



Claus Jürgen Diederichs
Konrad Nübel
Aileen Schubert
Marcel Schlicke *Hrsg.*

Kompendium Nachhaltige Bauwerke - Hochbauten

integral entwickeln, realisieren,
nutzen, modernisieren



Springer Vieweg

Kompendium Nachhaltige Bauwerke - Hochbauten

Claus Jürgen Diederichs • Konrad Nübel •
Aileen Schubert • Marcel Schlicke
Hrsg.

Kompendium Nachhaltige Bauwerke - Hochbauten

integral entwickeln, realisieren, nutzen,
modernisieren

mit 276 Abbildungen und 46 Tabellen

Hrsg.

Claus Jürgen Diederichs
Lehrstuhl für Bauprozessmanagement
Technische Universität München
München, Deutschland

Konrad Nübel
Lehrstuhl für Bauprozessmanagement
Technische Universität München
München, Deutschland

Aileen Schubert
Lehrstuhl für Bauprozessmanagement
Technische Universität München
München, Deutschland

Marcel Schlicke
Lehrstuhl für Bauprozessmanagement
Technische Universität München
München, Deutschland

ISBN 978-3-658-49688-3

ISBN 978-3-658-49689-0 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-49689-0>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2026

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor*innen und die Herausgeber*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor*innen oder die Herausgeber*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Karina Danulat

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

Vorwort

„Die Umsetzung von Nachhaltigkeit ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für den langfristigen Fortbestand der Menschheit auf diesem Planeten Erde.“

Die Bundesregierung Deutschland will nach Artikel 143h des Grundgesetzes bis zum Jahr 2045 Klimaneutralität erreichen. Eine solche CO₂-Neutralität bedeutet, ein Gleichgewicht zwischen dem CO₂-Ausstoß und der Bindung in CO₂-Senken wie Wäldern, Böden und Ozeanen herzustellen. Zur Erreichung der Klimaneutralität ist maßgeblich die Dekarbonisierung des Gebäudebestandes erforderlich. Dies bedeutet, den CO₂-Ausstoß, der durch Heizen, Kühlen, die Stromversorgung sowie die Modernisierung und den Neubau von Gebäuden entsteht, durch Nutzung erneuerbarer statt fossiler Energiequellen und hohe Dämmung deutlich zu senken.

Die Bemühungen zur Erzielung der Nachhaltigkeit von Bauwerken (Hochbauten, Ingenieurbauwerken und Verkehrsanlagen) haben in Deutschland seit Beginn des Jahrtausends verstärkt eingesetzt. So wurde 2007 in Stuttgart die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB) mit inzwischen über 2800 Mitgliedsorganisationen gegründet. An Universitäten und Hochschulen wurden (Weiterbildungs-)Studiengänge für nachhaltiges Planen, Bauen und Betreiben eingerichtet. In den Kammern und Verbänden der Bau- und Immobilienwirtschaft werden laufend zahlreiche Kongresse und Seminare zur Nachhaltigkeit von Bauwerken veranstaltet. Die Erkenntnisse werden von Immobilienunternehmen, Planern/-innen, Bauunternehmen, Betreibern/-innen und Bestandshaltern zunehmend, jedoch vielfach nur zögerlich umgesetzt.

Die Herausgebenden fragten sich, ob und inwieweit bereits eine Wissensbasis für die Erzielung der Nachhaltigkeit von Bauwerken im Lebenszyklus durch die Beiträge aller an Entwicklung, Planung und Ausführung, Nutzung und Betrieb sowie Modernisierung Beteiligten existiere und kamen zu einer Lücke. Diese Erkenntnis führte zu dem Entschluss, Persönlichkeiten aus den genannten Bereichen einzuladen, sich an der Erstellung eines Kompendiums Nachhaltige Bauwerke, zunächst fokussiert auf Hochbauten, zu beteiligen, um aus den Beiträgen der Experten und Expertinnen eine Wissensbasis als „Kompendium Nachhaltige Bauwerke – Hochbauten“ zu erstellen. Die Umsetzung dieses Entschlusses ist in den sechs Sphären von Bauherren/-innen, Planung und Ausführung, Baustoffen, Nutzung und Betrieb, Projektberatung, Forschung und Best Practice in 37 Beiträgen mit zwei Einführungs- und einem Schlusskapitel für Zusammenfassung und Ausblick gelungen.

Das Kompendium ist mehr als eine reine Wissenssammlung. Es steht für einen Perspektivwechsel. Nachhaltiges Bauen erfordert integrales Denken, interdisziplinäre Zusammenarbeit und die Bereitschaft, bestehende Prozesse und Strukturen zu hinterfragen. Es verlangt, Verantwortung nicht nur innerhalb einzelner Rollen wahrzunehmen, sondern entlang des gesamten Lebenszyklus von Bauwerken zu denken und zu handeln.

Der Adressatenkreis des Kompendiums besteht einerseits aus den Bestandhaltern/-innen von Hochbauten und Investoren/-innen von Neubauten, die die gesetzlichen und regulatorischen Anforderungen zu erfüllen haben, aber auch aus eigenem Antrieb und Verantwortungsbewusstsein ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten wollen. Die Zielgruppe umfasst andererseits Praktiker und Praktikerinnen der Bauwirtschaft, die ihren Wissensstand erhöhen wollen, und Studierende der Architektur, des Bauingenieur-, Fachingenieur- und Immobilienwesens.

Das Kompendium ist ein Gemeinschaftswerk von 132 ehrenamtlich neben ihrer Berufsausübung tätigen Autorinnen und Autoren, die es gemeinsam mit dem Wissenschaftlichen Beirat, den weiteren drei Mitgliedern des Steuerungsteams und den vier Herausgebenden geschafft haben, die Idee Wirklichkeit werden zu lassen, aus verstreutem Einzelwissen eine integrale Wissensbasis zur Erzielung nachhaltiger Bauwerke, zunächst von Hochbauten im Bestand und im Neubau, zu erstellen. Honorare des Verlags fließen ausschließlich dem Lehrstuhl für Bauprozessmanagement der TU München unter derzeitiger Leitung von Konrad Nübel zu, um damit künftig die Bezahlung von Assistenten/-innen sicherzustellen für die Mithilfe bei der Ausdehnung der Betrachtung auch auf Ingenieurbauwerke und Verkehrsanlagen, ein Lexikon der wichtigsten Teilleistungen zur Nachhaltigkeit von Bauwerken mit Beschreibung, Beispielen und Literaturhinweisen zu erstellen und für die laufende Aktualisierung und Fortschreibung der Fachgruppenbeiträge zu sorgen.

Die vier Herausgebenden danken sehr herzlich allen im Verzeichnis ersichtlichen Autorinnen und Autoren, den im Beitrag „2. Beteiligte und Struktur des Kompendiums“ vorgestellten fünf Mitgliedern des Wissenschaftlichen Beirates und den weiteren Mitgliedern des Steuerungsteams für ihre Beiträge sowie den Mitwirkenden und Lektorinnen des Verlags Springer Vieweg, Frau Karina Danulat, Frau Verena Bracher, Frau Gabriele McLemore sowie in Indien Frau Nandhini Shivaji und Frau Viji Subramanian, die von Anfang an den Entstehungsprozess dieses Werkes unterstützt und sehr konstruktiv begleitet haben.

Bleiben Sie an Bord, kommen Sie als Expertin und Experte hinzu und beteiligen Sie sich aktiv, um dieses Pilotprojekt zu nachhaltigem Erfolg zu führen. Die möglichen Potenziale aus integraler agiler Zusammenarbeit im Dialog hat das vorliegende Kompendium deutlich werden lassen. Die Chancen einer solchen dialogbasierten Zusammenarbeit sind groß. Lassen Sie uns diese nutzen und die Zukunft des Bauens zum nachhaltigen Wohl der Natur und des menschlichen Zusammenlebens gestalten!

München, Deutschland
im Mai 2026

Claus Jürgen Diederichs
Konrad Nübel
Aileen Schubert
Marcel Schlicke

Inhaltsverzeichnis

Teil I	1
1 Einleitung	3
Konrad Nübel, Thomas Oebbecke und Claus Jürgen Diederichs	
2 Beteiligte und Struktur des Kompendiums	15
Konrad Nübel, Claus Jürgen Diederichs, Aileen Schubert und Marcel Schlicke	
Teil II Bauherrensphäre	25
3 Nachhaltigkeit durch Bauherren	27
Christian Langfeld, Anne Wiese, Veronika Ella Greilich und Cornelia Reimoser	
4 Nachhaltigkeit durch Investoren	53
Jasmin Friedrich, Konrad Hedemann, Maximilian Kriepe und Bing Zhu	
5 Nachhaltigkeit durch Projektentwicklung	69
Stefanie Clemens, Thomas Oebbecke, Melike Wirth, Christina Wendland, Marie Luise Berning, Laura Schürmann, Magdalena Wardenga, Ulrike Dreykluft, Bernd Bötzel und Stefanie Friedrichsen	
6 Nachhaltigkeit durch zirkuläre Kreislaufwirtschaft	151
Marc Blum, Barbara Hausmann und Thomas Pinger	
Teil III Planungs- und Ausführungssphäre	181
7 Nachhaltigkeit durch Architektur – Ein nachhaltiger Architekturkodex	183
Daja Christina Goesmann, Jutta Kalvelage, Wiebke Menz, Hans Nungeßer, Elise Pischetsrieder und Thomas Auer	
8 Nachhaltigkeit durch Projektmanagement	225
Luana Cortis, Niklas Erdle und Benjamin Pleuser	

9	Nachhaltigkeit durch Tragwerksplanung	259
	Angela Feldmann, Markus Hennecke, Peter Mayer, Andreas Mendler, Simone Stürwald und Agnes Weilandt	
10	Nachhaltigkeit durch Gebäudehülle und Fassadenplanung	293
	Barbara Siebert, Gert Siebert, Dominik Offereins, Michael Lange, Christopher Rathmann, Christian Schöner, Anette Ritter-Höll, Marc Klatecki, Tobias Herrmann, Andreas Haese, Gerhard Weber, Hans Pfeifer, Markus Blei und Eike Gehrts	
11	Nachhaltigkeit durch Technische Gebäudeausrüstung/ erneuerbare Energien	345
	Bernd Edenhofer, Carsten Herbert, Bernhard Keppler, Tobias Wimmer und Sophia Rödiger	
12	Nachhaltigkeit durch Bauphysik	409
	Peter Schmidt	
13	Nachhaltigkeit durch Geotechnik	447
	Bernd Bötzel, Carlo Rabaiotti und Steffen Leppla	
14	Nachhaltigkeit durch Bauunternehmen	473
	Johannes Wall, Christina Dallinger, Hursit Ibuk, Holger Kaiser, Karsten Beckhaus, Fabian Ritter und Josef Geiger	
Teil IV	Baustoffosphäre	501
15	Einleitung: Nachhaltigkeit durch Baustoffe	503
	Petra van der Wielen	
16	Nachhaltigkeit durch Beton	509
	Julian Biermann	
17	Nachhaltigkeit durch Stahl und Feuerverzinken	529
	Helen Bartsch und Marco Göllich	
18	Nachhaltigkeit durch Ziegel	549
	Juliane Nisse	
19	Nachhaltigkeit durch Holz	561
	Gregor Pfeifer	
20	Nachhaltigkeit durch Lehm	583
	Ipek Ölcüm und Sandra Sondern	
21	Nachhaltigkeit durch Hanf und Hanfkalk	599
	Niklas Fanelas, Roger Dauer, Henrik Pauly und Felix Drewes	
22	Nachhaltigkeit durch mehrjährige Biomasse	619
	Lüders Moll, Ralf Pude, Georg Völkerling und Jessica Rumpf	

23	Nachhaltigkeit durch Paludikulturen	629
	Anke Nordt und Bas Spanjers	
Teil V	Nutzungs- und Betriebssphäre	645
24	Nachhaltigkeit durch Nutzung	647
	Anne Wiese, Jana Löw, Marion Trapp, Rositsa Doneva-Kremser, Tanja Merkl und Helen Maier	
25	Nachhaltigkeit durch Betrieb und Bestandshaltung	681
	Jürgen Notz, Mariana Bleifuß, Michael Heigl und Christian Meysenburg	
Teil VI	Projektberatungssphäre	719
26	Nachhaltigkeit durch Recht und Regulatorik	721
	Robert Biedermann, Tobias Schneider, Moritz Püstow, Florian Dressel, Anne Baureis, Bianca Strobel und Stefan Latosik	
27	Nachhaltigkeit durch Daten und Künstliche Intelligenz	773
	Svenja Lauble, Niels Bartels, Stefan Gehder, Konrad Nübel und Michael Bühler	
28	Nachhaltigkeit durch Fördermittel	799
	Manuel Feller, Burkhard Touché und Alexander Rudolphi	
29	Nachhaltigkeit durch Zertifizierungen und Sachverständige	825
	Ines Adamik, Christian Müller und Dominik Ilgen	
30	Nachhaltigkeit durch Versicherungen	851
	Christian Schattenhofer, Torsten Löser, Kerstin Itau und Samuel Bauerle	
Teil VII	Nachhaltigkeit durch Forschung und Best Practice	883
31	Nachhaltigkeit durch aktuelle Forschung	885
	Werner Lang und Kathrin Theilig	
32	Forschung in der Nachhaltigkeit: Wiederverwendung von Stahlbetonbauteilen	897
	Aileen Schubert, Jonas Geng, Robin Mecka, Freek Paul Bos, Konrad Nübel und Oliver Fischer	
33	Best Practice in der Nachhaltigkeit: Forschungszentrum Jülich ..	915
	Susanne Hoffmann, Martin Wirtz und André Xhonneux	
34	Best Practice in der Nachhaltigkeit: GeoForschungsZentrum Potsdam	925
	Gregor Ulrich	

35	Best Practice in der Nachhaltigkeit: Madaster	933
	Patrick Bergmann und Franziska Albrecht	
36	Best Practice in der Nachhaltigkeit: Angularis	941
	Marc Maier und Sebastian Müller	
Teil VIII	Fazit	947
37	Zusammenfassung und Ausblick	949
	Claus Jürgen Diederichs	
Stichwortverzeichnis		1013

Autorenverzeichnis

Ines Adamik Sachverständige Nachhaltigkeit, Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Flintsbach, Deutschland

Franziska Albrecht Madaster, Berlin, Deutschland

Thomas Auer TUM/Transsolar, München, Deutschland

Niels Bartels Technische Hochschule Köln, Köln, Deutschland

Helen Bartsch Lehrstuhl für Stahlbau und Leichtmetallbau, Institut für Stahlbau, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland

Samuel Bauerle Porsche Consulting, München, Deutschland

Anne Baureis Fachanwältin für Bau- und Architektenrecht, Kapellmann Rechtsanwälte, Hamburg, Deutschland

Karsten Beckhaus Technical Support, BAUER Spezialtiefbau GmbH, Schrobenehausen, Deutschland

Patrick Bergmann Madaster, Berlin, Deutschland

Marie Luise Berning Instone Real Estate Development GmbH, Stuttgart, Deutschland

Robert Biedermann Prof. Hauth & Partner Rechtsanwälte, München, Deutschland

Julian Biermann InformationsZentrum Beton GmbH, Düsseldorf, Deutschland

Markus Blei iPb Ingenieurbüro, Gundelfingen, Deutschland

Mariana Bleifuß OPES Immobilien, Oberhaching, Deutschland

Marc Blum Initiative ZINKSTAHL gGmbH, Gelsenkirchen, Deutschland

Freek Paul Bos Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität, München, Deutschland

Bernd Bötzel HTW Berlin, Berlin, Deutschland

Planufaktur GmbH, Berlin, Deutschland

Michael Bühler Fakultät Bauingenieurwesen, HTWG Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung, Konstanz, Deutschland

Stefanie Clemens hanikabau – Franz Hanika Baugesellschaft mbH, Haar, Deutschland

Luana Cortis KVL Projektentwicklung Plus GmbH, Berlin, Deutschland

Christina Dallinger Ed. Züblin AG, Stuttgart, Deutschland

Roger Dauer CannaBau Technik, Nutzhanf Netzwerk e.V., Berlin, Deutschland

Claus Jürgen Diederichs Lehrstuhl für Bauprozessmanagement, Technische Universität München, München, Deutschland

Lehrstuhl für Bauwirtschaft, Baumanagement, Baurecht und Unternehmensführung, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, Deutschland

Rositsa Doneva-Kremser Münchner Wohnen GmbH, München, Deutschland

Florian Dressel Bau- und Architektenrecht, Loschelder Rechtsanwälte, Köln, Deutschland

Felix Drewes Klimapraxis gUG, Hochschule Merseburg, Nutzhanf Netzwerk e.V., Merseburg, Deutschland

Ulrike Dreykluft Hines Immobilien GmbH, Berlin, Deutschland

Bernd Edenhofer Lehrbeauftragter TH-Nürnberg, EDENHOFER Ingenieurbüro GmbH, Nürnberg, Deutschland

Niklas Erdle KVL Projektentwicklung Plus GmbH, Berlin, Deutschland

Niklas Fanelsa Technische Universität München, München, Deutschland

Angela Feldmann B+G Ingenieure Bollinger + Grohmann GmbH, München, Deutschland

Manuel Feller Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB, Hamburg, Deutschland

Oliver Fischer Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität, München, Deutschland

Jasmin Friedrich Deloitte, Heidelberg, Deutschland

Stefanie Friedrichsen FB BAU, FH Münster, Münster, Deutschland

Stefan Gehder Leiter Fachstandort Gebäudeautomation, Goldbeck GmbH, Bielefeld, Deutschland

Eike Gehrts Selbständiger technischer Berater für Fenster, Türen und Holzwerkstoffe, Linden, Deutschland

Josef Geiger Geiger Gruppe, Oberstdorf, Deutschland

Jonas Geng Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität, München, Deutschland

Daja Christina Goesmann Bereichsleitung Nachhaltigkeit, Hitzler Ingenieure/DVP, München, Deutschland

Marco Göllrich Industrieverband Feuerverzinken e.V., Düsseldorf, Deutschland

Veronika Ella Greilich Munich Re, München, Deutschland

Andreas Haese Technische Hochschule Rosenheim, München, Deutschland

Barbara Hausmann CEO, Hausmann Consulting GmbH, St. Gallen, St. Gallen, Schweiz

Konrad Hedemann Technische Universität München (TUM), München, Deutschland

Michael Heigl Wüest Partner, München, Deutschland

Markus Hennecke ZMI-München GmbH, München, Deutschland

Carsten Herbert Energiesparkommissar, Darmstadt, Deutschland

Tobias Herrmann Dr. Siebert und Partner Beratende Ingenieure PartGmbH, Rosenheim, Deutschland

Susanne Hoffmann Intelligent Campus (TB-X), Forschungszentrum Jülich, Jülich, Deutschland

Hursit Ibuk Bauer Spezialtiefbau GmbH, Schrobenhausen, Deutschland

Dominik Ilgen Lang Hugger Rampp Architekten GmbH, München, Deutschland

Kerstin Itau Löser & Consultants GmbH & Co. KG, Eltville am Rhein, Deutschland

Holger Kaiser Bauer Resources, Schrobenhausen, Deutschland

Jutta Kalvelage Architektin, Diederichs Projektmanagement AG & Co. KG, München, Deutschland

Bernhard Keppler Eichenau, Deutschland

Marc Klatecki K&P Bauphysik GmbH, Fuldabrück, Deutschland

Maximilian Kreipe Porsche Consulting, Stuttgart, Deutschland

Werner Lang Technische Universität München, München, Deutschland

Michael Lange Ing.-GmbH, Hannover, Deutschland

Christian Langfeld Helmholtz Kompetenznetzwerk Klimagerecht Bauen, Berlin, Deutschland

Stefan Latosik Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht, Kapellmann Rechtsanwälte, Hamburg, Deutschland

Svenja Lauble Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

Steffen Leppla Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurt am Main, Deutschland

Torsten Löser Löser & Consultants GmbH & Co. KG, Eltville am Rhein, Deutschland

Jana Löw Munich Re, München, Deutschland

Helen Maier Münchner Wohnen GmbH, München, Deutschland

Marc Maier ANGULARIS GmbH, München, Deutschland

Peter Mayer Ingenieurbüro Peter Mayer, Schwabmünchen, Deutschland

Robin Mecka Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität, München, Deutschland

Andreas Mender nachhaltige Tragwerksplanung, Mender Ingenieur Consult, Windach, Deutschland

Wiebke Menz Architektin, Diederichs Projektmanagement AG & Co. KG, Berlin, Deutschland

Tanja Merkl Münchner Wohnen GmbH, München, Deutschland

Christian Meysenburg SRH Hochschule Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

Lüders Moll Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn, Rheinbach, Deutschland

Christian Müller Savvy GmbH, Nachhaltigkeit, Zertifizierung nach DGNB, CSRD & Supply Chain, Gutachten, München, Deutschland

Sebastian Müller right. based on science GmbH, Frankfurt am Main, Deutschland

Juliane Nisse Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., Berlin, Deutschland

Anke Nordt Universität Greifswald, Partner im Greifswald Moor Centrum, Greifswald, Deutschland

Jürgen Notz Ehret+Klein AG, Starnberg, Deutschland

Konrad Nübel Lehrstuhl für Bauprozessmanagement, Technische Universität München, München, Deutschland

Hans Nungeßer JMN Architekten PartmbB, Karlsruhe, Deutschland

Thomas Oebbecke sat – sustain ability team GmbH & Co. KG, Ratingen, Deutschland

Dominik Offereins Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, Deutschland

Ipek Ölcüm Geschäftsführerin, Industrieverband Lehmbaumstoffe e.V., Berlin, Deutschland

Henrik Pauly Hanfingenieur, Nutzhanf Netzwerk e.V., Tübingen, Deutschland

Gregor Pfeifer Hauptverband der Deutschen Holzindustrie und Kunststoffe verarbeitenden Industrie und verwandter Industrie- und Wirtschaftszweige e.V. (HDH), Berlin, Deutschland

Hans Pfeifer Ing. Büro, Aalen, Deutschland

Thomas Pinger ZINQ Technologie GmbH, Gelsenkirchen, Deutschland

Elise Pischetsrieder Geschäftsführerin, weberbrunner architekten berlin, Berlin, Deutschland

Benjamin Pleuser KVL Bauconsult Hamburg GmbH, Berlin, Deutschland

Ralf Pude Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn, Rheinbach, Deutschland

Außenlabore Campus Klein-Altendorf, Universität Bonn, Rheinbach, Deutschland

Moritz Püstow KPMG LAW, Berlin, Deutschland

Carlo Rabaiotti Ostschweizer Fachhochschule, St. Gallen, Schweiz

Christopher Rathmann Fassade, Würzburg, Deutschland

Cornelia Reimoser Dawonia Management GmbH, München, Deutschland

Fabian Ritter Geiger Gruppe, Oberstdorf, Deutschland

Anette Ritter-Höll Ritter Stone GmbH, München, Deutschland

Sophia Rödiger 1KOMMA5°, Hamburg, Deutschland

Alexander Rudolphi Rudolphi + Rudolphi GmbH, DGNB, Berlin, Deutschland

Jessica Rumpf Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn, Rheinbach, Deutschland

Christian Schattenhofer VHV Allgemeine Versicherungen, Hannover, Deutschland

Marcel Schlicke Lehrstuhl für Bauprozessmanagement, Technische Universität München, München, Deutschland

Peter Schmidt Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät/Department Bauingenieurwesen/Arbeitsgruppe Baukonstruktion, Ingenieurholzbau und Bauphysik, Universität Siegen, Siegen, Deutschland

Tobias Schneider Bau- und Architektenrecht, Kapellmann Rechtsanwälte, München, Deutschland

Christian Schöner Rathmann + Partner | Fassadenplanung, Würzburg, Deutschland

Aileen Schubert Lehrstuhl für Bauprozessmanagement, Technische Universität München, München, Deutschland

Laura Schürmann Hines Immobilien GmbH, Berlin, Deutschland

Barbara Siebert Dr. Siebert und Partner Beratende Ingenieure PartGmbH, München, Deutschland

Geralt Siebert Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, Deutschland

Sandra Sondern Freie Architektin LEHMBAU.BÜRO, Fachkraft Lehm-
bau, LEHMBAU.BÜRO, Planungsbüro für Nachhaltige Architektur, Konstanz, Deutschland

Bas Spanjers Universität Greifswald, Partner im Greifswald Moor Centrum, Greifswald, Deutschland

Bianca Strobel Kapellmann Rechtsanwälte, Düsseldorf, Deutschland

Simone Stürwald OST – Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil, Schweiz

Kathrin Theilig Technische Universität München, München, Deutschland

Burkhard Touché Fördermittelberatung, Berlin, Deutschland

Marion Trapp Munich Re, München, Deutschland

Gregor Ulrich Technische Dienste, GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung, Potsdam, Deutschland

Petra van der Wielen Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, Deutschland

Georg Völkerling Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Universität Bonn, Rheinbach, Deutschland

Johannes Wall Ed. Züblin AG, Stuttgart, Deutschland

Magdalena Wardenga Hines Immobilien GmbH, Berlin, Deutschland

Gerhard Weber IFP – Weber GmbH, Argenbühl, Deutschland

Agnes Weilandt Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurt, Deutschland

Christina Wendland Art-Invest Real Estate Management GmbH & Co. KG, Köln, Deutschland

Anne Wiese Munich Re, München, Deutschland

Tobias Wimmer Wärme-Wimmer GmbH, Gröbenzell, Deutschland

Melike Wirth die developer Projektentwicklung GmbH, Düsseldorf, Deutschland

Martin Wirtz Intelligent Campus (TB-X), Forschungszentrum Jülich, Jülich, Deutschland

André Xhonneux Institute of Climate and Energy Research, Energy Systems Engineering (ICE-1), Forschungszentrum Jülich, Jülich, Deutschland

Bing Zhu Technische Universität München (TUM), München, Deutschland

Teil I

Konrad Nübel, Thomas Oebbecke und Claus Jürgen Diederichs

Inhalt

1.1	Einführung	4
1.2	Konzept, Zykluszeit und Geschichte der Nachhaltigkeit	5
1.2.1	Konzept der Nachhaltigkeit	6
1.2.2	Zykluszeit und Langfristigkeit	6
1.2.3	Geschichte der Nachhaltigkeit	7
1.3	Leitprinzipien der Nachhaltigkeit	7
1.4	Betrachtungsrahmen und Wirkungsraum	8
1.5	Vorrangige Nachhaltigkeitsziele für Bauwerke	9
1.6	Skaleneffekte und regulatorische Rahmenbedingungen	10
1.7	Konkrete Ansätze zur Umsetzung von Nachhaltigkeit im Bauwesen	11
1.8	Nachhaltigkeit durch kontinuierliches Lernen	12
1.9	Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit und Nachhaltigkeit 4.0	12
1.10	Gesellschaftlicher Dialog und Triebkräfte	13
1.11	Schlussfolgerung	13
	Literatur	14

K. Nübel (✉)

Lehrstuhl für Bauprozessmanagement, Technische Universität München, München, Deutschland

E-Mail: konrad.nuebel@tum.de

T. Oebbecke

sat – sustain ability team GmbH & Co. KG, Ratingen, Deutschland

E-Mail: t.oebbecke@s-a-t.net

C. J. Diederichs

Lehrstuhl für Bauprozessmanagement, Technische Universität München, München, Deutschland

Lehrstuhl für Bauwirtschaft, Baumanagement, Baurecht und Unternehmensführung, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, Deutschland

E-Mail: cjd@dsb-diederichs.de

Zusammenfassung

Zielsetzung dieses Kompendiums ist es, das aktuell vorhandene Expertenwissen der mehr als 100 Autorinnen und Autoren als Experten zur Nachhaltigkeit von Bauwerken aus über 30 Fachgruppen von Stakeholdern zu einer Wissensbasis über den Lebenszyklus von Hochbauten zu aggregieren, zu strukturieren, zu beschreiben und künftig laufend zu aktualisieren. Damit ist das Kompendium als Leitfaden und Referenzwerk für nachhaltiges Entwickeln, Planen, Bauen und Betreiben gedacht, das die Prinzipien und Praktiken über den Lebenszyklus aufzeigt, welche die Anforderungen der Nachhaltigkeit erfüllen können. Der Adressatenkreis des Kompendiums besteht einerseits aus den Bestandshaltern von Hochbauten sowie Investoren von Neubauten, welche die zahlreichen gesetzlichen und regulatorischen Anforderungen zu erfüllen haben, aber auch aus eigenem Antrieb, innerer Überzeugung sowie zur Stärkung ihres Bewusstseins und ihrer Verantwortung ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten wollen. Die Zielgruppen umfassen andererseits die zahlreichen Praktiker der Bauwirtschaft, die ihren Wissensstand auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit von Bauwerken im Lebenszyklus erhöhen wollen, und die Studierenden der Architektur und des Bau- und Immobilienwesens. Das Einführungskapitel beschreibt in jeweils knapper Form das Konzept, die Zykluszeit, Geschichte und Leitprinzipien der Nachhaltigkeit sowie die vorrangigen Nachhaltigkeitsziele für Bauwerke und konkreten Maßnahmen zur Umsetzung von Nachhaltigkeit im Bauwesen. Abschließend folgt der Appell, dass die Realisierung der Nachhaltigkeitsziele nur durch gesellschaftlichen Dialog und die Triebkräfte aus Politik, Recht, Wirtschaft, Bildung, Wissenschaft, Kultur und Ethik erreicht werden kann.

1.1 Einführung

Zielsetzung dieses Kompendiums ist es, das aktuell vorhandene Expertenwissen der mehr als 100 Autorinnen und Autoren als zahlreichen Experten zur Nachhaltigkeit von Bauwerken aus über 30 Fachgruppen von Stakeholdern zu einer Wissensbasis über den Lebenszyklus zu aggregieren, zu strukturieren, zu beschreiben und künftig laufend zu aktualisieren.

Damit ist das Kompendium als Leitfaden und Referenzwerk für nachhaltiges Entwickeln, Planen, Bauen und Betreiben gedacht, das die Prinzipien und Praktiken über den Lebenszyklus aufzeigt, die den Anforderungen der Nachhaltigkeit entsprechen. Der Leser soll durch die komplexe Landschaft der Nachhaltigkeit im Bauwesen geführt werden und dabei die Notwendigkeit für einen grundlegenden Wandel in der Art und Weise erkennen, wie Bauwerke nachhaltig entwickelt, geplant, gebaut und genutzt werden. Dieses Kompendium bettet das traditionelle Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit – Ökologie, Soziales und Ökonomie – in den modernen Kontext der „Nachhaltigkeit 4.0“ mit einer ergänzenden ganzheitlichen Perspektive, die wirtschaftsethische Betrachtungen und fortschrittliche Technologien wie die künstliche Intelligenz umfasst.

Jeder Abschnitt dieses Kompendiums soll nicht nur die theoretischen Grundlagen vermitteln, sondern vor allem konkrete Ansätze und bewährte Methoden wie Kreislaufwirtschaft, Hybridlösungen und Technologiebrücken zur Förderung der Resilienz und Zukunftsfähigkeit der Bauwerke anbieten. Alle Bauschaffenden sind aufgefordert, bestehende Geschäftsmodelle kritisch zu hinterfragen und Wege aufzuzeigen, wie durch innovative Praktiken nachhaltige Transformationen in der Bau- und Immobilienwirtschaft realisiert werden können.

Das Kompendium soll als laufend zu aktualisierende Wissensbasis für die Nachhaltigkeit von Bauwerken dienen, die sowohl aktuell als auch in der Zukunft Bestand haben – ökologisch verantwortungsvoll, sozial gerecht und ökonomisch rentabel.

Der Adressatenkreis des Kompendiums besteht einerseits aus den Bestandshaltern von Bauwerken sowie Investoren von Neubauten, die u. a. die Anforderungen nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG), künftig Gebäudemodernisierungsgesetz (GModG) zu erfüllen haben. Allein diese Forderung löst bei vielen Bestandshaltern und Investoren zahlreiche Fragen auf, zu denen sie Antworten im Kompendium finden sollen. Bestandshalter und Investoren handeln zunehmend auch aus eigenem Antrieb und innerer Überzeugung, da sie durch Stärkung ihres Bewusstseins und ihrer Verantwortung ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit und damit zum Erhalt der Bewohnbarkeit der Erde leisten wollen.

Die Zielgruppen des Kompendiums umfassen andererseits:

Praktiker der öffentlichen und gewerblichen Auftraggeber, der Bauplaner und Bauunternehmer, Bausachverständigen und Baujuristen, die ihren Wissensstand auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit von Bauwerken im Lebenszyklus erhöhen wollen und Studierende der Architektur, des Bauingenieurwesens, der Technischen Gebäudeausrüstung, der Immobilienwirtschaft und des Baurechts, vorrangig in den Masterstudiengängen und auch Weiterbildungsstudiengängen für Sustainable Real Estate & Construction Project Management.

Da durch Literaturrecherchen bisher im In- und Ausland kein ähnliches Werk wie das vorliegende Kompendium gefunden wurde, ist zu erwarten, dass dieses auch internationale Nachfrage und damit nicht nur im deutschsprachigen Raum Verbreitung finden wird.

Die ständige Erweiterung des Wissens- und Erfahrungsstandes erfordert die laufende Aktualisierung des Kompendiums, verbunden mit der Einladung an bisher nicht eingebundene Experten der Nachhaltigkeit von Bauwerken, sich mit ihren Kenntnissen und Erfahrungen an der Aktualisierung zu beteiligen.

1.2 Konzept, Zykluszeit und Geschichte der Nachhaltigkeit

Die Akteure des Bauens sind mit der Anwendung von unterschiedlichen Technologien zur Erzielung von Nutzungszielen meist sehr vertraut, nicht jedoch mit der Abschätzung der Folgen ihrer Tätigkeit, d. h. der Bewertung von nachhaltigem Entwickeln, Planen, Bauen und Betreiben. Ein Nachhaltigkeitsmodell muss Aussagen treffen können, welche Auswirkungen bestimmte Bauweisen und Bauwerke haben.

Ziel ist es, Bauwerke, sei es in der Neuplanung oder in der Modernisierung, so zu gestalten, dass auch bei einer langfristigen Betrachtung negative Implikationen auf einen zu definierenden Betrachtungsraum möglichst gering bleiben oder, noch besser, dass die Bauwerke das betrachtete System insgesamt nachhaltiger machen. Zunächst muss daher definiert werden, was unter negativen Implikationen sowie positiven Veränderungen zu verstehen ist und welcher Betrachtungsraum berücksichtigt werden muss.

1.2.1 Konzept der Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit im Bauen bedeutet, die vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen ökologischen, sozialen und ökonomischen Aspekten zu berücksichtigen. Der Kybernetiker Gotthard Günther betont die Notwendigkeit, verschiedene Kontexte und ihre Wechselwirkungen gleichzeitig zu betrachten. Dies bedeutet, dass Bauprojekte auf unterschiedlichen Ebenen (Metropolregion, Stadtraum, Bauwerk) analysiert und ihre Auswirkungen über verschiedene Zeiträume hinweg bewertet werden müssen. Diese Betrachtungsweise hat tiefgreifende Folgen für das Entwickeln, Planen, Bauen und Betreiben von Bauwerken bzw. Infrastrukturen und erfordert die Fähigkeit, die langfristigen Auswirkungen von Bauprojekten zu antizipieren, zu koordinieren und zu steuern (Günther, 1978).

1.2.2 Zykluszeit und Langfristigkeit

Ein entscheidender Aspekt der nachhaltigen Baupraxis ist die Berücksichtigung der Zykluszeiten. Ein nachhaltiges Bauwerk zu entwickeln, zu planen, zu bauen und zu betreiben erfordert eine tiefgehende Betrachtung der verschiedenen Auswirkungen, die sich über kurzzyklische (1–5 Jahre), mittelzyklische (5–30 Jahre) und langzyklische (30–100 Jahre) Zeiträume erstrecken. Traditionell geht man im Bauwerkskontext von einem Lebenszyklus von 50 Jahren aus, wobei die tragende Baukonstruktion ein Vielfaches dieses Wertes betragen kann, die Ausbaugewerke und die technische Ausrüstung überwiegend einen kürzeren Lebenszyklus aufweisen. Langfristigkeit im Sinne der Nachhaltigkeit bedeutet, über den aktuellen Moment hinaus zu denken und die Auswirkungen unserer Entscheidungen auf zukünftige Generationen oder sogar Jahrhunderte zu berücksichtigen. Dabei ist zu beachten, dass langfristig nicht bedeutet, alle Details der Zukunft vorherzusagen. Diese Vorstellung scheint in unserer hochkomplexen Welt nicht zielführend oder eine falsche Annahme zu sein. Wir müssen davon ausgehen, dass unsere Modelle unvollständig sind und immer nur einen räumlich und zeitlich begrenzten Ausschnitt abbilden. Das bedeutet nicht, dass Modelle nichts helfen – im Gegenteil, sie sind äußerst wichtig, um überhaupt Aussagen treffen zu können. Wir müssen uns aber darüber im Klaren sein, dass sie nicht vollständig sind. Entscheidungen müssen daher von allen Akteuren im Lebenszyklus von Bauwerken getroffen werden. Es bedeutet vielmehr, dass wir ein Bewusstsein für die möglichen zukünftigen Auswirkungen unserer Entscheidungen haben, in Szenarien denken und versuchen, Entscheidungen zu treffen, die langfristig positive Ergebnisse fördern (Sobek, 2023).

Dieser langfristige Ansatz geht zurück auf Hans Carl von Carlowitz, der erstmals 1713 in seinem Werk „*Sylvicultura Oeconomica*“ im Rahmen der forstwirtschaftlichen Nachhaltigkeit Zielkorridore definierte und damit den Grundstein zum heutigen Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit legte. Er postulierte, dass nachhaltige Entwicklung nur durch das gleichzeitige und gleichberechtigte Umsetzen von umweltbezogenen, sozialen und wirtschaftlichen Zielen erreicht werden kann (Carlowitz, 1713).

1.2.3 Geschichte der Nachhaltigkeit

Die Umweltkonferenz in Rio de Janeiro 1992 verabschiedete Leitlinien für verantwortungsbewusstes globales Handeln und betonte die Notwendigkeit von Nachhaltigkeit. An der Konferenz nahmen rund 10.000 Delegierte aus 178 Staaten teil. Damit markierte die Konferenz nicht nur einen Meilenstein in der Klimaschutzdebatte, sondern führte zu den bis heute bedeutendsten globalen Vereinbarungen. Die Ergebnisse des Weltgipfels umfassten 27 Grundsätze, aus denen sich in Verbindung mit weiteren Konventionen nach 1992 nachfolgende sechs weitreichende Schwerpunkte extrahieren lassen, die den Durchbruch für eine globale Umwelt- und Entwicklungspartnerschaft markieren (United Nations, 1992a, e; Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2024).

1.3 Leitprinzipien der Nachhaltigkeit

An dieser Stelle kann kein umfassender Überblick gegeben werden. Es werden bewusst nur verschiedene Aspekte herausgegriffen, die für den nachhaltigen Hochbau relevant sind

1. Vorsorge- und Verursacherprinzip

Diese Prinzipien sind unabdingbare Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung. Sie beinhalten die Bekämpfung von Armut, eine entsprechende Bevölkerungspolitik sowie die Verringerung und den Abbau nicht nachhaltiger Konsum- und Produktionsweisen. Ebenso wichtig ist die grundsätzliche Einbeziehung der Bevölkerung in politische Entscheidungsprozesse bis hin zur Aufnahme der nachhaltigen Entwicklung in die Verfassungen der einzelnen Staaten (United Nations, 1992d).

2. Klimaschutzkonvention

Die Rahmenkonvention der Vereinten Nationen über Klimaveränderungen sieht vor, dass die Belastung der Atmosphäre mit Treibhausgasen auf einem Niveau stabilisiert wird, welches eine gefährliche Störung des Weltklimas verhindert. Nach damaliger Einschätzung des IPCC muss der Ausstoß an CO₂ bis 2050 weltweit um mindestens 60 % reduziert werden (United Nations, 1992c).

3. Biodiversitätskonvention

Diese Konvention zielt auf den Schutz der biologischen Vielfalt ab. Die Nutzung der biologischen Ressourcen muss so erfolgen, dass die biologische Vielfalt langfristig nicht weiter gefährdet wird. Die Länder haben das Recht, über ihre biologischen Ressourcen zu verfügen, sind aber auch dafür verantwortlich,

dass diese auf nachhaltige Weise genutzt werden (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2011).

4. **Walddeklaration**

Diese Deklaration stellt Leitsätze für die Bewirtschaftung, Erhaltung und nachhaltige Entwicklung der Wälder der Erde auf. Wälder sollen nach ökologischen Maßstäben bewirtschaftet, erhalten und geschützt werden (United Nations, 1992b).

5. **Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung**

Diese Konvention wurde durch die Rio-Konferenz ins Leben gerufen und zielt darauf ab, die Wüstenbildung in den betroffenen Ländern zu bekämpfen, insbesondere in Afrika (United Nations, 1994).

Die Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls 1997 führte zu weiteren Leitlinien und Prinzipien, die den Weg für den Weltgipfel von Johannesburg 2002 und die UN-Klimakonferenz 2015 in Paris ebneten. Bei der Konferenz in Paris einigten sich 197 Staaten auf ein neues, globales Klimaschutzabkommen, das signifikante globale Schutzgüter in internationale rechtsverbindliche Vertragswerke einführte (United Nations, 1998, 2024; Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2018).

6. **Agenda 21**

Nach der Agenda 21 sind es die Regierungen der einzelnen Staaten, die auf nationaler Ebene die Umsetzung der nachhaltigen Entwicklung planen müssen in Form von Strategien, nationalen Umweltplänen und nationalen Umweltaktionsplänen. Dabei sind auch regierungsunabhängige Unternehmen und Organisationen zu beteiligen, die sich an den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals SDGs) der UN seit ihrem Inkrafttreten am 1. Januar 2016 orientieren (United Nations, 1992a).

1.4 **Betrachtungsrahmen und Wirkungsraum**

Um die Nachhaltigkeit eines Bauwerks zu bewerten, ist es erforderlich, einen umfassenden Betrachtungsrahmen einzuführen. Dieser muss die vielfältigen Wechselwirkungen berücksichtigen, die ein Bauwerk sowohl in seinen physischen und ökonomischen als auch in seinen sozialen und ökologischen Kontexten hat. Ein Bauwerk beeinflusst nicht nur den städtischen oder ländlichen Raum, in den es eingebettet ist, sondern auch die Art und Weise, wie die Menschen, die es nutzen, ihre Umgebung erleben und mit ihr interagieren.

Ein Bauwerk kann beispielsweise die Luftqualität, den Wasserverbrauch und die biologische Vielfalt in seiner Umgebung beeinflussen. Gleichzeitig kann es die Gesundheit und das Wohlbefinden seiner Nutzer durch die Qualität der Innenraumluft, die Akustik, das natürliche Licht und die Ergonomie der Arbeits- oder Wohnräume beeinflussen. Daher ist es notwendig, die Auswirkungen eines Bauwerks sowohl auf den äußeren Raum (Stadt- oder Landschaftsraum) als auch auf den inneren Raum (räumliche Ausgestaltung und Nutzung) zu betrachten.

Im gängigen Verständnis von Nachhaltigkeit werden der Mensch und die Natur als zentrale Wirkungsräume bzw. Wirkungsobjekte eingeführt. Der Mensch wird dabei als Teil der Natur gesehen, was bedeutet, dass menschliche Bedürfnisse und natürliche Ressourcen nicht getrennt, sondern in einem integrativen Ansatz betrach-

tet werden müssen. Die Fragestellung der Nachhaltigkeit im Kontext des Bauens lässt sich daher prägnant formulieren: Welche negativen und positiven Implikationen haben Entwicklung, Planung, Erstellung, Betrieb und Rückbau eines Bauwerkes auf Mensch und Natur, insbesondere im Hinblick auf langfristige Zeiträume?

Dabei müssen sowohl kurz- und mittelfristige als auch langfristige Auswirkungen berücksichtigt werden. Kurzfristige Effekte können durch Bauprozesse verursachte Umweltbelastungen sein, während mittelfristige Effekte den Energieverbrauch und die Wartungsanforderungen während der Nutzung des Bauwerks umfassen. Langfristige Effekte beziehen sich auf die gesamte Lebensdauer des Bauwerks einschließlich seines Rückbaus und der Wiederverwendung, -verwertung und Deponierung der verwendeten Materialien. Die Einführung eines Betrachtungsrahmens für die wesentlichen Teile eines Bauwerkes nach den differenzierten Lebenszyklen und deren spezifischer Bewertungen ermöglicht eine ganzheitliche wichtende Bewertung der Nachhaltigkeit der Bauwerke über den gesamten Lebenszyklus für neu zu errichtende Bauten, aber auch für das Bewerten des Betriebs und der Identifikation der Verbesserung des Bestandes als dem überwiegenden Beitrag zur Nachhaltigkeit durch die Bauwerke. Dies erfordert jedoch einen integrativen interdisziplinären Ansatz und die Einbeziehung der beteiligten Fachdisziplinen und Funktionsträger, um den Betrachtungsrahmen und die unterschiedlichen Wirkungsräume und Implikationen adäquat zu erfassen und zu bewerten (Sobek, 2022).

1.5 Vorrangige Nachhaltigkeitsziele für Bauwerke

Das Bauwesen ist ein klassisches Beispiel für ein Multi-Stakeholder-Business, in das viele Beteiligte mit unterschiedlichsten Interessen und Bedürfnissen involviert sind. Diese Komplexität wird durch eine umfassende und vielschichtige Wertschöpfungskette verstärkt, die von der Projektinitiierung und -entwicklung über die Planung, den Bau und Betrieb bis hin zum Rückbau reicht. Jedes dieser Stadien findet innerhalb eines urbanen oder ländlichen und sozialen Umfeldes statt, das eine sorgfältige Abstimmung und Koordination aller beteiligten Akteure erfordert. Die Wertschöpfungskette im Bauwesen ist aufgrund ihrer hohen Granularität besonders komplex.

- **Daher ist es unerlässlich, bereits in einem sehr frühen Stadium des Projekts klare Nachhaltigkeitsziele zu formulieren. Diese Ziele sollen mindestens Vorgaben für die CO₂-Einsparung, den Einsatz erneuerbarer Energien, die Förderung von Materialkreisläufen sowie die gestalterische und soziale Einbindung in die Umgebung umfassen. Außerdem sollen Prinzipien der Suffizienz, Effizienz, Konsistenz und Resilienz beachtet werden. Während des gesamten Lebenswegs des Bauwerks sollen die Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen gefördert und per Saldo mindestens die Kostenneutralität gewährleistet werden.**

Es ist nicht notwendig, für jedes Bauwerk die Erfüllung der zahlreichen Kriterien zur Nachhaltigkeitszertifizierung nach den verschiedenen Bewertungssystemen gemäß DGNB, BREEAM oder LEED zu fordern. Solche Zertifikate empfehlen

sich vor allem aus Prestige Gründen für markante Bauwerke prominenter Investoren und Nutzer.

Durch Optimierung der Energieeffizienz sollen der Energieverbrauch minimiert und der Einsatz erneuerbarer Energien maximiert werden. Die Verlängerung der Lebensdauer von Bauwerken kann durch hochwertige Materialien und sorgfältige Bauweisen erreicht werden, z. B. durch Konstruktionen, die eine einfache Instandsetzung unterstützen. Bauwerke müssen den Bedürfnissen der Nutzer entsprechen und gleichzeitig den städtebaulichen Kontext respektieren und verbessern. Diese Nachhaltigkeitsziele führen dazu, dass jedes Bauvorhaben individuell ist und maßgeschneiderte Lösungen erfordert. Ein umfassendes Verständnis der verschiedenen Interessen und Bedürfnisse aller Stakeholder sowie eine vorausschauende integrative Entwicklung, Planung und Ausführung sind entscheidend, um nachhaltige und erfolgreiche Bauprojekte zu realisieren.

Nachhaltigkeit von Bauwerken im Lebenszyklus bedeutet damit, für ein im ingenieurtechnischen Sinne zunächst eher vages und nicht vollständig klares Konzept konkrete Lösungsansätze zur Erreichung der definierten Nachhaltigkeitsziele zu finden. Daher sind am Projektbeginn zu definierende konkrete Zielsetzungen von zentraler Bedeutung. Modelle und theoretische Ansätze können dabei helfen. In einem komplexen System ist davon abzuraten, eine monozentrische Ansicht zu verfolgen, die nur ein einziges Ziel im Fokus hat. Vielmehr ist es wichtig, mehrere Kernziele gleichzeitig zu formulieren, zu verfolgen und mögliche Zielkonflikte bei der Projektentwicklung zu lösen.

Diese Notwendigkeit wird bereits im Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit deutlich, das ökologische, soziale und ökonomische Aspekte gleichwertig berücksichtigt. Im praktischen Kontext des Bauens geht es darum, aus diesem Modell konkret umsetzbare Ziele abzuleiten (Friedrichsen, 2024).

1.6 Skaleneffekte und regulatorische Rahmenbedingungen

Für einen regulatorischen Rahmen hat der Skaleneffekt eine entscheidende Bedeutung. Bei Großprojekten lassen sich Nachhaltigkeitsziele durch die Umsetzung konkreter Kriterien realisieren. Diese Projekte erzielen umfassende und messbare Effekte, da sie über größere Ressourcen und Einflussmöglichkeiten verfügen. Durch klare Vorgaben und gezielte Maßnahmen können solche Projekte signifikante Fortschritte in Richtung Nachhaltigkeit erreichen und als Leuchtturmprojekte dienen.

Im Gegensatz dazu haben kleine Projekte in der Regel nur dann einen spürbaren Effekt, wenn eine große Anzahl dieser Projekte definierte Kriterien erfüllt. Hier kommt der kumulative Effekt ins Spiel: Viele kleine Projekte, die nachhaltig entwickelt, geplant, gebaut und genutzt werden, können zusammen eine erhebliche positive Wirkung auf die Umwelt und die Gesellschaft haben. Es ist daher wichtig, dass auch für kleine Bauvorhaben klare und umsetzbare Nachhaltigkeitsziele definiert werden, um deren kollektives Potenzial zu maximieren.

Auf nationaler oder auch globaler Ebene ist ein Alleingang oft nicht ausreichend bzw. zielführend, um nachhaltige nationale oder globale Entwicklungen voranzutrei-

- PV-Anlage 662
PV-Aufdachanlage 758–760, 764, 766
PV-Pflicht 759, 760, 765
PVT-Modul 360
- Q**
QNG (Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen) 235, 821, 822
QNG-Plus 801, 807
QNG-Premium 801, 807
QNG-Zertifizierung 800
Qualifikation 39
Qualitätssiegel 821, 822
 Nachhaltiges Bauen 235, 821, 822
Quartiersplanung
 Integrierte 669
- R**
Rahmenbedingung
 aktuelle 638
 regulatorische 10
Raumakustik 410, 432
 Nachhaltigkeit 438
Raumgruppe A 437
Raumgruppe B 437
Raumklima 568, 569, 600
Raumtemperatur 671
Reallabor 918
Recarbonatisierung 523
Rechtsfrage 951, 985
Recycling 152, 156, 295, 315, 331, 510, 511, 530, 575–577, 756, 757
Recyclingbeton 512
Recyclingfähigkeit 640
Recyclingkreislauf 531
Redevelopment 139, 942
Reetdach 633
Regelung
 modellprädiktive 920
Regeneration
 des Klimas 506
 der Umwelt 506
Regulationen
 Europäische 655
Regulatorik 951, 972, 985
regulatorische Rahmenbedingung 10
regulatorisches Risiko 110
Rendite 42, 63
Replastifizierbarkeit 596
Reputationsrisiko 112
Resilienz 187, 207, 208, 546, 648
Ressource 7–12, 846, 952
Ressourceneffizienz 476, 477, 479, 483, 488, 558, 654
Ressourcenschonung 121, 795, 827, 899
Ressourcenschutz 130
Ressourcenverbrauch 503, 654, 886, 887
Ressourcenverfügbarkeit 504
Restlebensdauer 557
Retentionsdach 941
Retrofitting 543
Return on investment 56
Re-Use 530, 544, 575, 577, 900, 936
Rezertifizierung 848
Risiko 34
 finanzielles 110
 regulatorisches 110
 soziales 112
 technologisches 111
Risikoanalyse bei nachhaltiger Exitstrategie 110
Risikobewertung 55
Risikomanagement bei nachhaltiger Exitstrategie 110
Risikominderung 839
Risikominimierung 56, 57
Riss 904
Roadmap 558
Rohholz 563, 567
Rohholzverfügbarkeit 564
Rohrkolben 631
Rohstoff 162, 308, 330, 333
 Dauerkultur 620
 Durchwachsene Silphie 620, 621
 Hanf 622
 Industriepflanze 620
 Low-Input-Pflanze 620
 mehnjährige Pflanze 620
 Miscanthus 620–625
 nachwachsender 620
 Paulownia 625
Rohstoffbank 935
Rohstoffbereitstellung 562, 630
Rohstoffmonitoring 564
Rolle 30
 der Projektentwicklung 143
R-Strategie 155, 164
 der zirkulären Kreislaufwirtschaft 165
10R-Strategie 299
Rückbau 936
 geordneter 289
 moderner 168
Rückbaubarkeit 266
Rückbauverfahren 897

S

- Sachbilanz 555
- Sachverständige 817, 840, 951, 985, 991, 993
- Sägeverfahren 911, 912
- Sale-and-Lease-Back 109
- Sammelband des Wissens 16
- Sandwichdecke 518
- Sanierfähigkeit 556
- Sanierung 675, 682, 683, 685, 691, 692, 699, 700, 706, 708–710, 712
 - energetische 683, 807, 809
 - serielle 574
- Sanierungsprogramm 820, 821
- Sanierungsrate 684, 712
- Sanierungsvariante 703
- Sanierungszyklus 37
- SANISAND-Modell 462
- Sättigungsmenge 428
- Sauerstoffkernlanze 912
- Schadstoff 318, 339, 455
- schadstofffreier Materialeinsatz 122
- Schalldruck 433
- Schalldruckpegel 433
- Schallgeschwindigkeit 432
- Schallschutz 410, 412, 431, 432, 434, 435, 438
- Schallübertragung 433
- Schattenpreis 737
- Schilf 506, 631
- Schlagregen 429, 430
 - direkte Maßnahme 430
 - indirekte Maßnahme 430
- Schnittstellenliste 449, 451, 464
- Schrott 531
- Schüttdämmung 622
- Schüttung 608
- Schutz
 - Boden 134
 - Grundwasser 129
 - Lüftungskomponente 134
- Schwäche 32
- Science-Based Target Initiative 50
- Sehaufgabe 443
- Sektorenverordnung 246
- Sektorkopplung 921
- SektVO (Sektorenverordnung) 246
- Sekundärmaterial 170
 - Nutzungshindernisse 170
- Sekundärmetallurgie 534
- Sekundärrohstoff 505, 510, 513
- Sekundärstruktur 436
- Sensor 781
- serielle Sanierung 574
- serielles Bauen 573
- SFDR (Sustainable Finance Disclosures Regulation) 61–63, 65
- Share Deal 106
- Sicherheit 131
- Sichtbetonfassade 314
- Silika-Staub 513
- Silphie 620, 621
- Skaleneffekt 10
- Skalierungsmöglichkeit 639
- Skelettbau 271, 287
- Smart Building 782
- Smart Grid 847
- smarter Gebäudebetrieb 783
- SNAP (Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben) 235, 841
- Sobek, Werner 951, 1008
- Solaranlage 728
- Sommerklimaregion 426
- Sonderbau 440
- Sonderbauverordnung 439
- Sonderfläche 658
- Sonneneintragskennwert 425
- soziales Risiko 112
- Sozialwohnung 660
- Spalten durch Pressen 911, 912
- Spannbeton-Fertigdecke 518
- Speichermasse 585
- Speichermöglichkeit 922
- Speichertechnologie 457, 458, 460
- Spezialimmobilienfond 59
- Sprühhanf 611, 613
- Stabbewehrung 520
- Stadt 889–891, 893
- Stadtentwicklung
 - nachhaltige 661
- Stahl 282, 309, 530, 951, 962, 971, 973, 975, 976
 - hochfester 540
 - Recycling 310
 - wetterfester 539
 - Wiederverwertung 310
- Stahlbau 531
- Stahlbetonbauteil 912
- Stahlbetonrammpfahl 466
- Stahlfensterprofile 331, 332
- Stahlpfahl 466
- Stakeholder 16, 115
- Stampflehm 585, 594, 595, 622, 625
- Standardprozesse 31
- Standortattraktivität 660
- Standortentscheidung 651, 658
- Standicherheit 264
- Stärke 32
- statisches System
 - vorhandenes 267
- Staub 129

Steuerungssystem
 intelligentes 781
Steuerungsteam 17
Stopfsäule 454
Storagetechnologie 168
Stoßfuge 594
Strahlung 421, 422
Strangpresse 552
Stroh 507
Strompreis
 effektiver 404
Stromspeicherung 399
Stromtarif
 dynamischer 400
Stromversorgung 758–761, 764, 766
Struktur 31, 951, 1006, 1010, 1011
Subsidiaritätsprinzip 11
Substitution 566, 576
Suffizienz 186, 207, 208, 648, 653, 889
 Baustoffe 266
Sustainable Development Goal 918
Sustainable Finance 166
Sustainable Finance Disclosures Regulation
 61–63, 65
Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen
 in Planungswettbewerben 235, 841
systemische Förderung 800

T

TA (technische Anlage) 134, 135, 228
Tageslicht 410, 412, 414, 442, 443
 Nachhaltigkeit 443
Tageslichtquotient 442
Taupunkttemperatur 428
Tauwasser 415, 429
Tauwasserbildung 429
Taxonomie-konforme Baustelle 132
technische Anlage 134
 Einregulierung 135
 Betriebszeitenfestlegung 135
technische Gebäudeausrüstung 951, 958, 965,
 966, 994, 1003
Technologiebrücke 5, 12
technologisches Risiko 111
Teillos 730
Teilsicherheitsbeiwert 902
Teil-Verdrängungspfehl 466
Teilverkauf 106
Temperatur 420
Temperaturgefälle 421
TGA (Technische Gebäudeausrüstung) 951,
 958, 965, 966, 994, 1003
THG-Emission (Treibhausgasemission) 260,
 807, 809, 820, 822, 886, 888, 889, 891

Tiefgründung 465–469
Tilgungszuschuss 809, 819
Toolisierung 167
Tragfähigkeit 458, 465, 469
Tragstruktur
 flexible 269
Tragwerk 263
 Einwirkungen aus der Nutzung 268
 langlebiges 266
Tragwerksplanung 951, 958, 962, 963
Transformation 168
 bioökonomische 576
 digitale 660
Transformationsfahrplan 49
Transformationspfad 555
Transformationsprozess 29, 167
Transitionsrisiko 659
Transmissionswärmeverlust 297, 424
Treibhausgase 567
Treibhausgasemission 260, 807, 809, 820, 822,
 886, 888, 889, 891
Trennverfahren 899, 910, 912
Trittschall 433
Trockenbau 636
Trockenkammer 552
Trockenmasse 621
Tunnel 455, 459, 461
Typhaboard 636

U

Umwelt 124
Umweltauswirkung 779
Umweltbewusster Einsatz von Baumaterial 130
Umweltbundesamt 737
Umweltfreundlichkeit 639
Umweltkosten 141
Umweltschutz 827
Umweltschutzförderung 808
umweltorientiertes Logistikkonzept 129
Umweltwirkung 503, 886, 888–890, 892
Umweltzertifikat 505
Umweltziel 47
UN-Klimakonferenz 942
Unternehmensimmobilie 40
Unternehmenszweck 43
Untersuchungsstufe 901
Urban Gardening 942
Urban Mining 505

V

Variantenanalyse 701
Variationskoeffizient 902, 904
veränderliche Last

- veränderliche Last (*Fortsetzung*)
 - anzunehmende 270
- Verantwortung 951, 953–960, 963, 965, 972, 976, 1006, 1007, 1010
- Verarbeitung 631
- Verdrängungsbohrpfahl 466
- Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen 246
- Vergabestrategie
 - nachhaltige, Entwicklung 126
- Vergabeverordnung 245
- Verhandlungsverfahren 734
- Vermarktungsstrategie in der Immobilienprojektentwicklung 102
- vernetztes Gerät 781
- Versicherung 951, 962, 985, 993, 995
- Versorgungsseite 760
- Vertragsschluss 747, 751–753
- Verursacherprinzip 7
- Verwendungsnachweis 811
- Verwertbarkeit 557
- Verwertung 632
- VgV (Vergabeverordnung) 245
- Vibration 129
- Vielfalt 195
- virtuelles Kraftwerk 406
- Visualisierung von CO₂ 119
- VOB (Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen) 246
- Vollversorgung 761, 763, 766
- Vorfertigungsgrad 566, 572
- Vorhangsfassade 322, 334
- Vorhersagegenauigkeit 778
- Vorlauftemperatur 362, 363, 365, 368–370, 376
- Vorsorgeprinzip 7
- W**
- Waldbegründung 563
- Walddeklaration 8
- Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 564
- Waldverjüngung 564
- Waldwirtschaft
 - nachhaltige 562
- Wandheizung 595
- Wärme 420
- Wärmedämmverbundsystem 325, 338
- Wärmedurchgangskoeffizient 295, 329, 415
- Wärmeleitfähigkeit 422, 552
- Wärmeleitung 421, 422
- Wärmepotenzial 931
- Wärmepumpe 459, 804, 805
- Wärmeschutz 410–412, 414, 418, 419, 421, 423, 425, 426, 522, 728
 - baulicher 423
 - Nachhaltigkeit 425
 - sommerlicher 425
- Wärmespeicher 456, 457
- Wärmetauscher 352, 356, 358–360
- Wärmetransport 421
- Warmfassade 321
- Warmwalzen 535
- Warmwasserbereitung 361, 371, 374, 375
- Wasserdampf 427
- Wasserdampfgehalt 428
- Wasserdurchlässigkeit 728
- Wasserfallmodell 909
- Wassermanagement 130, 726
- Wasserressource
 - nachhaltiger Umgang 124
- Wasserstoff 533, 919
- WEHAM (Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung) 564
- Werkstoffbereich 632
- Werkvertrag 748
- Wertschöpfungskette 9, 171, 173, 562, 567, 601, 639
- Werkstoff 164
- Wertstrommanagement 477
- wesentlicher Klimaschutzbeitrag 132
- Wettbewerb 793
- Wettbewerbsvorteil 58, 63
- wetterfester Stahl 539
- Widerstandsfähigkeit 556
- Wiedervernässung von Mooren 630, 639
- Wiederverwendung 339, 524, 526, 530, 541, 557, 732, 756–758, 897, 899, 900, 903, 906–909, 937
 - bereits existierender Bauelemente 266
 - von Materialien 788
 - von Stahlbetonbauteilen 951, 998, 1000
- Wirkungsraum 8
- Wirtschaftakteur
 - als Händler 161
 - Pflichten 161
- wirtschaftlicher Vorteil 780
- Wirtschaftlichkeit 683, 737
- Wissenschaftlicher Beirat 20
- Witterung 594
- Wohneigentum für Familien 800, 814, 821
- Wohngebäude 262, 423, 660, 807, 809, 820, 821
- Wohnungsunternehmen
 - kommunales 660