelegt, die Integration von Nachhaltigkeit in den Bauprozess zu beschleunigen und Planer und Unternehmen in die Lage zu versetzen, unmittelbar klimafreundliche Praktiken zu übernehmen.

Dafür wird ein Konzept vorgestellt, das drei – unterschiedlich aufwändige – Vorgehensweisen umfasst, um sowohl sofort als auch zukünftig nachhaltige Maßnahmen umzusetzen:

1. Grundlegende Konstruktionsregeln: Diese definieren, wie nachhaltig gebaut wird, und dienen als Bauanleitung. Sie ermöglichen einen einfachen und klimafreundlichen Einstieg, um sicherzustellen, dass alle Beteiligten auf nachhaltige Standards ausgerichtet sind.
2. Auswahl einer Dekarbonisierungsstufe: Hierbei handelt es sich um einen schrittweisen Ansatz, bei dem Bauprojekte anhand definierter Maßnahmen abgestuft klimafreundlich ausgeschrieben und hergestellt werden können.
3. Umfassende Ökobilanz: Die Entwicklung einer detaillierten Ökobilanz für jedes Bauprojekt ist entscheidend, um die gesamten Umweltwirkungen zu bewerten. Hierbei sind einheitliche Benchmarks und Umweltproduktdeklarationen (EPD) notwendig, um eine fundierte Vergleichbarkeit und eine nachhaltige Bewertung von Materialien und Bauprozessen sicherzustellen.

Diese drei Vorgehensweisen schaffen eine klare Struktur und praxisorientierte Lösungen, um die Klimaneutralität im Bauwesen effektiv voranzutreiben. Sie führen zu unterschiedlichen Auswirkungen auf die Planungs- und Baukosten. Während konstruktive Optimierungsmaßnahmen (Vorgehensweise 1) zu Material- und somit Kosteneinsparungen führen werden, ist bei der Verwendung dekarbonisierter Baustoffe (Teil der Vorgehensweise 2) derzeit kurzfristig von Mehrkosten, mittel- und langfristig von geringen Mehrkosten auszugehen. Die ökobilanzielle Nachweisführung (Vorgehensweise 3) erzeugt einen Planungsaufwand, den digitale Software übernehmen wird, damit ist der Einfluss auf die Baukosten minimal.

Der Hauptverband der deutschen Bauindustrie weist in seinem Positionspapier „Vom Gebäudeenergiegesetz hin zu einem modernen Gebäudeemissionsgesetz“ [74] auf ein

¹⁰ <https://www.nbau.org/wp-content/uploads/2024/04/Decarbonisation-of-Infrastructure-construction-report.pdf>

generelles Umdenken – auch auf der bauaufsichtlichen Ebene – für eine erfolgreiche Umsetzung hin.

In diesem Forschungsvorhaben wurden Möglichkeiten und Nachweisverfahren für Technische Baubestimmungen für den Klimaschutz erarbeitet. Die Praxis zeigt, dass eine Umsetzung innovativer technischer Lösungen im Bauwesen ohne Anpassungen in der Normung nicht erfolgt.

Schrifttum

- [1] VERORDNUNG (EU) 2020/852 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088 (EU-Taxonomie). – In: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj?locale=de> (Letzter Zugriff: 5. März 2025)
- [2] LETI Climate Emergency Design Guide. – In: <https://www.levittbernstein.co.uk/site/assets/files/3494/leti-climate-emergency-design-guide.pdf> (Letzter Zugriff: 31. März 2025)
- [3] STROM-REPORT: Der Strommix in Deutschland 2024. – In: <https://strom-report.com/> (Letzter Zugriff: 30. März 2025)
- [4] Unger, T.; Leitschuh, S. und König, H.: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden, Kurzfassung. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2018
- [5] Weidner, S.; Mrzigod, A.; Bechmann, R. und Sobek, W.: Graue Emissionen im Bauwesen – Bestandsaufnahme und Optimierungsstrategien. – In: Beton- und Stahlbetonbau 116 (2021), Heft 12, S. 969 – 977
- [6] Meyer, Lars: Green means lean – der Weg zur „Klimaneutralen Betonbaustelle“ – Nachhaltiges Bauen mit Beton heißt auch konsequent Lean Construction. – In: Bautechnik 99 (2022), Heft 5, Seiten 409 – 417 (DOI: 10.1002/bate.202200024)
- [7] FprEN 1990:2022: FprEN 1990: Eurocode: Basis of structural and geotechnical design; Formal Vote Version, European Committee for Standardization, 2022
- [8] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: DBV-Vorschlag vom 10. Juni 2024 zur Fortschreibung der DAfStb-Richtlinie Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton: Teil 0 – Vorgehensweisen und Maßnahmen. – In: Dokument des DAfStb (DAfStb TA NBB D152)
- [9] DAfStb-Richtlinie: Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton (THG-Richtlinie). Gelbdruckentwurf August 2023
- [10] EU-Bauproduktenverordnung: Verordnung (EU) Nr. 2024/3110 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 (Text von Bedeutung für den EWR). – In: Document 32024R3110, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32024R3110> (Letzter Zugriff: 3. Januar 2025)
- [11] Europäische Kommission: Der europäische Grüne Deal – Erster klimaneutraler Kontinent werden. – In: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (Letzter Zugriff: 2. Januar 2025)
- [12] RICHTLINIE (EU) 2024/1275 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. – In: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=OJ:L_202401275 (Letzter Zugriff: 4. März 2025)

- [13] VERORDNUNG (EU) 2024/1781 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2020/1828 und der Verordnung (EU) 2023/1542 und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG. – In: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1781&qid=1719580391746> (Letzter Zugriff: 27. Februar 2025)
- [14] RICHTLINIE 2003/87/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Europäischen Union und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates
- [15] DIN EN 15978:2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode
- [16] Entwurf zu CEN/TR XXXXX-1:2024-03: Sustainable construction with concrete – Part 1: Practical guidance. CEN/TC 104/WG 19 "Decarbonisation, resource efficiency and sustainability". Dokument CEN/TC 104/WG 19 N 57
- [17] Entwurf zu CEN/TR XXXXX-2:2024-03: Sustainable construction with concrete – Part 2: Further potential for optimisation. CEN/TC 104/WG 19 "Decarbonisation, resource efficiency and sustainability". Dokument CEN/TC 104/WG 19 N 58
- [18] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV): Bundes-Klimaschutzgesetz. – In: <https://www.bmuv.de/gesetz/bundesklimaschutzgesetz> (Letzter Zugriff: 2. Januar 2025)
- [19] Deutscher Bundestag: Drucksache 20/8290 des Deutschen Bundestags vom 11. September 2023. – In: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/082/2008290.pdf> (Letzter Zugriff: 2. Januar 2025)
- [20] Land Baden-Württemberg: Verordnung des Finanzministeriums, des Umweltministeriums, des Verkehrsministeriums und des Ministeriums Ländlicher Raum zur Umsetzung des CO₂-Schattenpreises (CO₂-Schattenpreis-Verordnung - CO₂-SP-VO) vom 15. Februar 2023 – In: <https://www.landesrecht-bw.de/bsbw/document/jlr-CO2SPVBWpP4> (Letzter Zugriff: 3. Januar 2025)
- [21] Umweltbundesamt: Methodological Convention 3.2 for the Assessment of Environmental Costs. Version 10/2024. – In: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/methodological_convention_3_2_value_factors_bf.pdf (abgerufen am 05. März 2025)
- [22] Deutscher Bundestag – Wissenschaftliche Dienste: Sachstand – CO₂-Emissionen: Preise und Kosten. – In: <https://www.bundestag.de/resource/blob/1021378/4edf15c87b75d74c51eb672f10703fcb/WD-5-104-24-pdf.pdf> (abgerufen am 05. März 2025)
- [23] Umweltbundesamt, www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen (abgerufen am 05. März 2025), berechnet nach Methodenkonvention 3.2 für die Bewertung von Umweltkosten, Kostensätze, Stand 10/2024

- [24] Implenia AG: Nachhaltigkeitsbericht 2023. – In:
https://implenia.com/fileadmin/implenia.com/nachhaltigkeit/pdf/Implenia_Nachhaltigkeitsbericht_2024_de.pdf (Letzter Zugriff: 27. Februar 2025)
- [25] EU-Bauproduktenverordnung: Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. – In: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/AUTO/?uri=CELEX:02011R0305-20241117> (konsolidierte Fassung (nicht amtlich), letzter Zugriff: 21. Januar 2025)
- [26] Bauministerkonferenz der Länder: Musterbauordnung (MBO) – Fassung November 2022, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 23./24.11.2023
- [27] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen 2024/1 (MVV TB 2024/1). – In:
https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische_Bestimmungen/MVVTB_2024-1.pdf (Letzter Zugriff: 21. Januar 2025)
- [28] KONFERENZ DER FÜR STÄDTEBAU, BAU- UND WOHNUNGSWESEN ZUSTÄNDIGEN MINISTER UND SENATOREN DER LÄNDER (ARGEBAU): Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten. Fassung September 2006
- [29] Wiese, H.; Curbach, M.; Al-Jamous, A.; Eckfeldt, L.; Proske, D.: Vergleich des ETV Beton und DIN 1045-1. In: Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), Heft 9, S. 784-794
- [30] DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
- [31] Jäger, W.: Beitrag von EN 1990 zur Verbesserung der Nachhaltigkeit: Chancen – Hintergründe – Möglichkeiten. Präsentationsfolien im NA 005-51-01 AA N 2101, 18.02.2025
- [32] MEICON – Minimising Energy in Construction, Demonstrating Floor Loading, Report (University of Cambridge, University of Bath)
https://static1.squarespace.com/static/58f72c9a1b631bc0c1e1b84c/t/5c67ea098165f5f2b27f121c/1550314026647/Load+Report+Online_E1.pdf (Letzter Zugriff: 07. April 2025)
- [33] Sobek, Werner: non nobis – über das Bauen in der Zukunft, Band 1: Ausgehen muss man von dem, was ist
- [34] DBV-Heft 50 Nachhaltiges Bauen mit Beton – Band 2: Quick Wins für den Klimaschutz. Fassung November 2022.
- [35] Fingerloos, F.; Hegger, J.; Zilch, K.: Der Eurocode 2 für Deutschland – DIN EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau - Konsolidierte und kommentierte Fassung. Hrsg.: BVPI, DBV, ISB, VBI. Berlin: Beuth Verlag und Verlag Ernst & Sohn, 2. überarbeitete Auflage 2016

- [36] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [37] Wirtschaftswoche: Übernahmepläne für Salzgitter AG: „Die betrieblichen Verluste werden immer weiter steigen, genau wie bei Thyssen“. <https://www.msn.com/de-de/finanzen/top-stories/%C3%BCbernahmep%C3%A4f%C3%BCCr-salzgitter-ag-die-betrieblichen-verluste-werden-immer-weiter-steigen-genau-wie-bei-thyssen/ar-AA1u0JUM?ocid=finance-verthp-feeds> (Letzter Zugriff: 06.12.2024).
- [38] Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ): Voraussetzungen für Klimaneutralität in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallverbrennung – Anforderungen an eine CO₂-Infrastruktur in Deutschland. – In: https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie_CO2-Infrastruktur-Deutschland.pdf (Letzter Zugriff: 14.08.2024).
- [39] FprEN 1995-1-1:2024 (E): Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
- [40] Mauerwerk Kalender 2024, 49. Jahrgang, D. Schermer und E. Brehm, 2024
- [41] Brinkmann, M.; Förster, V.: Überprüfung der Bemessungs- und Konstruktionsregeln nach Eurocode 6 auf THG-Treiber und Erarbeitung klimaoptimierter Regeln. BBF | Beck Brinkmann Förster Beratende Ingenieure (Darmstadt) für die Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen, PRB-PG5_0260, 07. Oktober 2024.
- [42] Der Prüfingenieur 65, November 2024, „Ressourcenschonende Gründungstechnologie zur Reduktion der CO₂-Emission: die Kombinierte Pfahl-Plattengründung“
- [43] Keller Insight, Ausgabe 2024. – In: https://www.kellergrundbau.at/sites/keller-at/files/2025-03/Keller_Magazin_24_deut_online_v1_large.pdf (Letzter Zugriff: 24. April 2025)
- [44] Mendler, A.; Mensinger, M.: Treibhausgasemissionen verschiedener Deckensysteme. – In: nbau. NACHHALTIG BAUEN, 21. Oktober 2024
- [45] Sachstandbericht Holz-Beton-Verbundkonstruktionen, Fassung November 2024, Holzbau Deutschland Institut e.V. (HDI), Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. (PRB), Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV)
- [46] DIN CEN/TS 19103:2022-02: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Berechnung von Holz-Beton-Verbundbauteilen - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [47] Heckmann, Michael; Glock, Christian: Ökobilanz im Bauwesen – Treibhausgasemissionen praxisüblicher Deckensysteme. – In: Beton- und Stahlbetonbau (118) Heft 2, Seiten 110 – 123 (2023)
- [48] Gengnagel, C.; Apellániz, D.: Lebenszyklusanalyse und parametrischer Raumentwurf – Stand der Technik und Ausblick. – In: nbau. NACHHALTIG BAUEN, 17. April 2023.
- [49] Carroll, C.; Alves de Souza, Y.; Salter, E.; Hunziker, R.; De Giovanetti, L.; Contucci, V.: Net-zero buildings. Where do we stand? Geneva: World Business Council for Sustainable

Development (2021). – In: <https://www.wbcsd.org/wp-content/uploads/2023/10/Net-zero-buildings-Where-do-we-stand-.pdf> (Letzter Zugriff: 28. März 2025)

- [50] Watson, N.: Lean Design: 10 things to do now. The Structural Engineer: journal of the Institution of Structural Engineer 98 (2020), No. 8, pp. 12–14, August 2020
- [51] R. Bechmann und S. Weidner: Graue Emissionen im Bauwesen – Bestandsaufnahme und Optimierungsstrategien. – In: DBV-Heft 50 Nachhaltiges Bauen mit Beton – Band 1: Graue Emissionen und Lösungsansätze zum Klimaschutz, Fassung Februar 2023, S. 11 – 23.
- [52] Warter, L.; Kromoser, B.: Ökologische Effizienz von Hochbaudecken - Aktuelle Systeme und Zukunftspotenzial. In: Beton- und Stahlbetonbau 118 (2023), Heft 1
- [53] Krinitzki, Ch.; Kaczorowski, M.; Hartz, Ch.: Zu konstruktionsbedingten Treibhausgasemissionen (GWP) in der Tragwerksplanung am Beispiel ausgewählter Decken- und Wandkonstruktionen im Hochbau. Bericht TU Dortmund, Oktober 2022.
- [54] Heckmann, M.; Glock, Ch.: Ökobilanz von Deckensystemen. In: 5. Sitzung AK KBB, 08.09.2022.
- [55] Quack, D.; Liu, R.: Ökobilanz Betondecken: Eine vergleichende Analyse von Spannbeton-Fertigdecken mit Halbfertigdecken und Massivdecken aus Ortbeton. Öko-Institut e. V., 2010. (DW)
- [56] Dietz, J.; Reinke, H. G.: Einfluss der Baukonstruktion auf die Lebenszykluskosten von Gebäude. Vortrag Bautechniktag 2015, Fachsitzung 7.
- [57] Holschemacher, K.; Kieslich, H.: Holz-Beton-Verbund. In: Beton-Kalender 2021, Band 1, Abschnitt IV.
- [58] Gengnagel, C.; Brechenmacher, E.: Kappe+ – Überprüfung einer traditionellen Bauweise auf ihre Leistungsfähigkeit für das Bauen von morgen. In: Bautechnik 2023, Heft 1.
- [59] DBV-Heft 50, Band 3, „Nachhaltiges Bauen mit Beton – Deckensysteme – Tragwerksentwurf für den Klimaschutz“
- [60] Verein Deutscher Zementwerke e.V.: Leitfaden zur CCC-Zertifizierung, Düsseldorf, 28. Januar 2025 – In: https://www.vdz-online.de/fileadmin/leistungen/zertifizierung/VDZ-Leitfaden_CCC-Zertifizierung.pdf (Letzter Zugriff: 31. Januar 2025)
- [61] Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. (BTB): Technisches Handbuch zum CO₂-Modul des Concrete Sustainability Council vom 24. Oktober 2023. – In: https://www.csc-zertifizierung.de/?edd_action=free_downloads_process_download&download_id=2951&price_ids=2951 (Letzter Zugriff: 31. Januar 2025)
- [62] Wirtschaftsvereinigung Stahl: Regelbuch für das Klassifizierungssystem im Low Emission Steel Standard (LESS) (Version 1.0, April 2024). – In: https://www.wvstahl.de/wp-content/uploads/20240422_Regelbuch_Klassifizierungssystem_LESS_v1.0.pdf (Letzter Zugriff: 31. Januar 2025)

- [63] FD P18-483-2_Ecoconception des structures en béton – Partie 2: specification des bétons pour des ouvrages à impact carbone réduit, mars 2025
- [64] NB Publication 37: Low-Carbon Concrete, NorwegianConcreteAssociation, 2020
- [65] DIN EN 15804/A2:2022-03: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
- [66] DIN EN ISO 14064-1:2019-06: Treibhausgase – Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene
- [67] DIN EN ISO 14067:2019-02: Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung
- [68] Attitude Building Collective: Ökobilanzierung in der Tragwerksplanung – Entwurfstafeln. – In:
https://attitudebuildingcollective.org/abc_download/2863/?key=tk2n6tz35hou7ssyutt0nw9hlipsst (Letzter Zugriff: 3. Januar 2025)
- [69] DIN EN 15804/A1:2013-05: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
- [70] Rogelj, J.; Shindell, D.; Jiang, K.; Fifita, S. et al. [Hrsg.]: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. New York: Cambridge University Press (2018), pp. 93-174.
- [71] Steinmann, J.; Röck, M.; Lützkendorf, T.; Allacker, K.; Le Den, X.: Whole life carbon models for the EU27 to bring down embodied carbon emissions from new buildings – Review of existing national legislative measures. Ramboll, October 2022 (<https://c.ramboll.com/reducing-whole-life-carbon>)
- [72] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): Leitmärkte für klimafreundliche Grundstoffe. – In:
<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/leitmaerkte-fuer-klimafreundliche-grundstoffe.pdf?blob=publicationFile&v=23> (Letzter Zugriff: 31. Januar 2025)
- [73] Dena-Gebäudereport 2022. Zahlen, Daten, Fakten, Herausgeber: Deutsche Energie-Agentur GmbH
- [74] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, Positionspapier: Vom Gebäudeenergiegesetz hin zu einem Gebäudeemissionsgesetz, Dezember 2024
- [75] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Vier Jahrzehnte GruSiBau – Ein Vorschlag für eine Fortschreibung – In: <https://www.dibt.de/de/aktuelles/meldungen/nachricht-detail/meldung/vier-jahrzehnte-grusibau-ein-vorschlag-fuer-eine-fortschreibung> (Letzter Zugriff: 29. April 2025)

- [76] Ingenieurkammer-Bau Nordrhein-Westfalen: Informationen für Tragwerksplanende und Geotechnikerinnen bzw. Geotechniker zur Reduktion des Treibhausgaspotenzials und zur Verbesserung der Kreislauffähigkeit von Bauwerken – In: <https://ikbaunrw.de/kammer-wAssets/docs/Meldungen/Informationen-fuer-Tragwerksplanende-und-Geotechniker-zur-Reduktion-des-Treibhauspotenzials.pdf> (Letzter Zugriff: 07. Mai 2025)
- [77] DIN EN 197-5:2021-07: Zement - Teil 5: Portlandkompositzement CEM II/C-M und Kompositzement CEM VI; Deutsche Fassung EN 197-5:2021
- [78] DIN 488-1:2009-08: Betonstahl - Teil 1: Stahlsorten, Eigenschaften, Kennzeichnung
- [79] Technische Regel Instandhaltung von Betonbauwerken (TR Instandhaltung): Teil 1 – Anwendungsbereich und Planung der Instandhaltung, Teil 2 – Merkmale von Produkten oder Systemen für die Instandsetzung und Regelungen für deren Verwendung, Fassung Mai 2020, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
- [80] DAfStb-Richtlinie Betondecken und -dächer aus Fertigteilhohlplatten (Januar 2023)

Anhang A: Teilprojekte der verschiedenen Arbeitspakete und in der Projektleitung

Die drei Arbeitspakete wurden in Teilprojekten umgesetzt. Die nachfolgenden Tabellen geben hierzu eine Übersicht.

Tabelle A.1: Teilprojekte im Arbeitspaket 1 – Stärken des Machbaren

Projekt	Bearbeitungsgremien und -inhalte	Verant-wortlich	Schluss-bericht	Ergebnis		
				Recherche	Normtext	Empfehlung Bauaufsicht
Priorisierung von Grundanforderungen	Bearbeitung in 5 Sitzungen der DBV/BVPI/VBI-Projektgruppe	Meyer / Stratmann	Abschnitt 5.1	x		x
THG-Treiber bei Lasteinwirkungen	Bearbeitung durch die PG1	Jäger / Urban / Stratmann	Abschnitte 6.2.1 und 7.3.2	x	x	
THG-Treiber im Betonbau	Bearbeitung durch die PG2	Fingerloos / Urban / Meyer	Abschnitte 6.2.2 und 7.3.3	x	x	
Klimaoptimierte Deckensysteme	Bearbeitung im DBV in Abstimmung mit externen Ingenieurbüros	Urban / Lindorf	Abschnitt 6.3.2	x		
THG-Treiber im Stahlbau	Bearbeitung durch die PG3	Heyde / Siebers	Abschnitte 6.2.3 und 7.3.4	x	x	
THG-Treiber im Holzbau	Bearbeitung durch die PG4	Niedermeyer / Sieder / Dieren	Abschnitte 6.2.4 und 7.3.5	x	x	
THG-Treiber im Mauerwerksbau	Bearbeitung durch die PG5	Förster / Brinkmann	Abschnitte 6.2.5 und 7.3.6	x	x	
THG-Treiber in der Geotechnik	Bearbeitung durch die PG6	Wudtke	Abschnitte 6.2.6 und 7.3.7	x	x	
HBV-Sachstandbericht	Bearbeitung in einem GAK von HDI und DBV	Meyer / Lindorf	Abschnitt 6.2.7			x

Tabelle A.2: Teilprojekte im Arbeitspaket 2 – Schaffen von Möglichkeiten

Projekt	Bearbeitungsgremien und -inhalte	Verant-wortlich	Schluss-bericht	Ergebnis		
				Recherche	Normtext	Empfehlung Bauaufsicht
Konkretisierung des Abschnittes 4.7 in EN 1990	Regelmäßige Sitzungen der Projektleitung, Sitzungen des NA 005-51-01	Meyer / Fingerloos	Abschnitt 7.3.1		x	
DAfStb THG-Richtlinie	Sitzungen des DAfStb-TA und weitere Sondertreffen	Meyer / Urban	Abschnitt 8.5	x		

Tabelle A.3: Teilprojekte im Arbeitspaket 3 – Nachweis des Möglichen

Projekt	Bearbeitungsgremien und -inhalte	Verant-wortlich	Schluss-bericht	Ergebnis		
				Recherche	Normtext	Empfehlung Bauaufsicht
Treibhausgas-reduktionspfade	Bearbeitung in 5 Sitzungen der DBV/BVPI/VBI-Projektgruppe	Stratmann / Meyer	Abschnitt 8.2	x		x
Benchmarks	Bearbeitung in 5 Sitzungen der DBV/BVPI/VBI-Projektgruppe	Urban / Stratmann	Abschnitt 8.3	x		x

Anhang B: Fragebogen

PRB Forschung - Nachhaltigkeit

1. Wie beurteilen Sie das Wissen in Ihrem Büro zum Thema Nachhaltigkeit in der Tragwerksplanung (für Planer) und Nachhaltigkeit auf der Rohbaustelle (für Bauausführende)?

hoch
 mittel
 gering

2. Gibt es in Ihrem Unternehmen eine ausgewiesene Abteilung oder Person, die sich mit dem Thema Nachhaltigkeit beschäftigt?

Abteilung
 Einzelperson
 kein spezieller Beauftragter

3. Für Planer: In wie vielen Fällen (Schätzung) wünschen Ihre Kunden (Bauherren) von Ihnen, dass Sie explizit Nachhaltigkeitsaspekte in der Planung berücksichtigen?

Keine Angabe: Ich arbeite in der Bauausführung
 100%
 75%
 50%
 25%
 0%

Bild 43: Umfrage zu Nachhaltigkeitsaktivitäten: Fragen 1 - 3

4. Für Bauausführende: In wie vielen Fällen (Schätzung) sind in Rohbau-Leistungsverzeichnissen Nachhaltigkeitsaspekte enthalten?

- Keine Angabe: Ich arbeite in der Planung
- 100%
- 75%
- 50%
- 25%
- 0%

5. Sind Ihre Kunden bereit, einen höheren Preis für mehr Nachhaltigkeit in Kauf zu nehmen?

- Ja
- Ja, aber eher Großunternehmen
- Ja, aber eher Kleinunternehmen
- Nein

6. Wer trägt aus Ihrer Sicht im Bauprozess zum erfolgreichen nachhaltigen Bauen bei? (Mehrfachnennungen möglich)

- Politik
- Bauherr/Öffentliche Hand
- Planer
- Baustoffhersteller
- Bauausführende

7. Wenn Sie sich festlegen müssten: Was sind aus Ihrer Sicht die zwei größten Hemmnisse beim nachhaltigen Bauen (**Bitte nur 2 Antwortmöglichkeiten auswählen**)?

- Kosten/fehlende Anreizsysteme
- Fehlendes Wissen
- Mehraufwand auf der Baustelle
- Fehlende Technologien
- Unklare Regelwerkssituation

Bild 44: Umfrage zu Nachhaltigkeitsaktivitäten: Fragen 4 - 7