

INHALTSVERZEICHNIS

Nachhaltig konstruieren und bauen mit Beton

Michael Haist, Konrad Bergmeister, Manfred Curbach, Patrick Forman, Georgios Gaganelis, Jesko Gerlach, Peter Mark, Jack Moffatt, Christoph Müller, Harald. S. Müller, Jochen Reiners, Christoph Scope, Matthias Tietze, Klaus Voit

Präambel

Planerinnen und Planer sowie Betontechnologinnen und Betontechnologen sind heute immer öfter mit dem Wunsch oder gar der Forderung konfrontiert, nachhaltig oder sogar klimaneutral zu bauen. Die Bedeutung dieser Begriffe ist aber zumeist nicht klar definiert und die Wege, um diese Ziele zu erreichen, sind entweder nicht eindeutig oder mit den heute zur Verfügung stehenden Baustoffen und Bauweisen nicht erreichbar. Zielsetzung des vorliegenden Beitrags ist es, den am Bau beteiligten Parteien einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zum Thema des klimaverträglichen und nachhaltigen Bauens mit Beton zu geben. Hierbei wird vorgeschlagen, die Klimaverträglichkeit und Nachhaltigkeit als Schutzziele im Rahmen der Bemessung aufzunehmen. Hierfür wird analog zu den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ein neuer Grenzzustand der Klimaverträglichkeit eingeführt. Dieser beschreibt den äquivalenten CO₂-Einsatz (CO₂ ist von allen Umweltwirkungen der Betonbauweise die maßgebende Emission) zur Erzielung einer bestimmten Tragfähigkeit und Nutzungsdauer und wird einem aus der Klimaforschung abgeleiteten Grenzwert gegenübergestellt. Neu ist bei diesem Ansatz insbesondere, dass explizit die rechnerische Lebensdauer des Bauwerks bzw. Bauteils in den Nachweis eingeht und als Kriterium die Menge an CO₂ dient, die pro Jahr der Lebensdauer „abgeschrieben“ werden muss. Der Betrachtungsrahmen dieses Ansatzes beschränkt sich dabei bewusst auf Emissionen aus der Errichtung und dem Recycling bzw. der Wiederverwertung des Tragwerks, da Emissionen beispielsweise aus der Bauwerksnutzung wie Beheizung und Kühlung bereits adäquat durch bauphysikalische Nachweisformate abgebildet sind. Um nachhaltig und klimaverträglich bauen zu können, ist ein intensiver Dialog zwischen Betontechnologie und Tragwerksplanung erforderlich. Diese Notwendigkeit greift der vorliegende Beitrag auf, in dem er alle Stadien des Betonbaus, angefangen von der Ausgangsstoffbereitstellung, über die Betonherstellung, die Bewehrung, den Beton einbau und natürlich die Tragwerksplanung beleuchtet und die jeweiligen Potenziale zur Steigerung von Nachhaltigkeit und Klimaverträglichkeit aufzeigt. Die Autoren haben sich weiterhin bemüht, alle für diesen Prozess relevanten Informationen – wie z. B. Werte zu den Umweltwirkungen einzelner Baustoffe oder Bauprozesse – in Tabellenform oder Diagrammen zusammenzufassen. Den Autoren ist es ein wichtiges Anliegen zu betonen, dass zum gänzlich klimaneutralen Bauen mit Beton zum jetzigen Zeitpunkt im Jahr 2022 noch viel Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht. Dies darf jedoch nicht die Ausrede sein, nicht bereits jetzt zu handeln und schon heute mögliche Beiträge zur Reduktion der Umweltwirkungen der Betonbauweise zu leisten und umzusetzen. Der hier vorgeschlagene Grenzzustand der Klimaverträglichkeit ist als erster Schritt in diese Richtung zu verstehen und setzt diese Forderung in einer stufenweisen Steigerung der Anforderungen um. Die Autoren wollen mit diesem Beitrag zu einem offenen Dialog zur Ausgestaltung des klimaverträglichen Bauens einladen.

- 1 **Einführung**
- 2 **Anforderungen an das Bauen von Morgen**
 - 2.1 Ausgangssituation
 - 2.2 Zielszenario

INHALTSVERZEICHNIS

Nachhaltig konstruieren und bauen mit Beton

Michael Haist, Konrad Bergmeister, Manfred Curbach, Patrick Forman, Georgios Gaganelis, Jesko Gerlach, Peter Mark, Jack Moffatt, Christoph Müller, Harald. S. Müller, Jochen Reiners, Christoph Scope, Matthias Tietze, Klaus Voit

- 3 **Nachhaltigkeitsbewertung**
 - 3.1 Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauwerken
 - 3.2 Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme
 - 3.3 Umweltverträglichkeit

- 4 **Nachhaltigkeit auf der Baustoffebene**
 - 4.1 Einführung
 - 4.2 Beton
 - 4.2.1 Grundsätze zur Herstellung umwelt- und ressourceneffizienter Betone
 - 4.2.2 Betonausgangsstoffe und deren Verfügbarkeit
 - 4.2.2.1 Bindemittel und Betonzusatzstoffe
 - 4.2.2.2 Gesteinskörnungen
 - 4.2.2.3 Betonzusatzmittel
 - 4.2.3 Mischungsentwicklung umwelt- und ressourceneffizienter Betone
 - 4.2.3.1 Prinzipielles Vorgehen
 - 4.2.3.2 Experimentelle Bestimmung der Packungsdichte der einzelnen Ausgangsstoffe
 - 4.2.3.3 Optimierung der Kornverteilungskurve des Korngemischs
 - 4.2.3.4 Berechnung der Packungsdichte des Korngemischs
 - 4.2.3.5 Berechnung der Mischungszusammensetzung
 - 4.2.4 Eigenschaften ökologisch optimierter Betone
 - 4.2.4.1 Frischbetoneigenschaften
 - 4.2.4.2 Mechanische Eigenschaften
 - 4.2.4.3 Dauerhaftigkeit
 - 4.2.4.4 Umweltwirkungen
 - 4.3 Bewehrung
 - 4.3.1 Einführung
 - 4.3.2 Betonstahl
 - 4.3.3 Carbonfasern für Carbonbeton
 - 4.3.3.1 Herstellprozess Carbonfasern
 - 4.3.3.2 Carbonbewehrung und deren Herstellung
 - 4.3.3.3 Ökobilanzielle Betrachtung des Herstellprozesses von Carbonfasern
 - 4.3.3.4 Ökobilanzielle Betrachtungen anderer relevanter Prozesse und Materialien für die Herstellung von carbonbasierten Bewehrungen
 - 4.3.3.5 Einordnung und Vorteilhaftigkeit der Carbonbewehrung
 - 4.3.4 Sonstige alternative Bewehrungssysteme
 - 4.4 Einflüsse aus Herstellung, Transport und Einbau des Betons

- 5 **Nachhaltigkeit auf der Bauteil- und Bauwerksebene**
 - 5.1 Einführung
 - 5.2 Optimierungsgestütztes Entwerfen und Bemessen
 - 5.2.1 Topologische Optimierung
 - 5.2.2 Materialgerechte Steuerung
 - 5.2.3 Innere Bewehrungsfindung

INHALTSVERZEICHNIS

Nachhaltig konstruieren und bauen mit Beton

Michael Haist, Konrad Bergmeister, Manfred Curbach, Patrick Forman, Georgios Gaganelis, Jesko Gerlach, Peter Mark, Jack Moffatt, Christoph Müller, Harald. S. Müller, Jochen Reiners, Christoph Scope, Matthias Tietze, Klaus Voit

5.2.4 Hohlkörper in Platten und Wänden

5.3 Aspekte der Herstellung und Bauverfahren

5.4 Bauteile aus Carbonbeton

5.4.1 Einführung in die Carbonbetonbauweise

5.4.2 Abgrenzung Carbonbeton zu Stahl- und Faserbetonen

5.4.3 Regulatorischer Druck

5.4.4 Ausgewählte Fallstudienresultate für Carbonbeton

5.4.5 Carbonbeton als kreislauffähiges Material

5.5 Gesetzliche und normative Regelungen

6 **Bemessung im Grenzzustand der Klimaverträglichkeit**

6.1 Grundlagen

6.2 Klimaverträglichkeit auf der Baustoffebene

6.3 Grenzzustand der Klimaverträglichkeit auf der Bauteilebene

6.3.1 Grundlegendes Nachweisformat

6.3.2 Eingangsgrößen des Bemessungsansatzes

6.3.2.1 Planmäßige Nutzungsdauer und rechnerische Lebensdauer

6.3.2.2 Umweltwirkungen GWP_{eco}, BM und GWP_{pref}, BM

6.3.2.3 Grenzzustand α GWP

6.3.3 Anwendungsbeispiel 1

6.4 Grenzzustand der Klimaverträglichkeit auf Tragwerks- bzw. Bauwerksebene

7 **Konsequenzen**

7.1 Konsequenzen für das Bauen

7.2 Konsequenzen für die Ausbildung der Studierenden und der Praktiker

7.2.1 GeologInnen und MineralogInnen

7.2.2 Baustoff- und BetontechnologInnen

7.2.3 Bauingenieurinnen und Bauingenieure

8 **Danksagung**

9 **Literatur**

9.1 Literatur Kapitel 1

9.2 Literatur Kapitel 2

9.3 Literatur Kapitel 3

9.4 Literatur Kapitel 4

9.5 Literatur Kapitel 5

9.6 Literatur Kapitel 6

9.7 Literatur Kapitel 7

INHALTSVERZEICHNIS

Nachhaltig konstruieren und bauen mit Beton

Michael Haist, Konrad Bergmeister, Manfred Curbach, Patrick Forman, Georgios Gaganelis, Jesko Gerlach, Peter Mark, Jack Moffatt, Christoph Müller, Harald. S. Müller, Jochen Reiners, Christoph Scope, Matthias Tietze, Klaus Voit

Zusammenfassung

Der aktuelle Stand des Wissens und Umsetzungsvorschläge für die Praxis eines klimaverträglichen und ressourceneffizienten Bauens mit Beton sind die Inhalte dieses Beitrags. Das interdisziplinäre Autorenteam deckt das Spektrum von der angewandten Geologie über die Materialwissenschaften hin zum konstruktiven Beton- und Ingenieurbau ab. Nach einem Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zum Thema des klimaverträglichen und nachhaltigen Bauens mit Beton werden ausführlich sowohl emissionsreduzierende Maßnahmen für die Bindemittel und Betonzusatzmittel als auch für die Gesteinskörnungen mit deren Möglichkeiten des Wiedereinsatzes aufgezeigt. Weiterhin werden innovative Möglichkeiten der Bewehrung mit Carbonfasern, der Topologieoptimierung von Tragstrukturen als auch Potenziale während des Bauablaufs vorgestellt und eingehend erläutert. Analog zu den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit wird ein neuer Grenzzustand der Klimaverträglichkeit vorgeschlagen. Darin spiegelt sich auch das Potenzial einer verlängerten Lebensdauer wider. Wertvolle Informationen und aktualisierte Daten über die Umweltwirkungen einzelner Baustoffe, Konstruktionen und Bauprozesse wurden in Tabellenform oder Diagrammen zusammengefasst

(Änderungen vorbehalten)