

## Perspektiven und Möglichkeiten

# CO<sub>2</sub>-Rahmenbedingungen für den Klimaschutz im Betonbau

Werner Cordes, Erwitte, Peter Boos, Leimen, Johannes Ruppert und Jochen Reiners, Düsseldorf

Im Übereinkommen von Paris hat sich die Weltgemeinschaft 2015 verpflichtet, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen. Daraus resultieren ambitionierte Klimaziele, wenn bis 2050 Klimaneutralität in Verbindung mit der Decarbonisierung der Wirtschaft erreicht werden soll. Die Entwicklung neuer klimafreundlicher Technologien setzt grundsätzlich verlässliche CO<sub>2</sub>-Preise und die Sicherstellung eines wirksamen Schutzes vor „Carbon Leakage“ voraus. Um den Klimaschutz im Betonbau weiter zu verbessern, ist eine kurzfristige Umsetzung einer zuverlässigen und CO<sub>2</sub>-armen Betonbauweise erforderlich. Dabei ermöglicht eine stärkere Diversifizierung in der Betonproduktion einen erhöhten Einsatz klinkereffizienter Zemente. Perspektivisch wird die Ökobilanz von Baustoffen und Bauwerken vermehrt angefragt. Die Carbonatisierung von Beton ist als CO<sub>2</sub>-Senke bei der nationalen und internationalen (UNFCCC) CO<sub>2</sub>-Berichterstattung bzw. Erstellung von Ökobilanzen zu beachten. Bei der Zementherstellung müssen konventionelle CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten durch öffentlich geförderte „Breakthrough-Technologien“, z.B. für die Abscheidung von Prozessemissionen, ergänzt werden. Institutionelle Anleger beachten verstärkt Unternehmens-Score bezüglich der unternehmerischen Auseinandersetzung mit Treibhausgasen und Risiken des Klimawandels.

## 1 Gesellschaft und politische Rahmenbedingungen

Die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) wurde 2015 von 195 Ländern und der EU unterzeichnet. In diesem Übereinkommen hat sich die Weltgemeinschaft verpflichtet, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C – wenn möglich auf 1,5 °C – über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Ziel dabei ist es, unvorhersehbare Folgen der Klimaerwärmung zu vermeiden und in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts für die Jahre 2050 bis 2100 ein Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen und dem Abbau dieser Gase durch Senken, wie z.B. durch Aufforstung, herzustellen. Trotz Festlegung auf das 2-°C-Ziel wird der internationale Klimaschutz fortan auf der Basis nationaler Selbstverpflichtungen beschrieben. Dabei bleiben die Mechanismen zur weiteren Selbstverpflichtung und die Sanktionen bei Verfehlungen der selbstgesetzten Ziele überwiegend unverbindlich.

Die Selbstverpflichtung der EU für das Pariser Abkommen sieht bis zum Jahr 2030 eine 40 %ige Reduzierung der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Jahr 1990 vor. Aktuell wird in der EU eine Verschärfung dieses Ziels diskutiert.

Bezüglich des „Globalen CO<sub>2</sub>-Budget“ (Bild 1) ist festzustellen, dass die fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990 mit über 20 Gt CO<sub>2</sub>/a auf etwa 37 Gt CO<sub>2</sub>/a bzw. mit Emissionen aus der Landnutzung auf etwa

42 Gt CO<sub>2</sub>/a in 2018 angestiegen sind. Dabei kommen ca. 2,4 Gt CO<sub>2</sub>/a aus der Zementproduktion inklusive CO<sub>2</sub> aus den Brennstoffen. Das entspricht weltweit einem Anteil von ca. 6,5 %. Das verbleibende CO<sub>2</sub>-Budget für das 1,5 bzw. 2-°C-Ziel für

das Jahr 2100 beträgt je nach Rechenmodell zwischen 400 bis 1100 Gt CO<sub>2</sub>. Unter der Annahme von 800 Gt CO<sub>2</sub> für das CO<sub>2</sub> Budget bei konstanten Treibhausgasemissionen von 40 Gt CO<sub>2</sub>/a ist das Budget in 20 Jahren verbraucht.

## Die Autoren:

**Dr. rer. nat. Werner Cordes** studierte Chemie an der Universität-GH-Siegen. Von 1989 bis 1992 war er Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität-GH-Siegen, wo er auch promovierte. Seit 1993 ist er im Portlandzementwerk Wittekind tätig: Bis 2001 in der Bauberatung, von 2001 bis 2005 in der Laborleitung und seit 2005 als Mitglied der Werksleitung (Qualitätswesen, Labor, Entwicklung).

**Dr. rer. nat. Peter Boos** studierte Mineralogie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Er promovierte im Rahmen des Gerd-Wischers-Stipendiums beim Verein Deutscher Zementwerke im Forschungsinstitut der Zementindustrie. Seit 2002 ist er Mitarbeiter der HeidelbergCement AG, bis 2008 hatte er verschiedene Positionen im Technology Center der HeidelbergCement AG inne. 2009 wechselte er in die

deutsche Organisation der AG, wo er heute als Leiter Qualität Deutschland übergeordnet für die Qualitätsüberwachung der Zemente, das integrierte Managementsystem und die CO<sub>2</sub>-Koordination (ETS) zuständig ist.

**Dr. Johannes Ruppert** ist Mitarbeiter der VDZ gGmbH in Düsseldorf.

**Dipl.-Ing. Jochen Reiners** studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Von 1996 bis 2007 war er bei der Hochtief AG Köln in der Bauleitung und beim Projektmanagement von Großbaustellen tätig. Seit 2007 arbeitet er beim Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) in der Abteilung Betontechnik; seit 2009 als Oberingenieur und Laborleiter. Jochen Reiners ist Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Gremien, u.a. CEN/TC 350 „Sustainability of construction works“.

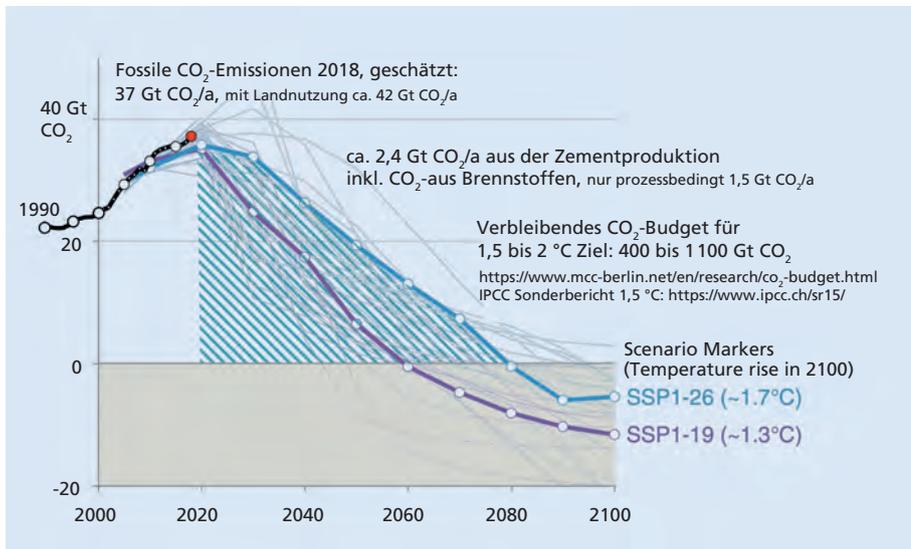


Bild 1: Globales CO<sub>2</sub>-Budget

(Quelle: www.globalcarbonproject.org)

Bei einer konsequenten Klimaschutzpolitik ist aber im Einklang mit dem Übereinkommen von Paris eine Begrenzung auf 1,5 bis 2 °C Erwärmung noch möglich. Dafür muss die Weltgemeinschaft jedoch kurzfristig die Nettotreibhausgasemissionen auf null reduzieren, weshalb sich das Fenster zur Zielerreichung schnell schließt. Zudem muss in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts ein Teil des vorher zu viel ausgestoßenen Kohlenstoffdioxids wieder aus der Erdatmosphäre entfernt werden [1]. Aktuell liegt die globale Erwärmung seit Beginn der Industrialisierung (ca. 1850) etwas oberhalb von 1 °C. Ohne eine Begrenzung der klimaschädlichen Treibhausgasemissionen könnte die Durchschnittstemperatur jedoch um 4 °C oder mehr ansteigen – mit schwerwiegenden Folgen für die Lebensbedingungen auf der Erde.

In Bild 2 sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf für verschiedene Regionen der Welt ohne Im- und Export von Produkten und internationalem Transport aufgetragen. In Deutschland beträgt der prozentuale Anteil der Zementindustrie 2,3 %. Es ist erkennbar, dass die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf in Deutschland mit rund 9,6 Tonnen aktuell ungefähr doppelt so hoch sind wie der internationale Durchschnitt von 4,8 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf. Um die völkerrechtlich verbindliche 2-°C-Obergrenze bis Ende des Jahrhunderts einzuhalten, müssten die durchschnittlichen Pro-Kopf-Emissionen weltweit auf deutlich unter zwei Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf gesenkt werden. Obwohl in China mit über elf Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten die meisten Treibhausgasemissionen ausgestoßen werden (Bild 2), liegen die Pro-Kopf-Emissionen mit 7,6 Tonnen CO<sub>2</sub> unter denen vieler OECD-Staaten und Deutschland [1]. Die Situation in China ist typisch für viele Schwellenländer, wie beispielsweise Indien oder Brasilien. Als eine der größten Volkswirtschaften der Welt hat Deutschland seit Beginn der Industrialisierung fast 5 % zur globalen Erderwärmung

beigetragen, obwohl die deutsche Bevölkerung nur 1 % der Weltbevölkerung von über 7,6 Milliarden Menschen ausmacht.

In Bild 3 ist die Entwicklung der Treibhausgasemissionen als CO<sub>2</sub>-Äquivalente in Deutschland seit 1990 und der durch das Pariser Abkommen vorgezeichnete Decarbonisierungspfad aufgetragen.

Der Treibhausgasausstoß von 907 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Jahr 2017 bedeutet eine Reduzierung um 27,5 % gegenüber dem Niveau von 1990. Damals waren es über 1,2 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Mit 313 Mio. t CO<sub>2</sub> (das entspricht 34,5 %) hatte die Energiewirtschaft auch 2017 den größten Anteil an den deutschen Gesamtemissionen. Die Emissionen des

Industriesektors sind mit 200 Mio. t CO<sub>2</sub> für über 22 % des deutschen Treibhausgasausstoßes verantwortlich [2]. Der europäische Emissionshandel deckt einen Großteil der Treibhausgasemissionen aus dem Energie- sowie dem Industriesektor ab.

Neben klimaschutzpolitischen Maßnahmen auf deutscher und europäischer Ebene führte der wirtschaftliche Umbruch in den neuen Bundesländern zu einem starken Emissionsrückgang in den frühen 1990er Jahren. Auch Schwankungen des witterungsbedingten Heizbedarfs und der Konjunktur, infolge der Finanzkrise 2009, beeinflussten erheblich die Emissionsentwicklung. Während die Emissionen im Energiebereich weiterhin zurückgingen, stiegen sie im Verkehrssektor sowie in der Industrie 2017 sogar. Dies betrifft auch die Zementindustrie, die im Jahr 2017 konjunkturbedingt 20,46 Mio. t CO<sub>2</sub> im Vergleich zu 19,34 Mio. t in 2016 emittierte. Die Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 40 % gegenüber 1990 wird nach aktuellen Schätzungen bis 2020 nicht erreicht. Hierfür wird auch der Verkehrssektor aus dem Nicht-ETS-Sektor verantwortlich gemacht. Er verursacht ca. 18,5 % der Emissionen in Deutschland und hat bisher keinen Mindebeitrag geleistet.

Die deutsche Klimapolitik beruht auf den europäischen und internationalen Klimaschutzziele. Mit dem Energiekonzept von 2010 und dem im November 2016 beschlossenen Klimaschutzplan 2050 wurden Ziele und Zwischenziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz bis 2050 festgeschrieben.

Bis 2050 soll in Deutschland, entsprechend dem Pariser Abkommen, weitgehende

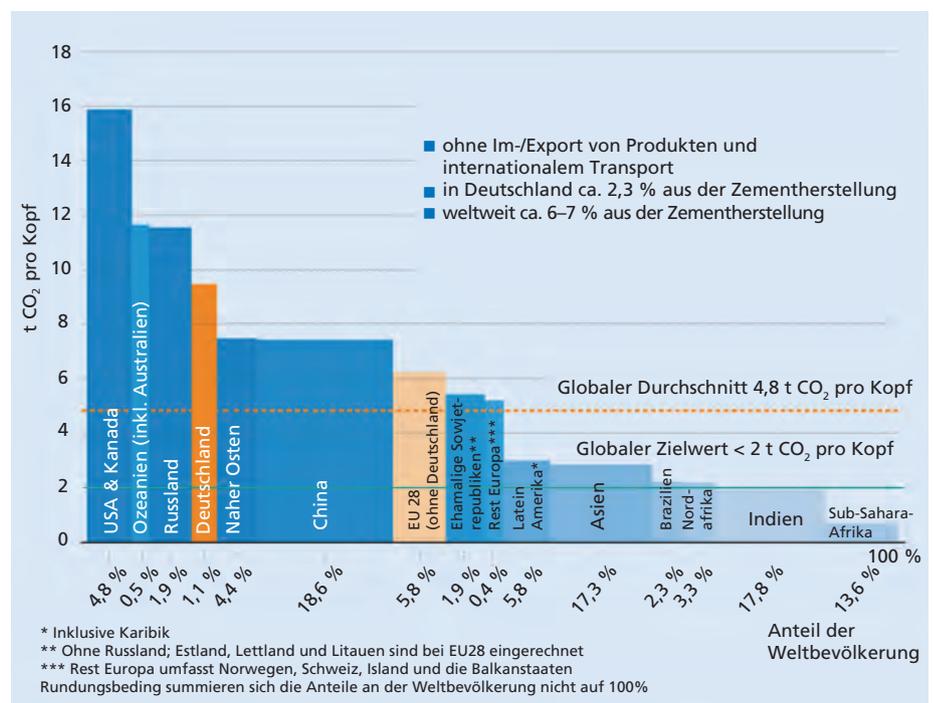
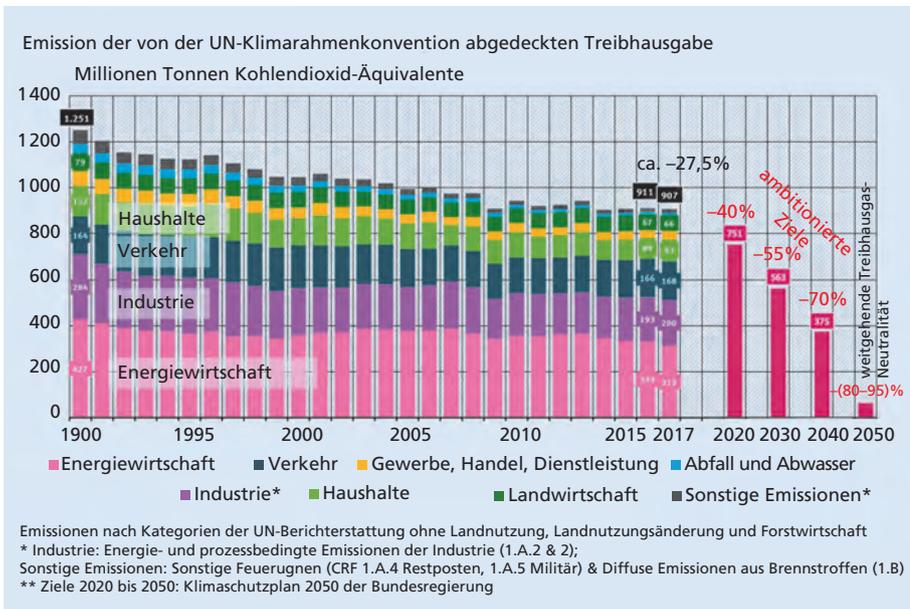


Bild 2: Vergleich der Treibhausgasemissionen pro Kopf verschiedener Länder

(Quelle: BMU Klimaschutz in Zahlen 2018)



**Bild 3: Treibhausgasemissionen in Deutschland**

(Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Inventarberichte zum Dt. Treibhausgasinventar 1990 bis 2017; Stand 01/2019)

Treibhausgasneutralität erreicht werden in Verbindung mit Minderung der Emissionen um 55 % bis 2030 und 70 % bis 2040. Das sind ambitionierte Ziele. Dabei ist zu beachten, dass Deutschland aufgrund seines relativ hohen BIP pro Kopf zu den EU-Mitgliedsstaaten mit überdurchschnittlich hohen Minderungsverpflichtungen gehört.

Die BDI-Studie „Klimapfade für Deutschland“ [3] kommt zu dem Ergebnis, dass mit den bisherigen Anstrengungen bei Energiewende und Klimaschutz bis 2050 mit einer CO<sub>2</sub>-Minderung von ca. 61 % gegenüber 1990 zu rechnen ist. Ferner geht aus der Studie hervor, dass die Erreichung des 80%-Ziels in 2050 bei optimaler Umsetzung mit Mehrinvestitionen in Höhe von mindestens 1,5 Billion € verbunden ist. Die hierfür notwendigen Technologien sind grundsätzlich heute schon verfügbar. Unter den aktuellen Bedingungen rechnen sich aber ihre Markteinführung nicht.

Das Szenario zur Erreichung des 95%-Ziels setzt dagegen in großem Maße auf Zukunftstechnologien, die heute noch nicht entwickelt sind. Bei der Industrieproduktion mit Prozessemissionen betrifft das z.B. die Abscheidung von CO<sub>2</sub> in Verbindung mit Carbon Capture and Storage (CCS) und Carbon Capture and Use (CCU). Somit ist das 95%-Szenario aus heutiger Sicht bestenfalls theoretisch vorstellbar und bewegt sich an der Grenze technischer Machbarkeit und öffentlicher Akzeptanz.

In Bild 4 werden die maximalen Emissionsmengen (Cap) im Emissionshandelssystem der EU (EU-ETS) gegen die Jahre bzw. Handelsperioden aufgezeigt. Die Europäische Union legt dabei fest, wie viel CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr noch zugelassen sind. Mit dieser Kappung („Cap“) wird das ökologische Ziel des Emissionshandels gesetzt und gleichzeitig auch verwirklicht. Das Cap wird durch die europäische

Politik von Handelsperiode zu Handelsperiode gesenkt und führt zu ambitionierteren Klimazielen. Nur für die noch zugelassene CO<sub>2</sub>-Menge werden Emissionsberechtigungen ausgegeben, die die Voraussetzung dafür sind, dass Unternehmen eine Tonne CO<sub>2</sub> emittieren dürfen. Der Emissionshandel ist deshalb ein sehr restriktives Mengeninstrument, an dessen Beginn mit der mengenmäßigen Begrenzung der Emissionen ein harter staatlicher Eingriff steht. Damit verbunden ist der Handel mit den Emissionsberechtigungen.

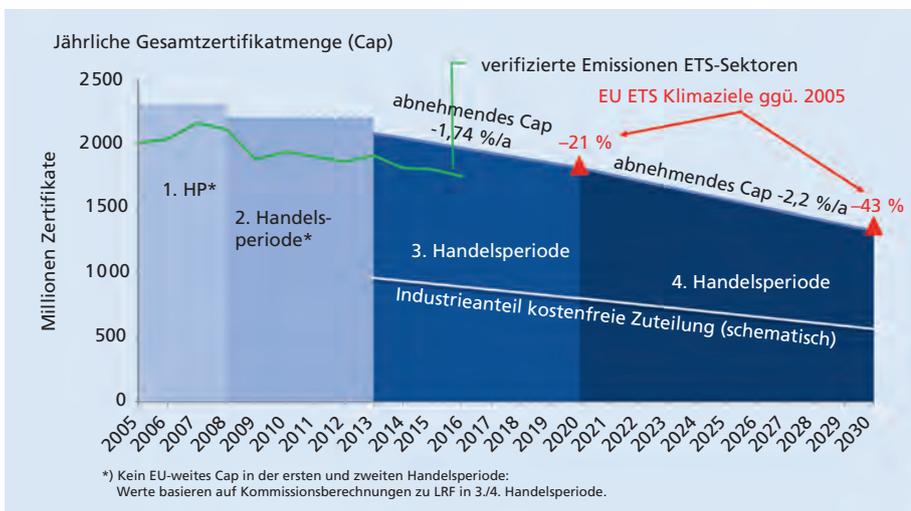
Rund 40 % der europäischen Treibhausgasemissionen stammen von großen Emittenten aus dem Energie- und Industriesektor. Das EU-ETS verpflichtet energieintensive Industrieunternehmen sowie Energieunternehmen dazu, am Handel teilzunehmen. Dabei erhält die Industrie überwiegend eine kostenfreie Zuteilung, die allerdings immer weniger die tatsächlichen Emissionen abdecken. Für die Industrie wurden anspruchsvolle Benchmarks für Produkte wie Zementklinker festgelegt. Zusätzlich wurde in der 3. Handelsperiode eine weitere branchenübergreifende Kürzung der Zuteilung von ca. 12 % wirksam.

Die Reform des EU-ETS für 2021 bis 2030 setzt nunmehr den Rahmen zur Einhaltung der EU-Klimaziele 2030. Um die politisch gesetzten CO<sub>2</sub>-Minderungsziele zu erreichen, wird die Gesamtzertifikatmenge jährlich um einen festgelegten Faktor gekürzt, den so genannten linearen Reduktionsfaktor (LRF). Während dieser aktuell bei 1,74 % pro Jahr liegt, wird er ab 2021 auf 2,2 % pro Jahr angehoben. Die Treibhausgasemissionen in diesen Sektoren sollen damit um 21 % bis 2020 und um 43 % bis 2030 gegenüber dem Basisjahr 2005 reduziert werden. Für die Zementindustrie sind der Carbon-Leakage-Schutz und die kostenfreien Benchmark-Zuteilung für Klinker besonders wichtig.

Die verifizierten Emissionen der ETS-Sektoren sind bisher geringer als das jeweilige Cap. Dies führt zu einem Überschuss an Zertifikaten im Markt, der unter anderem auf die Wirtschafts- und Finanzkrise und die entsprechend geringere Produktionsleistung in der EU zurückzuführen ist.

Die finanziellen Anreize für Unternehmen, selbst Emissionen durch Klimaschutzinvestitionen zu mindern, waren lange Zeit gering. Damit der EU-ETS genügend Minderungsanreize schafft, hat die europäische Politik Maßnahmen wie die „Marktstabilisierungsreserve“ beschlossen, um die Marktüberschüsse abzubauen.

Seit dem Frühsommer 2017 bis heute hat sich der CO<sub>2</sub>-Preis von rund 5 € auf zwischenzeitlich über 25 € pro Tonne CO<sub>2</sub> verfünffacht und ein weiterer Preisanstieg ist möglich. Grund für den Preisanstieg dürften insbesondere die Effekte der verschärften EU-Emissionshandelsrichtlinie ab 2021 für die vierte Handelsperiode sein. Große Stromversorger haben sich laut Presseberichten bereits für die kommenden Jahre mit Zertifikaten eingedeckt. Darüber hinaus



**Bild 4: Maximale Emissionen (Cap) im EU-ETS**

(Quelle: VDZ)

sind CO<sub>2</sub>-Zertifikate frei handelbar, sodass unabhängige Investoren für die Preisentwicklung ebenfalls mit verantwortlich sein dürften. Für die Zementindustrie bedeutet der hohe CO<sub>2</sub>-Preis nicht nur erhebliche Mehrkosten für CO<sub>2</sub>-Zertifikate, sondern auch die Börsenstrompreise sind in der Folge stark angestiegen.

## 2 Zementindustrie

Die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementindustrie sind seit Beginn des Emissionshandels nur kurzzeitig, insbesondere während der Wirtschafts- und Finanzkrise, in den Jahren 2009 und 2010 gesunken. Dies liegt an dem stetigen Produktionswachstum in den vergangenen Jahren infolge einer dynamischen Entwicklung der Bauwirtschaft.

Ein Blick auf die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Grauzementklinker in Abhängigkeit von der Zeit (Bild 5) zeigt, dass diese zwischen 1990 und 2010 gesenkt werden konnten [4]. Die spezifischen Klinkeremissionen der EU 28 liegt im Durchschnitt

bei etwa 825 kg CO<sub>2</sub>/t Klinker. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Anteil der Prozessemissionen ca. 540 kg CO<sub>2</sub>/t Klinker beträgt. Somit setzen sich die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Grauzementklinker zu 2/3 aus der Kalksteinsäuerung und zu 1/3 aus dem Einsatz der Brennstoffe zusammen. Gemäß dem aktuellen Stand der Technik und bezogen auf die chemische Grauzementklinkerzusammensetzung können Prozessemissionen zur Zeit nicht gemindert werden [5].

Die spezifischen Emissionen der Klinkerherstellung in Deutschland haben sich zwischen 2005 und 2017 gemäß der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt nur unwesentlich verringert [6]. Die spezifischen Emissionen der 34 Grauzementklinker-Anlagen lagen im Jahr 2017 wie im Vorjahr bei 803 kg CO<sub>2</sub>/t Klinker und sind damit geringer als der Durchschnitt der EU 28.

Der aktuelle Benchmark für Grauzementklinker beträgt 766 kg CO<sub>2</sub>/t Klinker

und basiert auf dem Durchschnitt von 10 % der besten Anlagen in Europa. Der Benchmark wurde in Deutschland 2017 von sechs Anlagen unterschritten. Das heißt, mehr als 80 % der Grauzementklinker-Anlagen hatten höhere spezifische Emissionen.

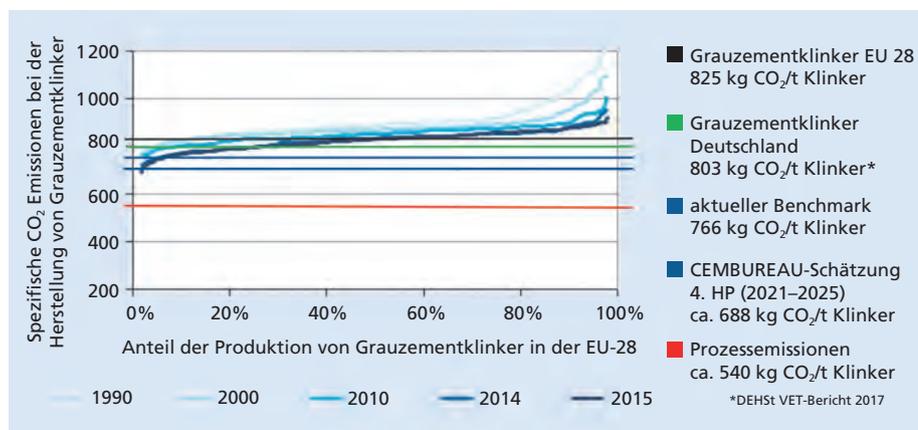
Die Benchmarks, die eine wesentliche Berechnungsgrundlage für die Zuteilung sind, werden künftig deutlich verschärft. Hierzu sind zwei Datenerhebungen auf Basis der Jahre 2016/2017 und der Jahre 2021/2022 vorgesehen. Auf dieser Grundlage soll für jeden Benchmark die Minderungsrate gegenüber dem aktuellen Wert bestimmt und entsprechend linear fortgeschrieben werden. Dabei werden künftig zwei Benchmark-Werte ermittelt – für die Jahre 2021 bis 2025 und 2026 bis 2030. Die lineare Fortschreibung tatsächlich erzielter Minderungsraten ist eine Abkehr vom Benchmark-Prinzip, da künftig selbst die effizientesten Anlagen eines Sektors nur in Ausnahmefällen den Benchmark erreichen werden.

Die CEMBUREAU-Schätzung geht für den ersten Teil der 4. Handelsperiode (2021 bis 2025) von einem Benchmark in der Größenordnung von 688 kg CO<sub>2</sub>/t Klinker aus.

Die grundsätzlichen CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten der Zementindustrie sind in Bild 6 zusammengestellt. Neben den „konventionellen“ Technologien zur CO<sub>2</sub>-Minderung stehen auch mögliche Breakthrough-Technologien im Fokus.

Die thermische Effizienz in der Zementindustrie ist, verglichen mit anderen Industrieprozessen, sehr hoch und stößt mittlerweile an die chemisch-mineralogischen Grenzen. Der Einsatz alternativer Brennstoffe begünstigt durch einen geringeren Kohlenstoffanteil sowie hohen Biomasse-Anteil die CO<sub>2</sub>-Bilanz im Herstellprozess. Eine stetige Senkung des Klinkeranteils im Zement wird durch die Verfügbarkeit geeigneter Ersatzmaterialien begrenzt. Der Einsatz calcinierter Rohstoffe ist aufgrund fehlender Verfügbarkeit geeigneter Materialien in ausreichender Menge kaum nennenswert möglich. Bezüglich der elektrischen Effizienz ist festzustellen, dass die Minderungspotenziale sehr eingeschränkt sind und Zielkonflikte mit zunehmenden Markt- und Umwelтанforderungen existieren. Das betrifft z.B. die steigende Mahlfeinheit von Zement und die Verwendung eines Katalysators für die Stickstoffoxidreduktion.

Zu den Breakthrough-Technologien gehören auch „Neue Bindemittel“. Sie werden aber in absehbarer Zeit klinkerbasierte Zemente nicht in größerem Umfang ersetzen. Insofern bleibt nur die CO<sub>2</sub>-Abscheidung mit Carbon-Capture-Technologien. Sie sind technisch aussichtsreich, verursachen aber hohe Kosten. Die CO<sub>2</sub>-Speicherung bzw. CO<sub>2</sub>-Nutzung sind bislang politisch ungeklärt. Das Oxyfuel-Verfahren ist nach bisherigen Untersuchungen die wirtschaftlichste Carbon-Capture-Technologie für die Zementherstellung. Projekte zur Demonstration der Technologie in Zementwerken erfordern umfangreiche öffentliche Förderungen [7].



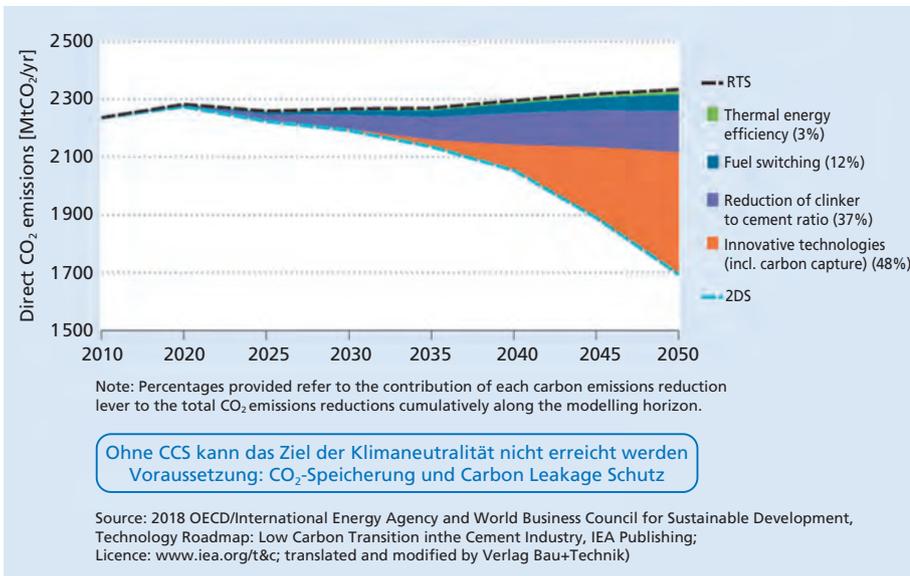
**Bild 5: Aktueller Benchmark Grauzementklinker**

(Quelle: World Business Council for Sustainable Development, www.wbcsdcement.org)

Technologiekategorie	Möglichkeiten
Konventionelle Technologien	<b>Thermische Effizienz</b> ■ Sehr hoch verglichen mit anderen Industrieprozessen/chemisch-mineralogische Grenzen
	<b>Alternative Brennstoffe</b> ■ Geringerer Kohlenstoffanteil + hoher Biomasse-Anteil/energetische + stoffliche Verwendung
	<b>Klinkereffiziente Zemente</b> ■ Senkung des Klinkeranteils im Zement/begrenzte Verfügbarkeit geeigneter Ersatzmaterialien
	<b>Alternative Rohstoffe</b> ■ Einsatz bereits calcinierter Rohstoffe/sehr begrenzte Verfügbarkeit geeigneter Materialien
	<b>Elektrische Effizienz</b> ■ Sehr begrenzte Reduktionspotenziale/Zielkonflikte mit Markt- und Umwelтанforderungen
Breakthrough Technologien	<b>Neue Bindemittel</b> ■ Absehbar keine Alternativen um klinkerbasierte Zemente in größerem Umfang zu ersetzen
	<b>CO<sub>2</sub>-Abscheidung (Carbon-Capture-Technologien)</b> ■ Aussichtsreich, aber hohe Kosten/CO <sub>2</sub> -Speicherung bzw. CO <sub>2</sub> -Nutzung bislang ungeklärt ■ Oxyfuel ist wirtschaftlichste Carbon-Capture-Technologie für Zementherstellung (TRL 6) ■ Demonstrationsprojekt (TRL 7/8) erfordert umfangreiche öffentliche Förderung

**Bild 6: CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten in der Zementindustrie**

(Quelle: VDZ)



**Bild 7: CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale der Zementindustrie bis 2050**

In Bild 7 sind die weltweit auf der Basis der IEA/CSI Technology Roadmap 2018 bis 2050 möglichen CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale in der Zementindustrie dargestellt, mit den Ansätzen thermische Energieeffizienz, Brennstoffwechsel, Klinkerreduktion im Zement und Carbon-Capture-Technologie. Dabei betragen die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementindustrie ca. 2,3 Milliarden t CO<sub>2</sub> pro Jahr bei einer weltweiten Zementproduktion von über 4,1 Milliarden t/a.

Die Roadmap soll wichtige Grenzen, Möglichkeiten und Maßnahmen für die Industrie, die Finanzpartner und die Entscheidungsträger aufzeigen und die Forschung und Entwicklung von Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz und Minderung der Treibhausgasemissionen beschleunigen.

Insbesondere die Minderung von prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Zementindustrie ist eine besondere Herausforderung. Ohne Carbon Capture and Storage (CCS)

kann das Ziel der Klimaneutralität nicht erreicht werden. Die entsprechenden Technologien sind Gegenstand aktueller Forschungsprojekte der europäischen Zementindustrie. Sie sind allerdings mit erheblichem Energieeinsatz und Kosten sowie offenen Fragen zur Speicherung oder Nutzung des CO<sub>2</sub> verbunden. Voraussetzung für die technische Umsetzung ist zudem ein verlässlicher Carbon-Leakage-Schutz durch die Politik.

Mit einem geplanten Förderprogramm zur Decarbonisierung der Industrie strebt das Bundesumweltministerium (BMU) an, ab 2020 innovative Projekte zur Minderung von prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Forschung, Entwicklung, der Erprobung in Versuchsanlagen sowie der Umsetzung im industriellen Maßstab finanziell zu fördern [8].

Die CO<sub>2</sub>-Preisentwicklungen für den Einsatz der Technologien zum Erreichen des 2-°C-Ziels im Zeitraum 2015 bis 2050, bedeuten eine enorme Kostensteigerung für die Zementindustrie (Bild 8). In der Abbil-

dung ist zu erkennen, dass die Anwendung von CCS in der Zementindustrie ab einem CO<sub>2</sub>-Preis von ca. 100 €/t eine wirtschaftliche Bedeutung erlangt. Für neue Bindemittel ergibt sich nach dem Bericht der High-Level Commission on Carbon Prices ein Preisniveau von 110 bis 135 €/t CO<sub>2</sub>.

### 3 Klimaschutz der Betonanwender und der Bauwirtschaft

Die Betonbauweise wird auch zukünftig durch Klimaschutz und Ressourceneffizienz vor große Herausforderungen gestellt. Dabei ist zu bedenken, dass Portlandzementklinker auf absehbarer Zeit der wesentliche Bestandteil von Zement bleiben wird.

Eine weitere Senkung des Klinker/Zement-Faktors von aktuell etwa 0,71 [9] in Deutschland vermindert die CO<sub>2</sub>-Intensität von Beton durch anwendungsbezogenen Einsatz klinkereffizienter Zemente. Die Erweiterung der Zementnorm durch z.B. CEM II/C-M mit einem Mindestklinkergehalt von 50 % unterstützt diese Maßnahme in Verbindung mit einer angepassten Betontechnologie für klinkereffiziente Zemente hinsichtlich der Frisch- und Festbetoneigenschaften sowie Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Beton. Das CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial beim Transportbeton beträgt bis zu 25 % durch zusätzlichen Einsatz von CEM II/C-M und CEM II/B-LL-Zementen.

Neue Bindemittel können zunächst für Nischenanwendungen zum Einsatz kommen. Eine steigende Zementvielfalt führt beim Betonhersteller zu erhöhtem Aufwand bzgl. der Logistik (mehr Silos) und der Betonherstellung sowie Betonüberwachung. Zusätzlich benötigt die Entwicklung einer klimafreundlichen Betonbauweise innovative Konstruktions- und Produktionstechniken wie z.B. Leichtbau, Carbonbeton und eine fortschreitende Digitalisierung (Industrie 4.0, BIM-Building Information Modeling). Dabei sind ein intensiver Wissenstransfer und eine entsprechende Kommunikation entlang der gesamten Wertschöpfungskette erforderlich.

**Produkt Environmental Footprint (PEF)**

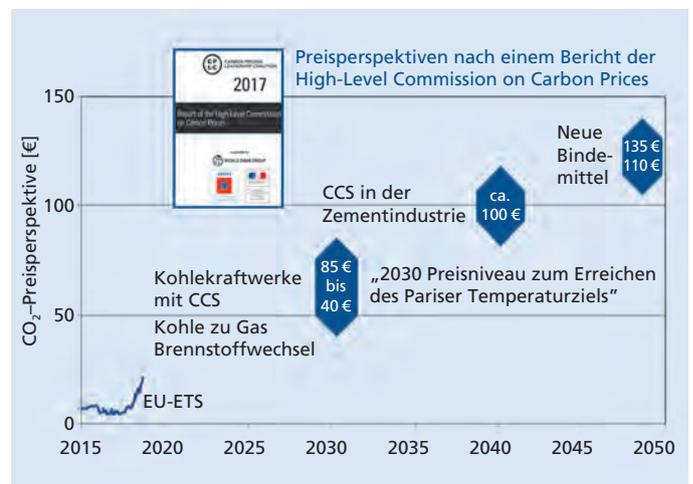
- Product Environmental Footprint (PEF): von der Europäischen Kommission entwickelte Methodik zur Quantifizierung der ökologischen Performance von Produkten aus allen Bereichen
- Pilotphase kurz vor dem Abschluss, auch unter Beteiligung von Bauprodukten (Dekorfarben, Metallbleche, Wärmedämmung)
- Soll für Bauprodukte auf den Ökobilanznormen des CEN/TC 350 basieren
- Angestrebt im PEF: Definition eines „repräsentativen Produkts“ je Produktgruppe sowie die Festlegung von Benchmarks
- Mögliches Ziel\*:

**ENVIRONMENTAL IMPACT**  
A B C D E  
BETTER AVERAGE WORSE  
This rating has been verified by independent experts and is based on the product's contribution to:

- Global warming
- Air pollution
- Water pollution

\* „Outcomes of the Environmental Footprint pilot phase“, presentation by Michele Galatola, DG Environment, Conference of the Environmental Footprint Pilot Phase, 24. April 2018

**Bild 8: CO<sub>2</sub>-Preisperspektiven für die Technologien, um das 2-°C-Ziel zu erreichen** (Quelle: VDZ)



**Bild 9: Produkt Environmental Footprint (PEF)**

**Faxantwort an: 061 23 / 9238-244**

oder per Post an Anschrift:

Abo-Service  
Fachzeitschrift beton  
Große Hub 10  
  
65344 Eltville

**Gleich  
Bestellkarte  
ausfüllen!**

**Fachzeitschrift beton:**

Informiert über die Gebiete  
der Betonherstellung und  
Betonverwendung

Liefert Erkenntnisse aus  
Forschung und Baubetrieb

Setzt Impulse  
für neue Bauverfahren  
und wirtschaftliche  
Anwendungstechniken

**„JA, ICH WILL DAS JAHRES-ABO!“**



Mein Jahresabonnement kostet 388,00 € inkl. MwSt. und Versand (Ausland 398,00 €) und verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, wenn es nicht spätestens 6 Wochen vor Ablauf der Bezugszeit schriftlich gekündigt wird.

Firma

Name, Vorname

Straße, Nr.

PLZ, Ort

Telefon, Fax-Nr.

E-Mail

**Meine Vorteile:**

- › Über 11 % Preisvorteil gegenüber der Einzelheftbestellung
- › Lieferung frei Haus
- › Jederzeit kündbar (Mindestbezug: 1 Jahr)
- › 20 % Rabatt auf alle Bücher der „edition beton“

Datum, 1. Unterschrift für das Jahresabo

Datum, 2. Unterschrift für die Kenntnisnahme des Widerrufsrechts

Mir ist bekannt, dass ich das Recht habe, den Abschluss meines Vertrags innerhalb von 2 Wochen beim Leserservice, Fachzeitschrift beton, Große Hub 10, 65344 Eltville, zu widerrufen. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs.

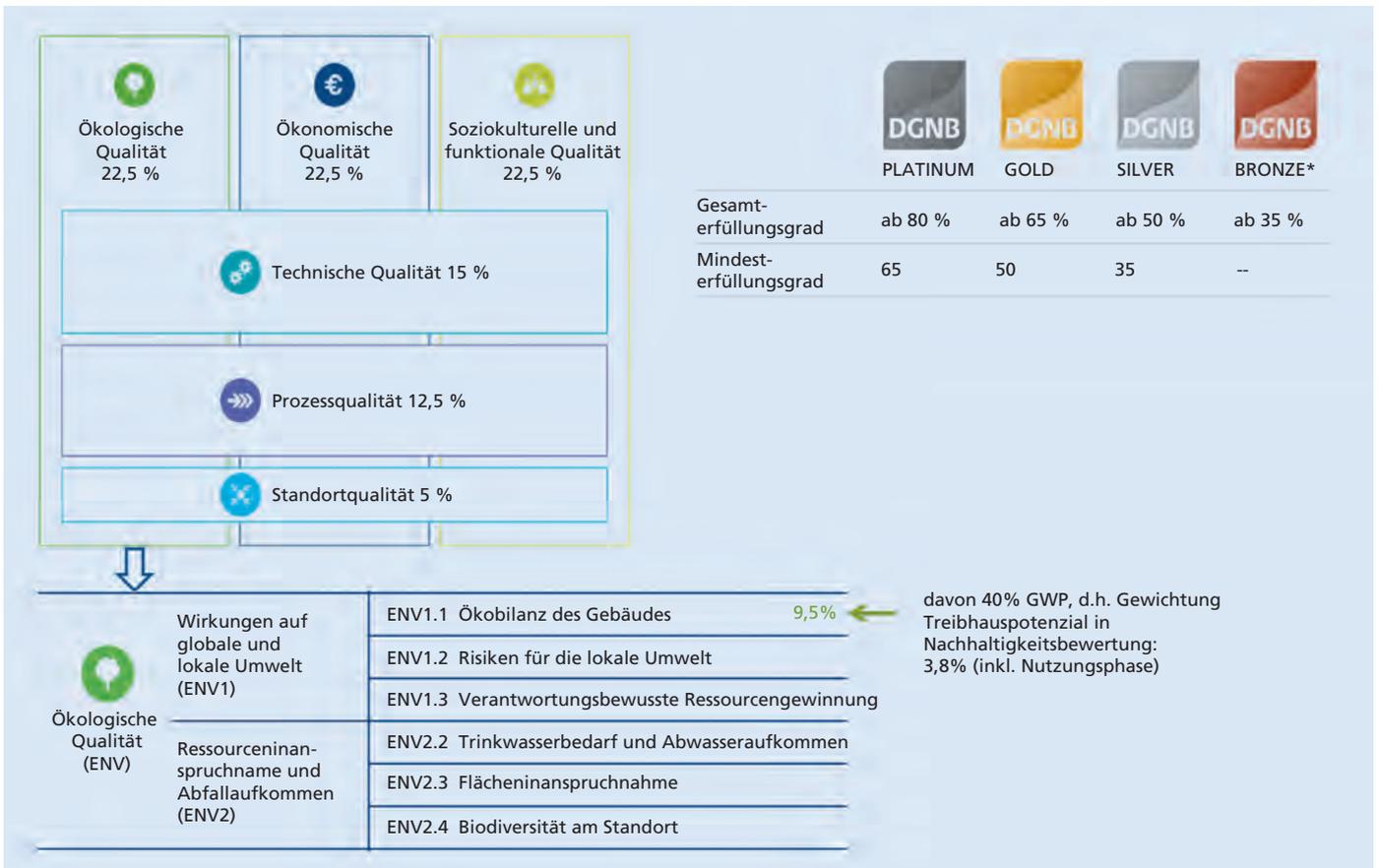


Bild 10: GWP in DGNB-Nachhaltigkeitsbewertung (Stand 2018)

(Quelle: www.dgnb-system.de)

Neben der Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Atmosphäre schreitet die ökologische Bewertung von Produkten voran. Als Eingangsgröße für die Ökobilanzierung von Bauwerken werden bevorzugt Daten aus Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration, EPD) herangezogen. In einer EPD deklariert der Hersteller die Umweltperformance seiner Produkte nach einheitlichen Regeln (Product Category Rules, PCR) und lässt sie von unabhängiger Seite prüfen und verifizieren.

Beim Produkt Environmental Footprint (PEF) handelt es sich um eine von der Europäischen Kommission entwickelte harmonisierte Methodik zur Quantifizierung der ökologischen Performance von Produkten aus allen Bereichen während seines gesamten Lebenszyklus [19] (Bild 9). Die Umweltwirkungen eines Produkts werden beim PEF auf der Grundlage von Wirkungskategorien wie Klimawandel, Abbau der Ozonschicht, Ökotoxizität usw. über die Methodik der Ökobilanzierung berechnet. Die Pilotphase des PEF steht kurz vor dem Abschluss, auch unter Beteiligung von Bauprodukten wie Dekorfarben, Metallbleche und Wärmedämmung.

Im CEN Normenausschuss CEN/TC 350 „Nachhaltigkeit von Bauwerken“ hat bereits eine Überarbeitung der „EPD Norm“ EN 15804 stattgefunden, um die EPD (Environmental Product Declaration) an die PEF-Methodik anzupassen. Angestrebt im PEF ist darüber hinaus die Definition eines

„repräsentativen Produkts“ je Produktgruppe sowie die Festlegung von Benchmarks.

Zielsetzung ist also der Aufbau eines EU-Binnenmarkts für „Grüne Produkte“. In einem Auszug aus der „Resource Efficiency Roadmap“ der EU-Kommission heißt es: „Spätestens 2020 werden Bürger sowie öffentlichen Behörden über angemessene Preissignale und klare Umweltinformationen die richtigen Anreize geboten damit sie die Ressourcenschonendsten Erzeugnisse und Dienstleistungen wählen können.“

Eine wichtige Kenngröße für den Beitrag zum Treibhauseffekt ist das Treibhauspotenzial GWP (Global Warming Potential). Das GWP ist auch Bestandteil der Nachhaltigkeitsbewertung der DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) von Gebäuden [11] (Bild 10).

Ökologische, ökonomische und soziale Kriterien werden in der Gesamtbewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken gleichermaßen berücksichtigt. Über diese drei Dimensionen der Nachhaltigkeit hinaus geht im DGNB-System die technische Qualität des Bauwerks wie z.B. Brand- und Schallschutz in die Bewertung ein. Auch die Prozess- und Standortqualität werden in geringerem Umfang durch Kriterien wie z.B. die Durchführung einer integralen Planung berücksichtigt. Am Ende steht eine Gesamtbeurteilung von Bronze bis Platin.

Bezogen auf die ökologische Qualität der DGNB-Nachhaltigkeitsbewertung hat die Ökobilanz des Gebäudes aktuell einen

Anteil von 9,5%, davon 40% GWP. Das heißt, die Gewichtung des Treibhauspotenzials in der Nachhaltigkeitsbewertung beträgt 3,8% inklusive Nutzungsphase.

Es zeigte sich also, dass das Treibhauspotenzial in der Nachhaltigkeitsbewertung des DGNB-Systems einen relativ geringeren Stellenwert hat. Darüber hinaus beeinflussen die Umweltwirkungen der Zementherstellung ausschließlich die Ökobilanz der Gebäudeherstellung, nicht jedoch die der Gebäudenutzung. Aufgrund immer höherer Anforderungen an die Energieeinsparung während der Gebäudenutzung wird der Anteil der Gebäudeherstellung innerhalb der Ökobilanz aber in den kommenden Jahren bedeutsamer werden.

Zukünftig soll auch die CO<sub>2</sub>-Aufnahme des Betons durch die Carbonatisierung als CO<sub>2</sub>-Senke berücksichtigt werden. Im Report „CO<sub>2</sub> uptake in cement containing products“ [12] wird das Ziel formuliert, die Carbonatisierung im Rahmen der nationalen und internationalen (UNFCCC, Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen) CO<sub>2</sub>-Berichterstattung zu berücksichtigen.

Es gibt drei Berechnungsmethoden mit unterschiedlicher Komplexität. Die einfachste Methode „Tier 1“ betrachtet die jährliche CO<sub>2</sub>-Aufnahme eines Betongebäudes über Faktoren von 0,20 für die Nutzphase, 0,02 für das Lebensende und 0,01 für die Wiederverwertung, die mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Calciniierung des verbrauchten Zementklinkers multipliziert werden.

- Non-Profit-Organisation (London seit 2000, Deutschland seit 2006)
- CDP verwaltet weltweit größte Datenbank ihrer Art
- Teilnahme an CDP freiwillig (aber „alternativlos“, da Unternehmens-Score mittlerweile hohe Bedeutung für Investoren)
- Ziele:



Bild 11: CDP (ehemaliges Carbon Disclosure Project)

Eine genauere Abschätzung in Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung und der Expositionsklasse wird in EN 16757 Annex BB beschrieben [2].

Aus der vereinfachten Berechnungsmethode ergibt sich eine CO<sub>2</sub>-Aufnahme von ungefähr 15 % der spezifischen Klinkeremissionen (inklusive Emissionen aus Brennstoffen) über den gesamten Lebenszyklus.

Die Carbonatisierungsgeschwindigkeit und die maximal mögliche CO<sub>2</sub>-Aufnahme eines zementgebundenen Baustoffs hängen vom Zement- bzw. Klinkergehalt, den Expositionsbedingungen sowie der Behandlung nach dem Abbruch des Bauwerks ab.

In den Niederlanden werden mittlerweile die Umweltkosten eines Projekts mit so genannten „Schattenpreisen“ abgeschätzt und zu den Angebotskosten des Bauprojekts addiert. Die Entscheidung für einen Anbieter basiert auf der Summe aus Angebots- und Umweltkosten. Der „Schattenpreis“ z.B. für das Treibhauspotenzial beträgt aktuell 50 €/t CO<sub>2</sub>. Die Höhe der Umweltkosten betragen nach mündlichen Informationen bis zu ca. 30 % der Angebotskosten [13].

In dem Zusammenhang ist eine Aufnahme von EPDs für Bauprodukte gemäß der holländischen Anforderungen in der niederländischen Datenbank („Stichting Bouwkwiteit“) erforderlich. Die EPD muss durch einen LCA-Experten (Life Cycle Assessment) geprüft werden, der von der „Stichting Bouwkwiteit“ autorisiert ist.

Ansonsten werden die Umweltwirkungen des Produkts mit Zusatzkosten belegt.

Die beschriebene Vorgehensweise ist nicht europäisch harmonisiert und es stellt sich die Frage, ob beim Export von Zement zukünftig länderspezifische EPD erforderlich sind.

#### 4 Die Berücksichtigung der Umweltaspekte durch institutionelle Anleger

Institutionelle Anleger beachten bereits verstärkt, dass Unternehmens-Scores bezüglich des unternehmerischen Umgangs mit den Treibhausgasemissionen und den Risiken des Klimawandels korrespondieren. Als ein Beispiel soll hier die im Jahr 2000 in London gegründete Non-Profit Organisation CDP (ehemals Carbon Disclosure Project) vorgestellt werden [14] (Bild 11).

CDP ist die weltgrößte Investoreninitiative mit mehr als 650 Großinvestoren, die zusammengerechnet ein großes Anlagevermögen verwalten. Sie wendet sich im Auftrag ihrer Mitglieder jährlich an Tausende der größten börsennotierten Unternehmen und öffentliche Institutionen aus allen Kontinenten. Sie verlangt neben Emissionsdaten auch einen verantwortlichen Umgang mit Wasser, den Schutz von Primärwäldern und das Management von Umwelttrisiken in der Zuliefererkette. Das CDP hat die weltgrößte Datenbank ihrer Art aufgebaut, inklusive Unternehmensstrategien zum Klimawandel. Eine Teilnahme an CDP ist freiwillig aber

„alternativlos“, da Unternehmens-Score mittlerweile hohe Bedeutung für Investoren haben. Ein steigender Anteil der Unternehmen erklärt sich mit der Veröffentlichung der Daten einverstanden. Die Investoren wollen die Klimarisiken, die mit ihren Kapitalanlagen verbunden sind, verstehen und senken sowie dazu beitragen, einen gefährlichen Klimawandel zu vermeiden.

Dem Druck der Investoren beugen sich die Unternehmen mehr und mehr, die Antwortquoten steigen jährlich. Die über 5000 Unternehmen, die das CDP 2013 befragte, repräsentieren dessen Angaben zufolge mehr als die Hälfte des gesamten weltweit notierten Aktienkapitals. Die Großinvestoren geben auf diese Weise Anstöße zum Handeln. „Es ist von größter Bedeutung, dass die Hauptemissionsverursacher ihre Klimaschutzbestrebungen deutlich steigern und die Regierungen mehr Anreize dafür geben (...) um unser aller Naturkapital nicht zu gefährden“, sagte CDP-Vorstandschef Paul Simpson anlässlich der Veröffentlichung des CDP Global 500-Berichts.

#### Literatur

- [1] BMU Klimaschutz in Zahlen 2018
- [2] Umweltbundesamt, Nationale Inventarberichte zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 bis 2017 (Stand 01/2019)
- [3] Studie, BDI, Klimapfade für Deutschland, 18. Januar 2018
- [4] Source: [http://www.wbcsdcement.org/GNR-2015/EU28/GNR-Indicator\\_59cDG-EU28-allyear.html](http://www.wbcsdcement.org/GNR-2015/EU28/GNR-Indicator_59cDG-EU28-allyear.html) and VDZ, with modifications
- [5] IEA/CSI Technology Roadmap 2018
- [6] Deutsche Emissionshandelsstelle im Bundesumweltamt, VET-Bericht 2017
- [7] CEMCAP – CO<sub>2</sub>-Abscheidung in der Zementproduktion; financed from the Horizon 2020 research and innovation programme of the European Union; grant agreement No. 641185)
- [8] Bundesumweltministerium: Förderprogramm zur Dekarbonisierung der Industrie (Stand 2019)
- [9] VDZ, Zahlen und Daten 2018
- [10] Environmental Footprint: Der Umwelt-Fußabdruck von Produkten und Dienstleistungen, Forschungskennzahl 371295337 UBA-FB XXX
- [11] DGNB System, Kriterienkatalog Gebäude Neubau Version 2018
- [12] Stripple, H.; Ljungkrantz, C.; Gustafsson, T.; Andersson, R. CO<sub>2</sub> uptake in cement-containing products: Background and calculation models for IPCC implementation. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute, 2018 (Report B 2309)
- [13] Mitarbeiter Rijkswaterstaat
- [14] <https://www.cdp.net/en>

## VDB-Fachtagung 2020

Beton – Entwicklungen und Tendenzen

am 20. Mai 2020 in Straßburg, Frankreich im CCI Campus Strasbourg

# VDB

[www.betoningenieure.de/](http://www.betoningenieure.de/)  
Fachtagung2020