

Bewährtes neu denken

Dekarbonisierung und Ressourceneffizienz von Zement und Beton Was sind die entscheidenden Hebel?

vdz

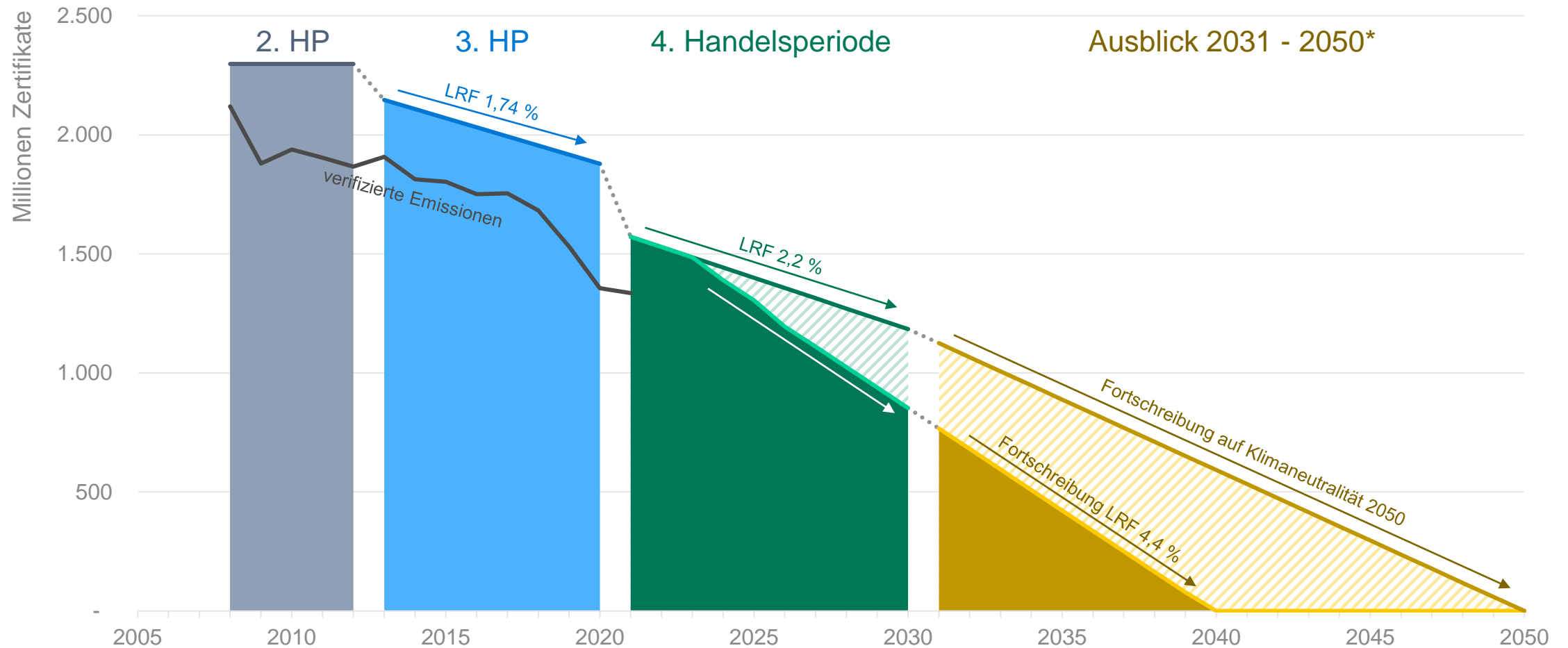
Christoph Müller

Baugespräch "Alte und neue Baustoffe und Technik – Potentiale und Möglichkeiten"

Neumünster, 26.03.2024

Die Zeit drängt ...

Minderungspfad des EU-Emissionshandels erfordert „Net Zero“ um das Jahr 2040



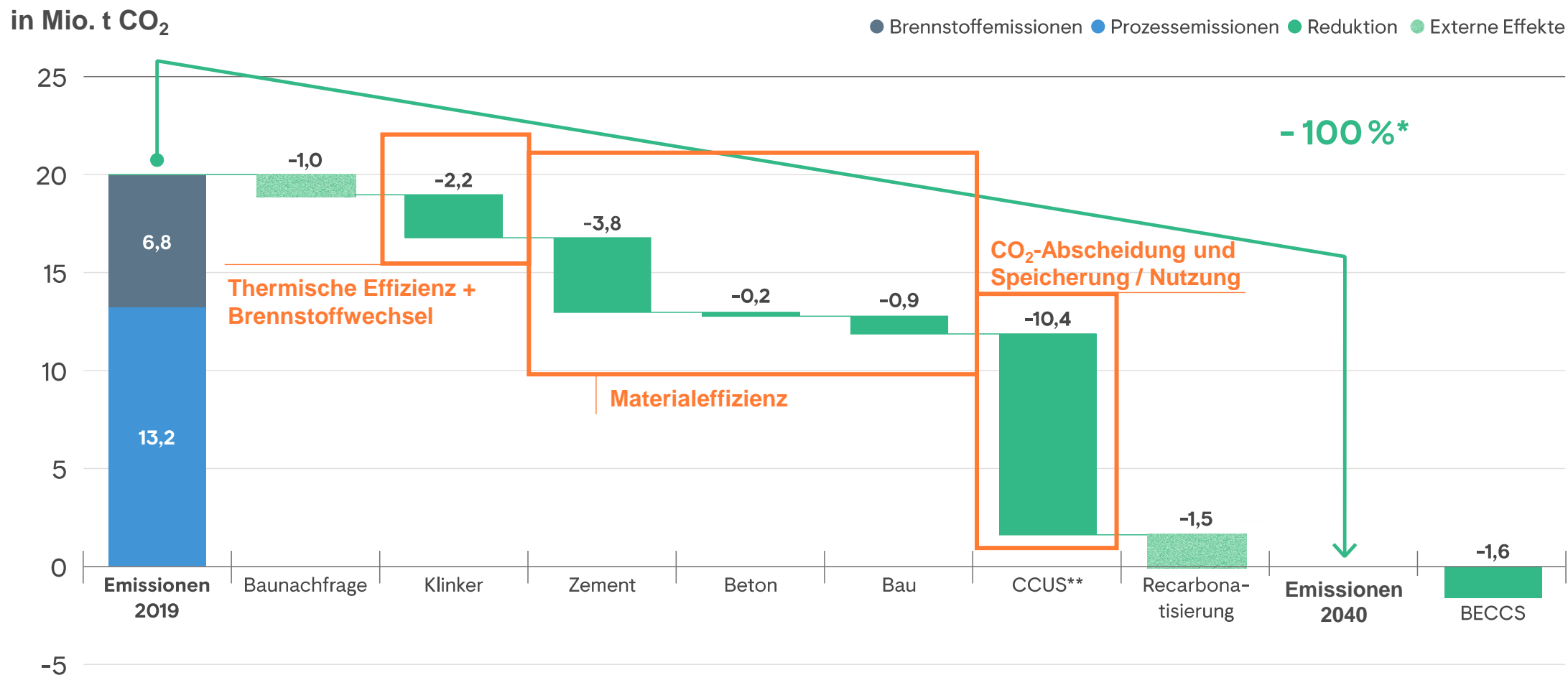
Quellen: Umweltbundesamt, EU-Kommission, Trilog-Ergebnisse, eigene Berechnungen

*) Annahmen für Projektion: LRF ab 2031 (ohne Reform) führt zu Klimaneutralität im EU ETS bis 2050; LRF ab 2031 (nach Reform) beträgt 4,4 %

Nicht berücksichtigte Effekte: Marktstabilitätsreserve, Einbeziehung Müllverbrennungsanlagen ab 2028, mögliche Einbeziehung des ETS 2 (Verkehr, Gebäude, übrige Industrieanlagen); mögliche Anrechnung von Negativemissionen

Wie gelingt die Dekarbonisierung von Zement und Beton?

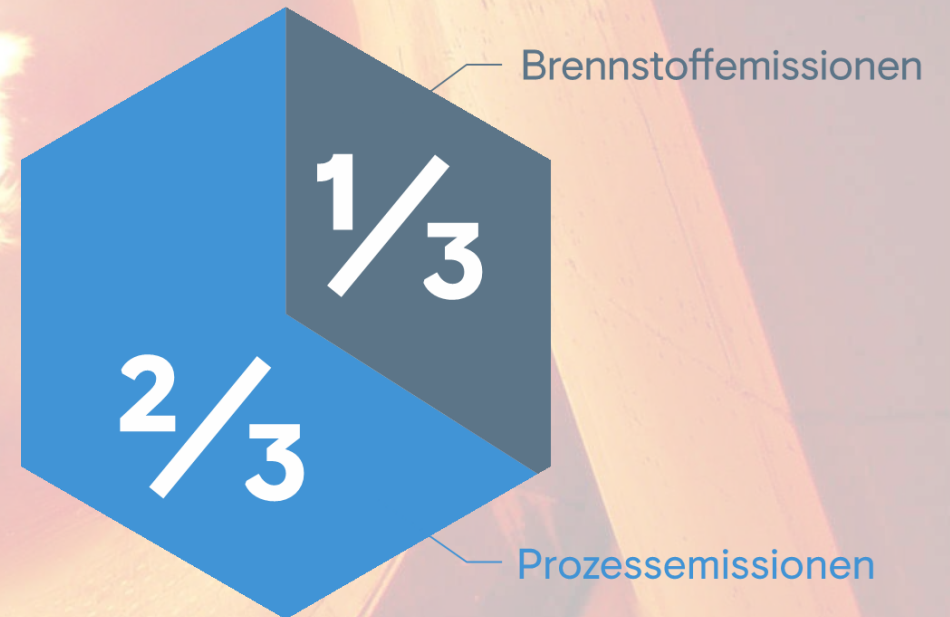
CO₂-Minderungstechnologien in 2040



Quelle: VDZ / Anmerkungen: *Davon ca. 88 % Minderung durch Maßnahmen der Wertschöpfungskette. Die verbleibenden Emissionen werden durch den Rückgang der Baunachfrage sowie den Beitrag der Recarbonatisierung reduziert. ** Carbon-Capture-Technologien mit dem Ziel der Vermeidung von CO₂-Emissionen in die Atmosphäre durch CO₂-Speicherung (CCS) und geeignete Verfahren zur CO₂-Nutzung (CCU).

Portlandzementklinker

Hauptbestandteil von Zement
Herstellung bei bis zu 1450 °C



CCUS in der Zementindustrie: Projektbeispiele in Deutschland



Perspektive für deutsches CO₂-Netz auf der Basis aktueller Projektankündigungen

8 Politik

Handelsblatt

Montag, 18. März 2024, Nr. 55

Klaus Stratmann Berlin

Aus Sicht von Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck (Grüne) ist die Speicherung von Kohlendioxid auf dem Weg zur Klimaneutralität unverzichtbar. Ende Februar hatte Habeck die Eckpunkte für eine entsprechende Strategie sowie einen Gesetzentwurf zur Änderung des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes vorgelegt. Im Kern geht es darum, bestimmten Industriebranchen, deren CO₂-Ausstoß mit den heute anwendbaren Verfahren nicht zu vermeiden ist, eine Überlebensperspektive auf dem Weg zum geplanten klimaneutralen Wirtschaften zu geben. Betroffen sind insbesondere die Zement- und die Kalkherstellung sowie die Abfallverbrennung.

Um das an verschiedenen Produktionsstätten in ganz Deutschland anfallende klimaschädliche CO₂ einzusammeln und zu den künftigen Speicherstätten transportieren zu können, bedarf es einer eigenen Infrastruktur. Wie diese aussehen könnte, hat der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) in engem Austausch mit den anderen betroffenen Branchen in einer Studie skizziert. „Der Aufbau einer CO₂-Infrastruktur in Deutschland ist für Branchen mit hohen unvermeidbaren CO₂-Emissionen essenziell. Mit der Studie wollen wir aufzeigen, welchen CO₂-Transportbedarf es gibt und welche Anforderungen eine Infrastruktur zur Erreichung der Klimaneutralität erfüllen muss“, sagt VDZ-Präsident Christian Knell.

Ein Ergebnis der Studie: Um die Standorte der Zement- und Kalkindustrie sowie der Abfallverbrennung in Deutschland miteinander zu verbinden und den Abtransport des Kohlendioxids zu den Speicherstätten zu ermöglichen, muss ein Netz mit 4800 Kilometern Länge gebaut werden. Der Investitionsbedarf wird in der Studie auf



CO₂-Abscheide und -Speicheranlage in Kanada: Eine Methode für klimafreundliches Wirtschaften.

Klimaneutralität

14 Milliarden Euro für 4800 Kilometer CO₂-Pipelines

Einige Branchen können den Ausstoß von CO₂ nicht vermeiden. Es soll daher durch Speicherung klimaschädlich gemacht werden. Eine neue Infrastruktur muss her.

14 Milliarden Euro beziffert.

Die Menge der unvermeidbaren CO₂-Emissionen aus den Sparten Zement, Kalk und Abfallverbrennung wird in der Studie mit 66 Millionen Tonnen pro Jahr beziffert. Zur Einordnung: Insgesamt beliefen sich die CO₂-Emissionen in Deutschland 2023 nach Angaben des Umweltbundesamts auf 673 Millionen Tonnen.

Speicherung macht CO₂-klimaschädlich

Im Zusammenhang mit verschiedenen Projekten zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (Carbon Capture and Storage, kurz CCS) gibt es bereits Vorschläge für den Aufbau eines CO₂-Pipelinesetzes. Sehr weit reichen etwa die Pläne des Gasnetzbetreibers OGE. Die Studie knüpft an diese Projekte an, bindet sie zusammen und ergänzt sie zu einem deutschlandweiten CO₂-Transportnetz mit einigen grenzüberschreitenden Leitungen.

Die Studie sieht die Schwerpunkte der CO₂-Speicherung im dänischen, niederländischen, norwegischen und britischen Teil der Nordsee, sie verweist auch auf Speicherprojekte an Land, etwa in Frankreich und Polen.

Aus Sicht der Zementindustrie kann aber der Export von CO₂ nicht die einzige Lösung sein: „Auch Deutschland ist gefragt, zum Aufbau einer europäischen Speicherinfrastruktur beizutragen und Verantwortung für die eigenen CO₂-Emissionen zu übernehmen“, sagt VDZ-Chef Knell. Der Vorschlag von Minister Habeck sei daher „vielsprechend, weil er die Offshore-Speicherung in Deutschland und den Pipelinetransport ermöglichen soll“.

Habeck hatte bei der Präsentation seiner Pläne zur CO₂-Speicherung damit überrascht, dass er eine Speicherung im deutschen Teil der Nordsee nicht ausschließt. Allerdings dürfte es darüber in den kommenden Wochen und Monaten noch Debatten geben. In seiner Partei ist der Plan umstritten.

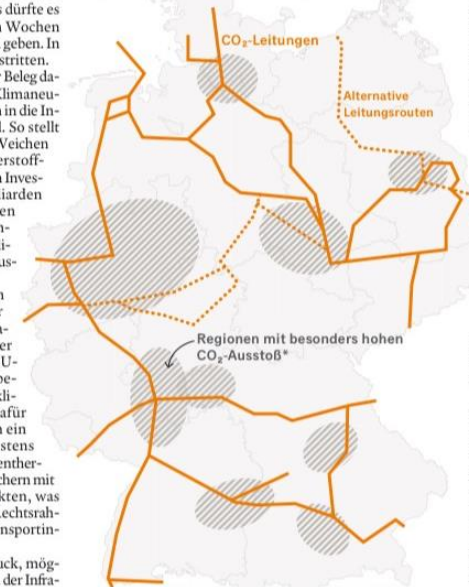
Die Studie ist ein weiterer Beleg dafür, dass auf dem Weg zur Klimaneutralität massive Investitionen in die Infrastruktur erforderlich sind. So stellt der Gesetzgeber gerade die Weichen für den Aufbau eines Wasserstoffnetzes mit einem geschätzten Investitionsvolumen von 20 Milliarden Euro. Hinzu kommen in den nächsten anderthalb Jahrzehnten Investitionen in dreistelliger Milliardenhöhe für den Ausbau der Stromnetze.

Aus Sicht der betroffenen Branchen drängt die Zeit für den Aufbau einer CO₂-Infrastruktur: „Zementhersteller und andere Branchen im EU-Emissionshandel müssen bereits bis 2040 weitgehend klimaneutral produzieren. Dafür brauchen die Unternehmen ein CO₂-Pipelinesnetz bis spätestens 2035“, sagt Knell. Viele Zementhersteller stünden in den Startlöchern mit ihren CO₂-Abscheideprojekten, was aber fehle, sei der nationale Rechtsrahmen und eine geeignete Transportinfrastruktur.

Tatsächlich geht der Druck, möglichst schnell mit dem Aufbau der Infrastruktur zu beginnen, vom EU-Emissionshandel aus. Zement- und Kalkindustrie sind zur Teilnahme daran

So könnte das CO₂-Netz aussehen

Mögliche Korridore für den Transport von Kohlendioxid



*Zement- und Kalkindustrie sowie Abfallentsorgungsunternehmen sind Quellen mit hohen Treibhausgasemissionen
HANDELSBLATT • Quelle: VDZ

verpflichtet. Abfallverbrennungsanlagen werden ab 2028 in das Emissionshandelssystem einbezogen.

Die Betreiber von emissionshandelspflichtigen Anlagen müssen für jede Tonne CO₂, die sie ausstoßen, ein Zertifikat nachweisen. Die Zahl der Zertifikate wird von Jahr zu Jahr kleiner, um den Anreiz zu erhöhen, in klimafreundliche Verfahren zu investieren. Wenn die Zertifikatmenge weiterhin wie geplant sinkt, werden 2040 keine neuen Zertifikate mehr ausgegeben.

Anders ausgedrückt: Die Branchen Kalk, Zement und Abfallverbrennung müssen bis dahin über eine funktionierende CO₂-Infrastruktur verfügen, um CO₂ speichern zu können. Für CO₂, das eingespeichert wird, brauchen sie keine Zertifikate nachzuweisen. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass sich das Ziel für 2040 nur erreichen lässt, wenn der Infrastrukturausbau bereits mit einem Leitungsanschluss der ersten Standorte ab 2028 beginnt.

Dass Abscheidung, Transport und Speicherung von CO₂ funktionieren, haben verschiedene Branchen im Pilot- und Demonstrationsmaßstab urter Beweis gestellt. Die Zementindustrie geht einen Schritt weiter: So errichtet das Unternehmen Heidelberg Materials im norwegischen Brevik die weltweit erste Anlage zur CO₂-Abscheidung und -speicherung im industriellen Maßstab in einem Zementwerk. Die Anlage soll noch 2024 in Betrieb gehen. Für 2029 ist die Inbetriebnahme einer ähnlichen Anlage im nordrhein-westfälischen Geiseke vorgesehen.

© Handelsblatt Media Group GmbH & Co. KG. Alle Rechte vorbehalten. Zum Erwerb weitergehender Rechte wenden Sie sich bitte an nutzungsrechte@handelsblattgroup.com

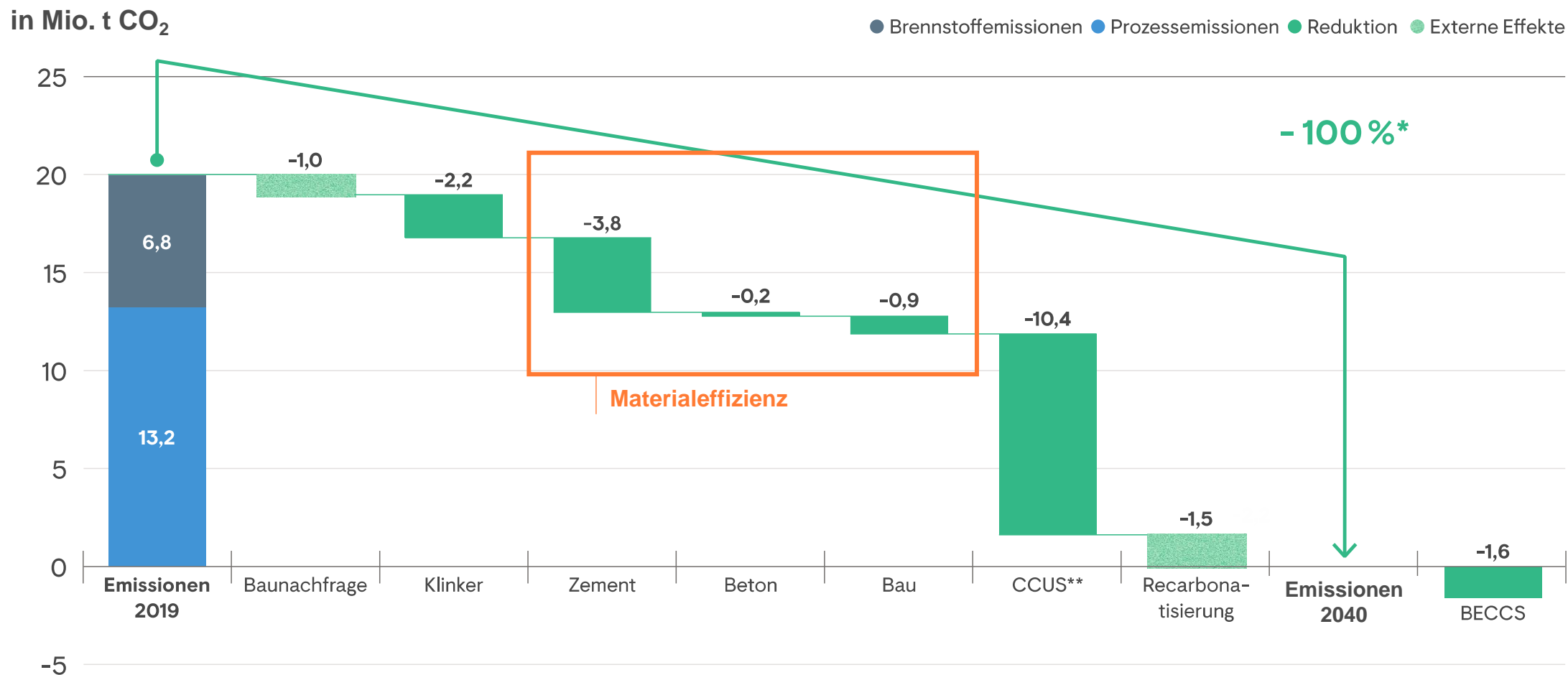
Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie 26.02.2024



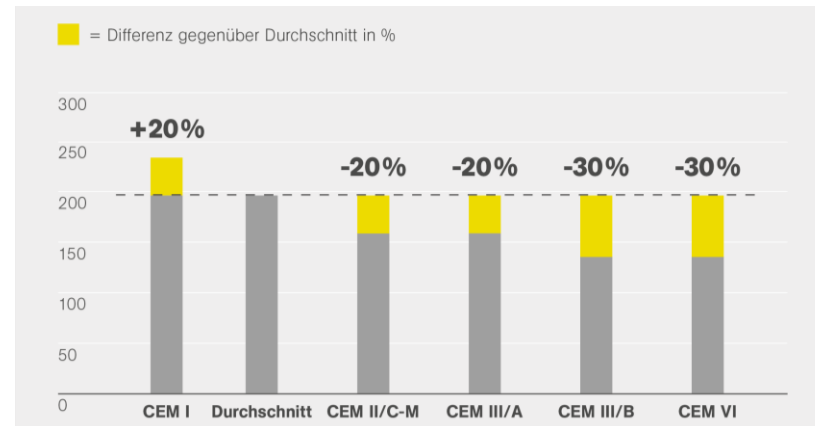
Pressekonferenz zur Vorstellung der Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie: Klimaforscher Ottmar Edenhofer, Wirtschaftsminister Robert Habeck und Heidelberg-Materials-Chef Dominik von Achten (Foto: Monika Skolimowska/dpa)

Wie gelingt die Dekarbonisierung von Zement und Beton?

CO₂-Minderungstechnologien in 2040



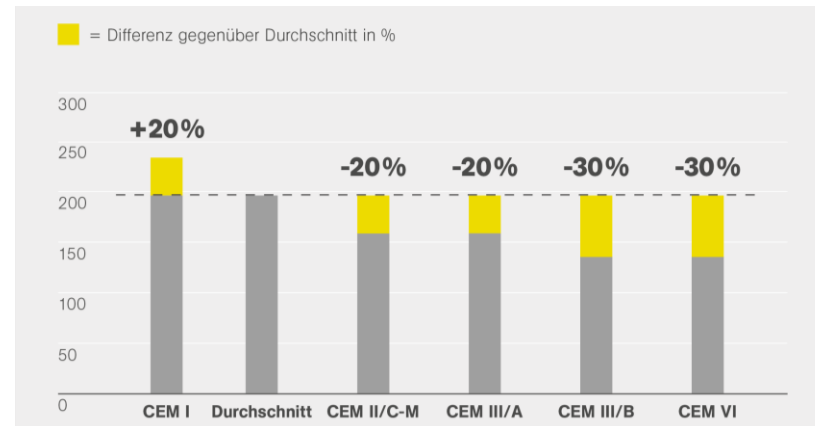
Quelle: VDZ / Anmerkungen: *Davon ca. 88 % Minderung durch Maßnahmen der Wertschöpfungskette. Die verbleibenden Emissionen werden durch den Rückgang der Baunachfrage sowie den Beitrag der Recarbonatisierung reduziert. ** Carbon-Capture-Technologien mit dem Ziel der Vermeidung von CO₂-Emissionen in die Atmosphäre durch CO₂-Speicherung (CCS) und geeignete Verfahren zur CO₂-Nutzung (CCU).



- CO₂-effiziente Zemente und Betone verwenden



- CO₂-effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton planen



- CO₂-effiziente Zemente und Betone verwenden

„CO₂-effizient“

... was ist das?



- CO₂-effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton planen



Betrachtungsebenen	
Bauwerk / Bauteil	kg CO ₂ / m ²
inkl. Nutzungsdauer	kg CO ₂ / m ² x a
Beton	kg CO ₂ / m ³
leistungsbezogen	kg CO ₂ / m ³ x MPa
inkl. Lebensdauer	kg CO ₂ / m ³ x MPa x a
Zement	kg CO ₂ / t

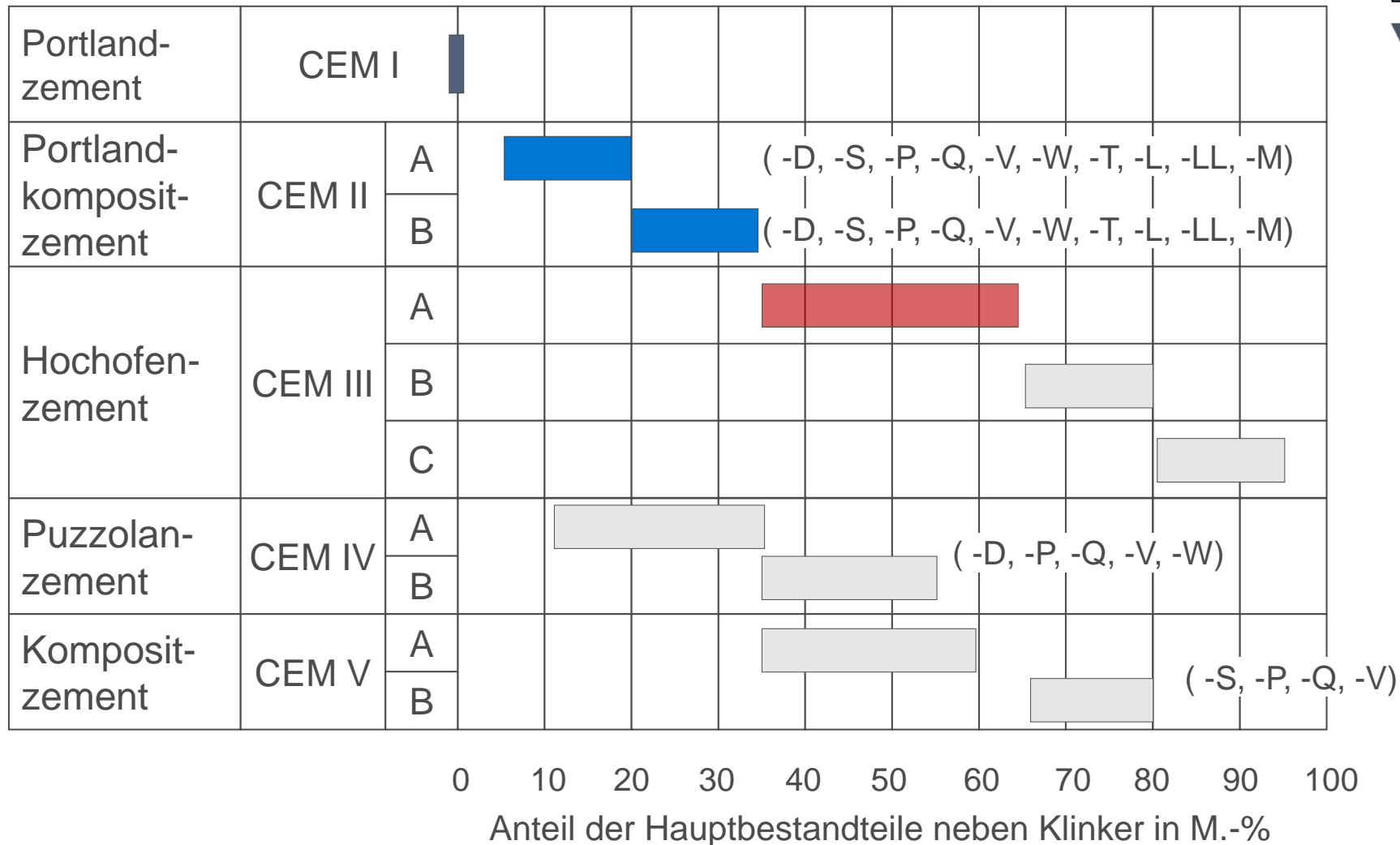


Betrachtungsebenen	
Bauwerk / Bauteil	kg CO ₂ / m ²
inkl. Nutzungsdauer	kg CO ₂ / m ² x a
Beton	kg CO ₂ / m ³
leistungsbezogen	kg CO ₂ / m ³ x MPa
inkl. Lebensdauer	kg CO ₂ / m ³ x MPa x a
Zement	kg CO ₂ / t

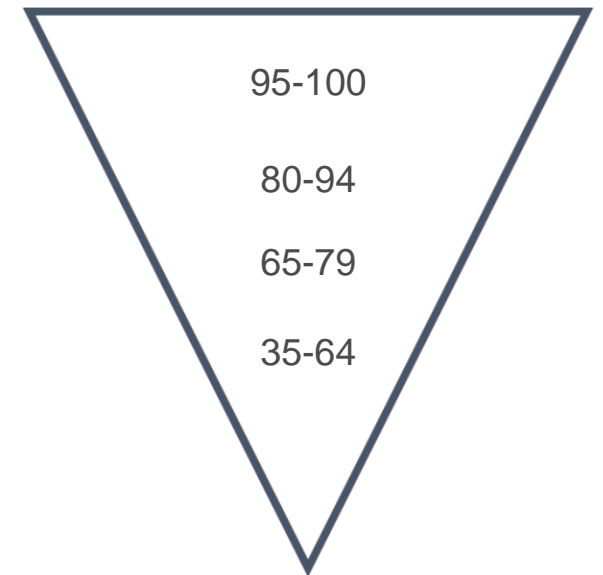
CEM I	Portlandzement	Hauptbestandteile	
CEM II	Portlandkompositzement	Portlandzementklinker (K)	
CEM III	Hochofenzement	Hüttensand (S)	Gebrannter Schiefer (T)
CEM IV	Puzzolanzement	Puzzolane <ul style="list-style-type: none"> • natürlich (P) • natürlich getempert (Q) 	Flugasche <ul style="list-style-type: none"> • kieselsäurereich (V) • kalkreich (W)
CEM V	Kompositzement	Kalkstein (ungebrannt) <ul style="list-style-type: none"> • TOC Gehalt ≤ 0.20 m.-% (LL) • TOC Gehalt ≤ 0.50 m.-% (L) 	Silikastaub (D)

CEM I	Portlandzement	Hauptbestandteile	
CEM II	Portlandkompositzement	Portlandzementklinker (K)	
CEM III	Hochofenzement	Hüttensand (S)	Gebrannter Schiefer (T)
CEM IV	Puzzolanzement	Puzzolane <ul style="list-style-type: none"> • natürlich (P) • natürlich getempert (Q) 	Flugasche <ul style="list-style-type: none"> • kieselsäurereich (V) • kalkreich (W)
CEM V	Kompositzement	Kalkstein (ungebrannt) <ul style="list-style-type: none"> • TOC Gehalt ≤ 0.20 m.-% (LL) • TOC Gehalt ≤ 0.50 m.-% (L) 	Silikastaub (D)

CEM I	Portlandzement	Hauptbestandteile	
CEM II	Portlandkompositzement	Portlandzementklinker (K)	
CEM III	Hochofenzement	Hüttensand (S)	Gebrannter Schiefer (T)
CEM IV	Puzzolanzement	Puzzolane <ul style="list-style-type: none"> • natürlich (P) • natürlich getempert (Q) 	Flugasche <ul style="list-style-type: none"> • kieselsäurereich (V) • kalkreich (W)
CEM V	Kompositzement	Kalkstein (ungebrannt) <ul style="list-style-type: none"> • TOC Gehalt ≤ 0.20 m.-% (LL) • TOC Gehalt ≤ 0.50 m.-% (L) 	Silikastaub (D)



Portlandzementklinker (K) in %

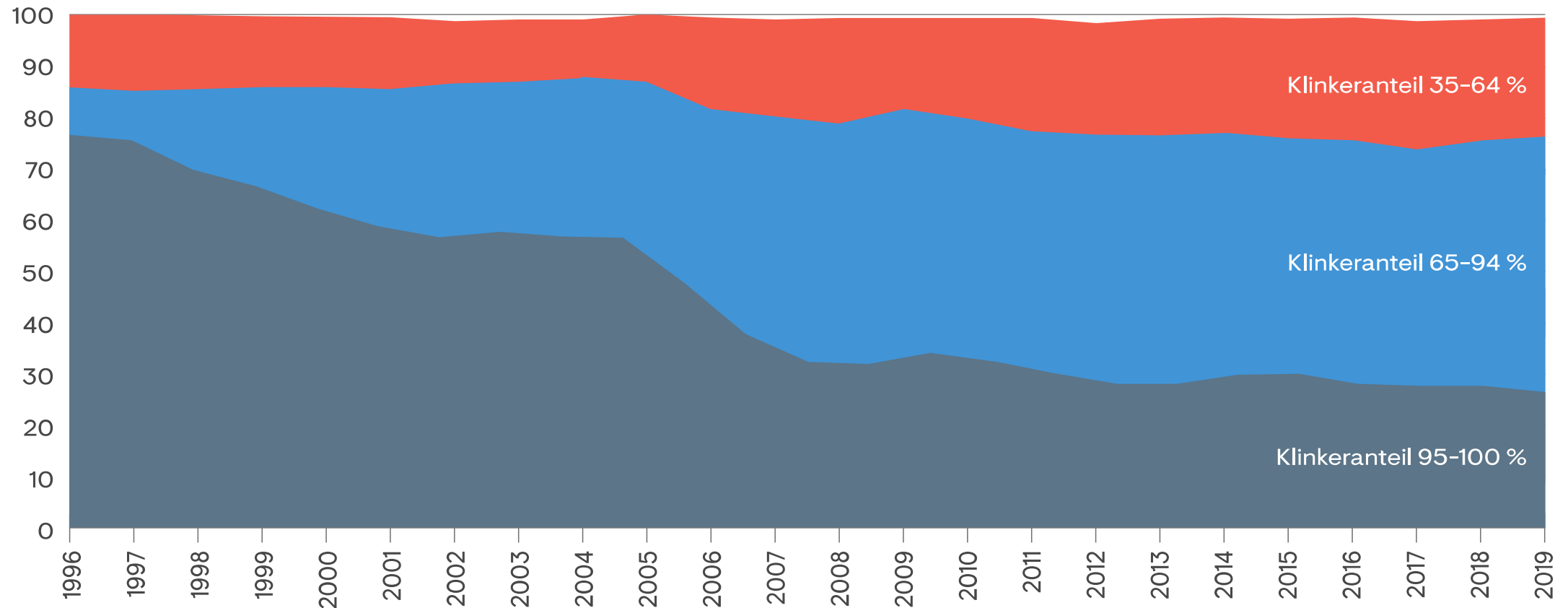


Trend zu klinkereffizienten Zementen im heutigen Produktmix

Durchschnittliche Klinkergehalt im Zement heute bei 71%

Anteil am Inlandsversand der VDZ-Mitgliedsunternehmen

● CEM I ● CEM II / A+B* ● CEM III / A**



Quelle: VDZ

Anmerkungen: Differenz zu 100 % verteilt sich auf CEM IV, CEM V und sonstige Bindemittel; * CEM II / A+B unterteilt sich größtenteils in Portlandhütten-, Portlandkalkstein- und Portlandkompositzemente; ** Deckt in Deutschland ca. 95 % aller CEM III-Zemente ab

CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente

CEM I



CEM II



CEM III



	CEM I	CEM II	CEM III
Treibhausgas-emissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/ t Zement)	665	553	433

Relativ zu CEM I	---	0,83	0,65
------------------	-----	------	------

CEM II: generischer mittlerer Zement in DE (rd. 70 % Klinker)
CEM III: Hochofenzement CEM III/A mit 50 % Hüttensand

CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente

CEM I



CEM II



CEM III



	CEM I	CEM II	CEM III
Treibhausgas-emissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/ t Zement)	665	553	433

Relativ zu CEM I	---	0,83	0,65
------------------	-----	------	------



CEM II: generischer mittlerer Zement in DE (rd. 70 % Klinker)
CEM III: Hochofenzement CEM III/A mit 50 % Hüttensand

<https://www.vdz-online.de/dekarbonisierung>

CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente

CEM I



CEM II



CEM III



	CEM I	CEM II	CEM III
Treibhausgas-emissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/ t Zement)	665	553	433

Relativ zu CEM I	---	0,83	0,65
------------------	-----	------	------

Bestandteil	heute	2030	2050
Klinker	24,2	21,0	15,2
Hüttensand	5,2	4,1	2,0
Kalkstein/ Recyclingmehle	1,5	3,9	5,3
Calc. Tone	0,0	2,6	4,6
Flugasche	0,3	0,0	0,0
Sulfatträger	1,7	1,7	1,4
Sonstiges	1,5	0,2	0,2
Zement	34,4	33,4	28,8
Klinkerfaktor	0,71	0,63	0,53

in Mio. t

CEM II: generischer mittlerer Zement in DE (rd. 70 % Klinker)
CEM III: Hochofenzement CEM III/A mit 50 % Hüttensand

CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente

CEM I



CEM II



CEM II/C



	CEM I	CEM II	CEM II/C
Treibhausgas-emissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/ t Zement)	665	553	400

Relativ zu CEM I	---	0,83	0,60
------------------	-----	------	------

- CEM II/C-M
- Mindestklinkergehalt: 50 %**
- Anteil Kalkstein: 20 %**
- Beispiele:

CEM II/C-M (S-LL)

CEM II/C-M (V-LL)

CEM II/C-M (T-LL)

CEM II/C-M (Q-LL)

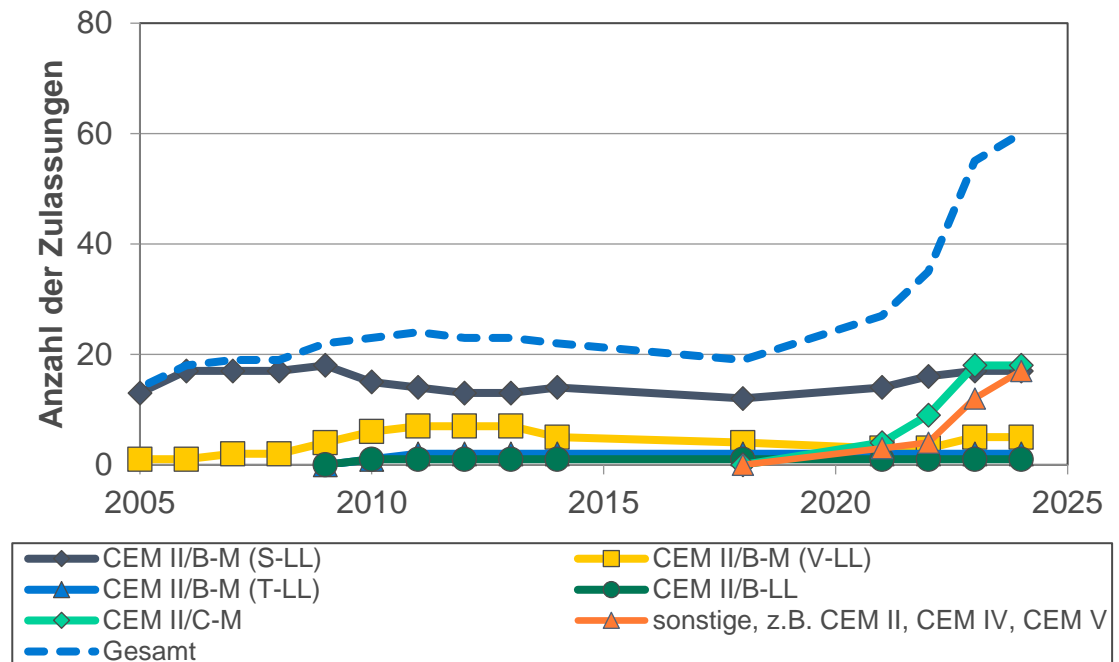
- Erhöhung der Reichweite begrenzt verfügbarer Stoffe wie z. B. Hüttensand oder Flugasche**

Bestandteil	heute	2030	2050
Klinker	24,2	21,0	15,2
Hüttensand	5,2	4,1	2,0
Kalkstein/ Recyclingmehle	1,5	3,9	5,3
Calc. Tone	0,0	2,6	4,6
Flugasche	0,3	0,0	0,0
Sulfatträger	1,7	1,7	1,4
Sonstiges	1,5	0,2	0,2
Zement	34,4	33,4	28,8
Klinkerfaktor	0,71	0,63	0,53

in Mio. t

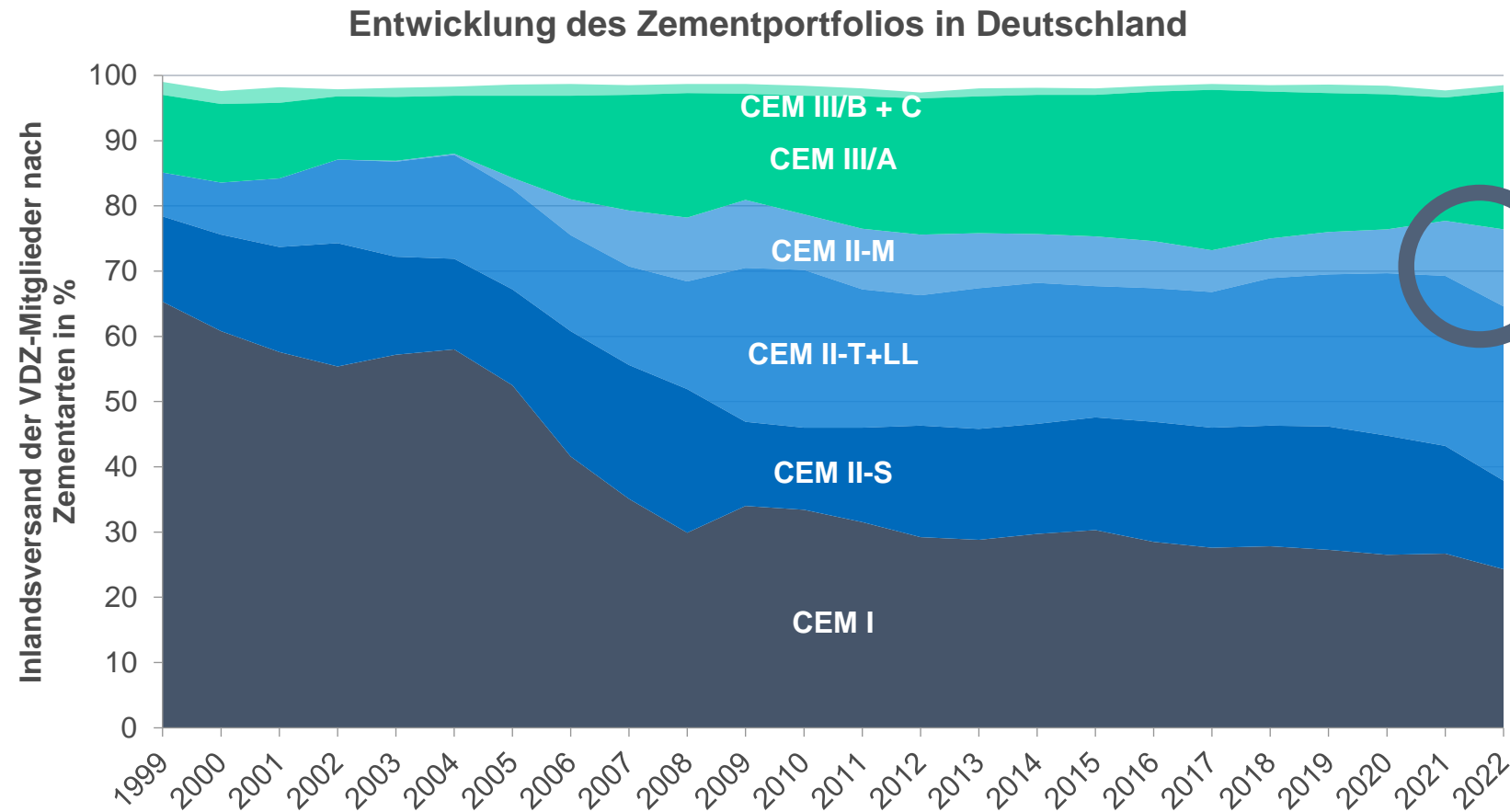
Einführung neuer emissionsreduzierter Zemente

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (Anzahl der Zulassungen Stand März 2024)



Trend zu klinkereffizienten Zementen im heutigen Produktmix

Durchschnittlicher Klinkergehalt im Zement heute bei 70%



Portlandkompositzemente gewinnen an Bedeutung

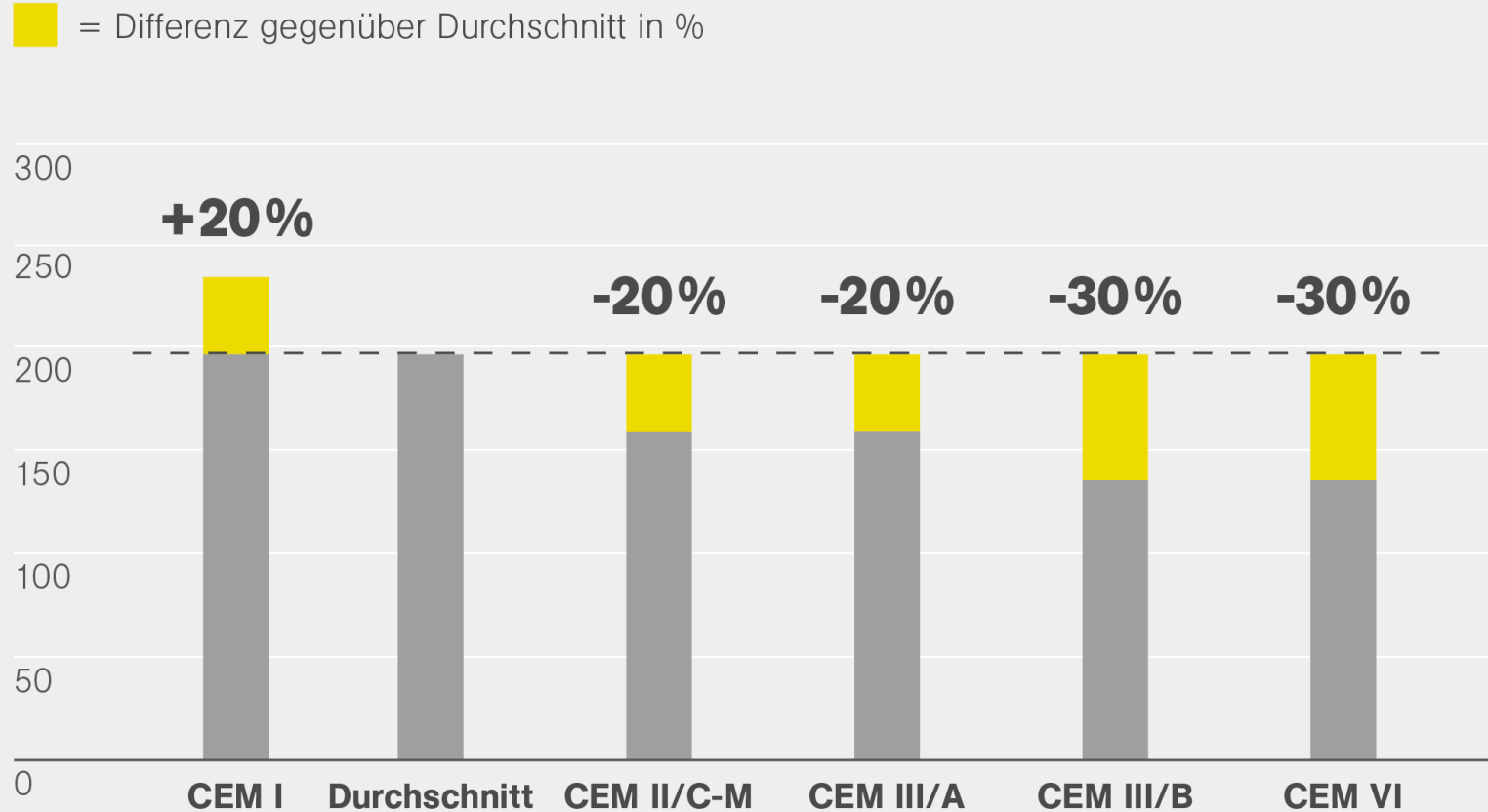
- Marktanteil von 6,5 % in 2019 auf 11,8 % in 2022 gestiegen
- davon entfielen schätzungsweise 200.000 t auf klinkerärmere CEM II-C-M-Zemente

Quelle: VDZ

Anmerkungen: Differenz zu 100 % verteilt sich auf CEM IV, CEM V und sonstige Bindemittel

CO₂-Fußabdruck von Beton (C25/30)

mit verschiedenen Zementen in kg CO₂-Äq/m³

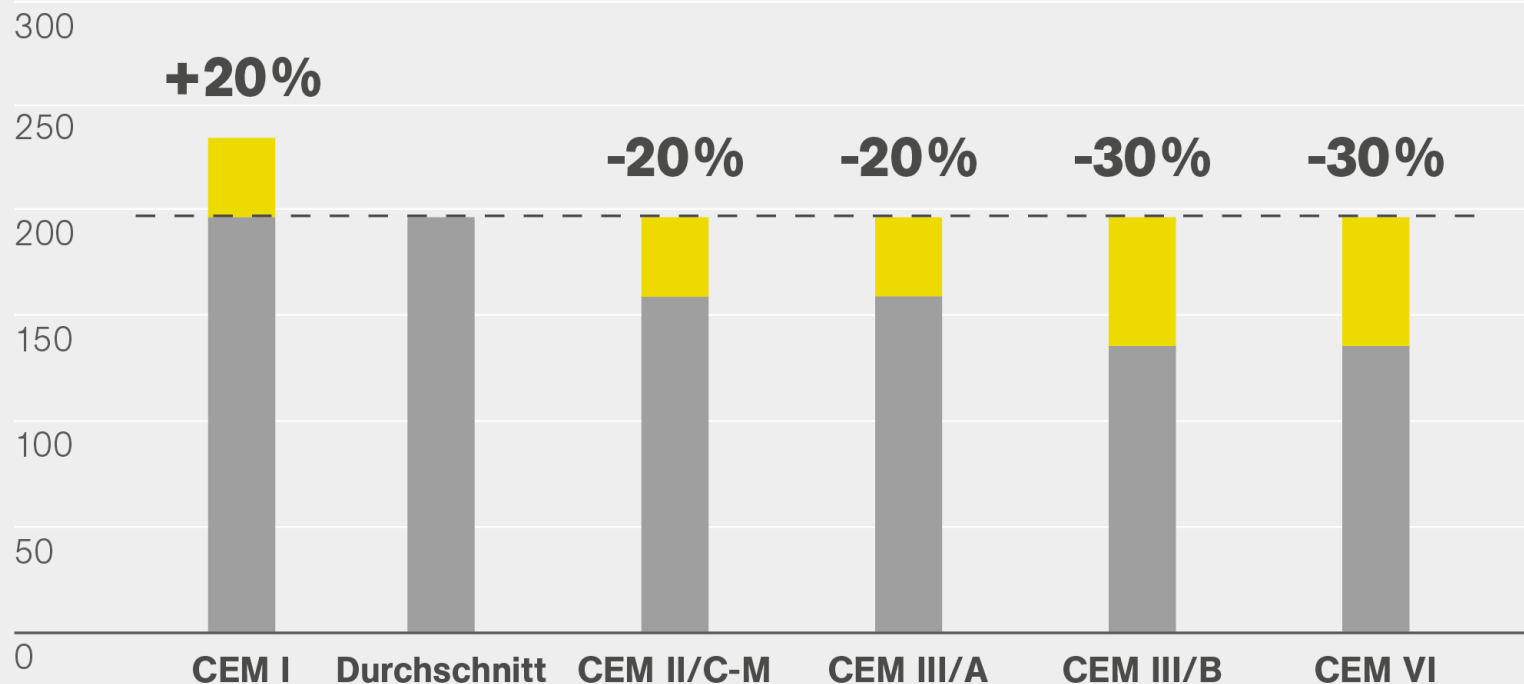


- CO₂-Einsparung
CEM II/C vergleichbar
CEM III/A
- CEM II/C:
Effizientere Nutzung
knapper Ressourcen
wie Hüttensand und
Flugasche
- Hochbau:
besser CEM II/C als
CEM III/A oder
CEM III/B

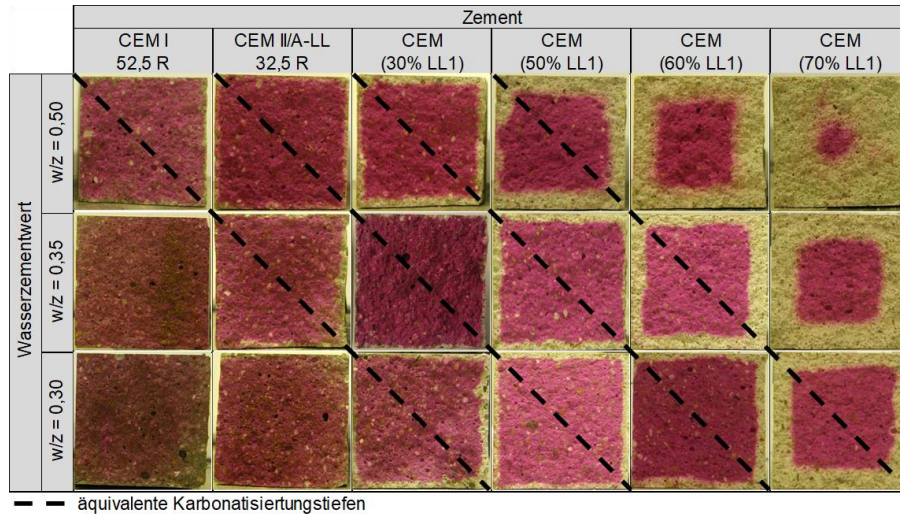
CO₂-Fußabdruck von Beton (C25/30)

mit verschiedenen Zementen in kg CO₂-Äq/m³

■ = Differenz gegenüber Durchschnitt in %



- CO₂-Einsparung
CEM II/C vergleichbar
CEM III/A
- CEM II/C:
Effizientere Nutzung
knapper Ressourcen
wie Hüttensand und
Flugasche
- Hochbau:
besser CEM II/C als
CEM III/A oder
CEM III/B

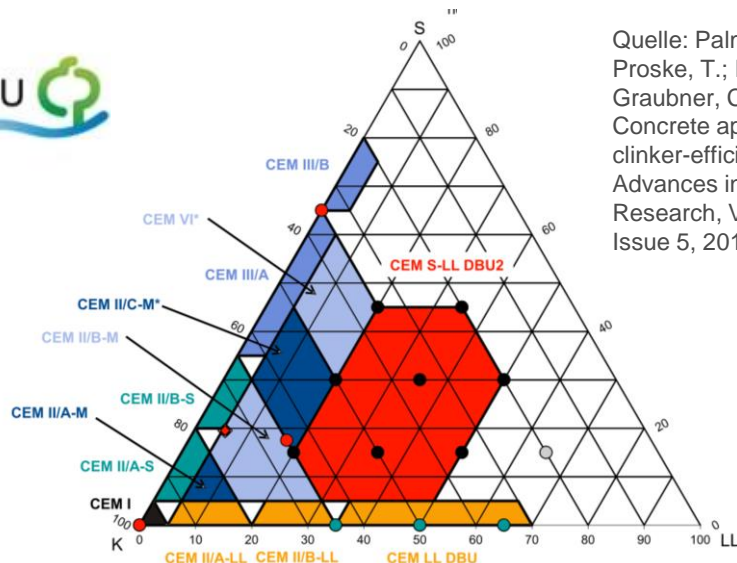


Phase 1: Klinker K / Kalkstein LL (2011-2013)

- Zement mit 50 M.-% K und 50 M.-% LL zur Herstellung von Konstruktionsbetonen geeignet
- Betontechnologie angepasst (XS/XD schwierig) (Reduzierung des w/z-Wertes)
- Praxistest: Beton mit geringem Wassergehalt und hohem Anteil an Zusatzmittel anfällig für Entmischen
- **Robustheit im kleinformatischen Praxistest erprobt**

Phase 2: Klinker K / Hüttensand S / Kalkstein LL (2014-2016)

- Zement mit 20 K / 30 S / 50 LL
- Betontechnologie angepasst (Reduzierung des w/z-Wertes)
- Nachweise für alle Expositionsklassen möglich außer XF4



Quelle: Palm, S.; Müller, C.;
Proske, T.; Rezvani, M.;
Graubner, C. A.:
Concrete application of
clinker-efficient cements.
Advances in Cement
Research, Volume 31
Issue 5, 2019, pp. 225-234

CEM X-Technologie (Beispiel)

35 %
Klinker (K)



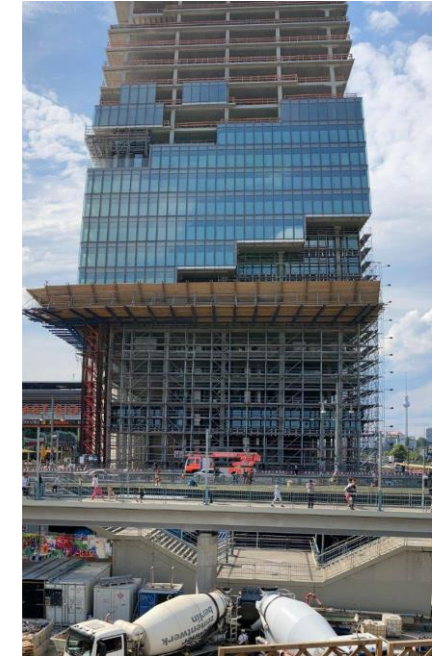
30 %
Hüttensand (S)



35 %
Kalkstein (LL)



- CEM X als weiterer Baustein der Dekarbonisierung
- Effiziente Nutzung der Rohstoffe
- **erstes Pilotprojekt (EDGE East Side Berlin, Sommer 2022) abgeschlossen**
- Erfahrung im Pilotprojekt:
 - Beton mit geringem Wassergehalt: leistungsfähige Zusatzmittel und besondere Form der Qualitätssicherung erforderlich
 - lange Pumpstrecken auch bei hohen Temperaturen realisierbar
 - Partnerschaftliche Zusammenarbeit aller am Projekt beteiligten ist Schlüssel zum Erfolg
- bis zu **60 % weniger CO₂ im Beton** (Level 3 nach CSC-Systematik) bei einem C40/50, XC1 (trocken)
- Zulassungsverfahren mehrerer Hersteller
- **erste Zulassung erteilt 01/2024 (Z-3.16-2244)**



Quelle: Leopold Spenner, Alcemy

Anwendung klinkereffizienter Zemente ist ein wesentlicher Beitrag

- EN 197-1 (etablierte Zemente)
- EN 197-5 (CEM II/C und CEM VI)
- EN 197-6 (Recyclingmehl)
- Zahlreiche Anwendungszulassungen für (neue) Zemente
- Anwendungsregeln in der MVVTB 2023:
 - CEM II/B-M (S-LL, V-LL, T-LL) mit 20 % LL
 - **CEM II/C-M** (S-LL)
- Anwendungszulassungen mit zementspezifischen Regeln (variabler w/z) für **CEM X**

Kumulierte CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente bis 2045 *

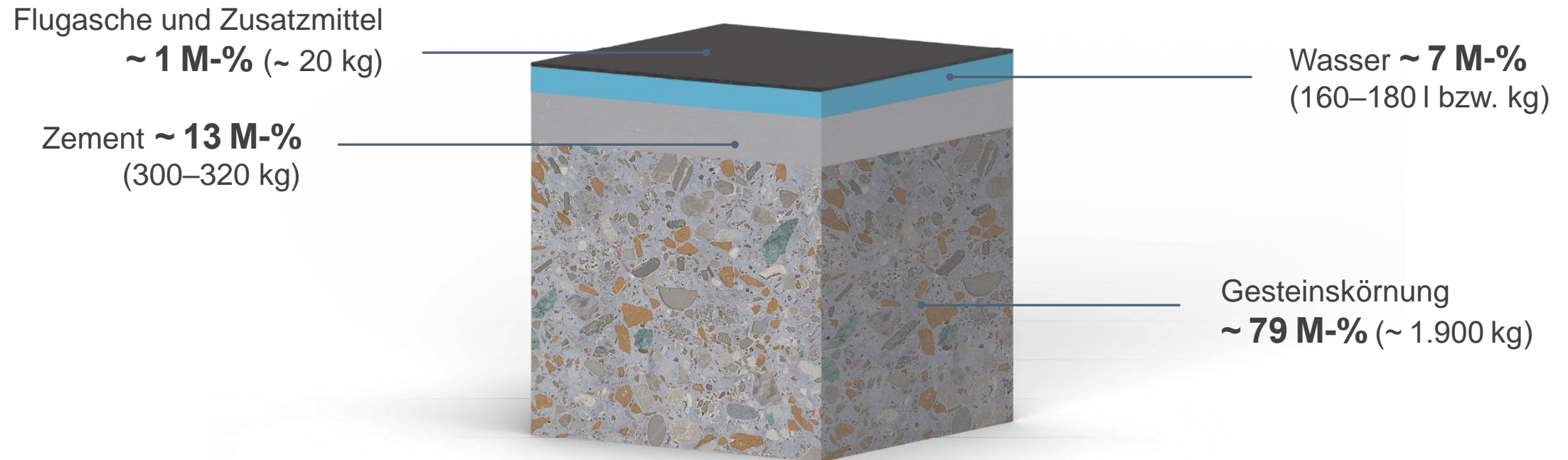
CO ₂ -Einsparung bis	Mio. t CO ₂
2025	3,2
2030	11,6
2035	27,6
2040	40,2
2045	57,3

* eigene Berechnung auf der Basis der VDZ-Roadmap
Bezugsjahr: 2019



Betrachtungsebenen	
Bauwerk / Bauteil	kg CO ₂ / m ²
inkl. Nutzungsdauer	kg CO ₂ / m ² x a
Beton	kg CO ₂ / m ³
leistungsbezogen	kg CO ₂ / m ³ x MPa
inkl. Lebensdauer	kg CO ₂ / m ³ x MPa x a
Zement	kg CO ₂ / t

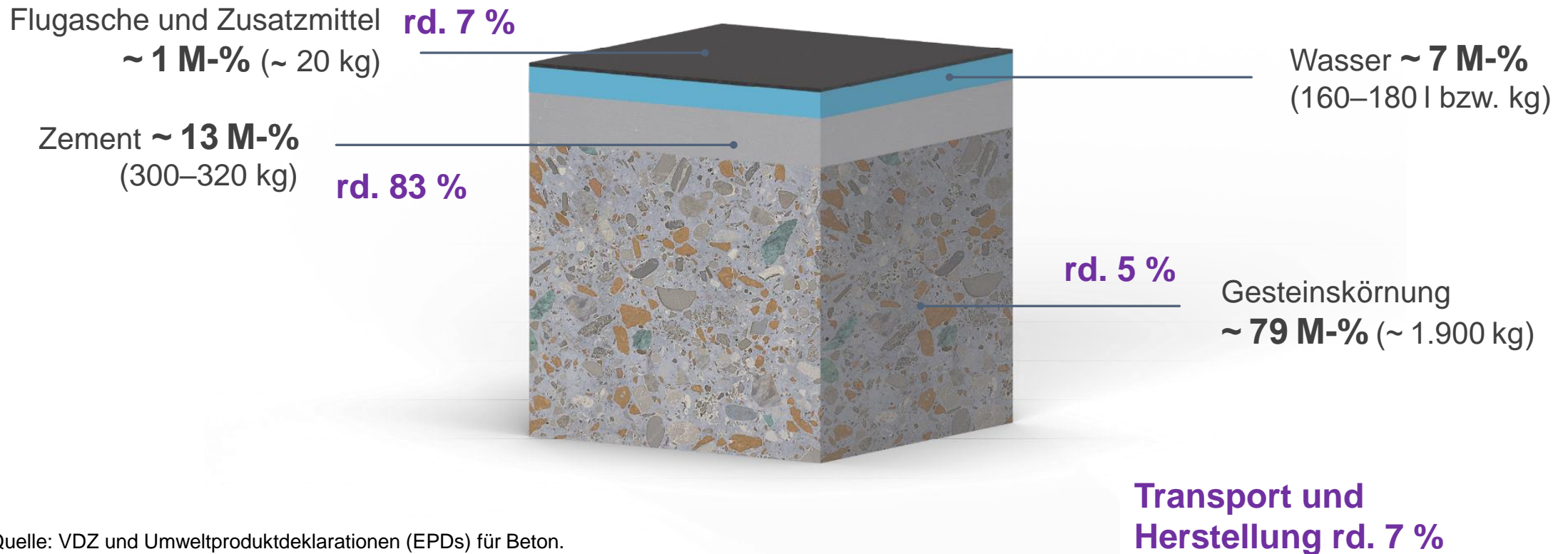
1 m³ = rd. 2.300 – 2.400 kg Beton



Quelle: VDZ und Umweltproduktdeklarationen (EPDs) für Beton.

1 m³ = rd. 2.300 – 2.400 kg Beton

Anteil an den CO₂-Emissionen (Beispiel EPD C30/37 von 2018)



Quelle: VDZ und Umweltproduktdeklarationen (EPDs) für Beton.

CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente

CEM I



CEM II



CEM III



C 20/25



C 25/30



C 30/37



C 35/45



	CEM I	CEM II	CEM III
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/ t Zement)	665	553	433

Relativ zu CEM I	---	0,83	0,65
------------------	-----	------	------

CEM II: generischer mittlerer Zement in DE (rd. 70 % Klinker)
CEM III: Hochofenzement CEM III/A mit 50 % Hüttensand

	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)				
Branchenreferenzwert CSC (CEM I)	213	237	261	286
Durchschnittsbeton gemäß EPD 2018	178	197	219	244

EPD/Referenz	0,84	0,83	0,84	0,85
Anteil Transportbeton in %	11,7	39,8	22,2	13,0

C20/25 - C35/45 = 87 % der Gesamtproduktion Transportbeton (Quelle: BTB)

CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente

CEM I



CEM II



CEM III



C 20/25



C 25/30



C 30/37



C 35/45



	CEM I	CEM II	CEM III
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/ t Zement)	665	553	433

Relativ zu CEM I	---	0,83	0,65
------------------	-----	------	------

CEM II: generischer mittlerer Zement in DE (rd. 70 % Klinker)
CEM III: Hochofenzement CEM III/A mit 50 % Hüttensand

	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)				
Branchenreferenzwert CSC (CEM I)	213	237	261	286
Durchschnittsbeton gemäß EPD 2018	178	197	219	244

EPD/Referenz	0,84	0,83	0,84	0,85
Anteil Transportbeton in %	11,7	39,8	22,2	13,0

C20/25 - C35/45 = 87 % der Gesamtproduktion Transportbeton (Quelle: BTB)

CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente

CEM I



CEM II



CEM III



C 20/25



C 25/30



C 30/37



C 35/45



	CEM I	CEM II	CEM III
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/ t Zement)	665	553	433

Relativ zu CEM I	---	0,83	0,65
------------------	-----	------	------

CEM II: generischer mittlerer Zement in DE (rd. 70 % Klinker)
CEM III: Hochofenzement CEM III/A mit 50 % Hüttensand

	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)				
Branchenreferenzwert CSC (CEM I)	213	237	261	286
Durchschnittsbeton gemäß EPD 2018	178	197	219	244

EPD/Referenz	0,84	0,83	0,84	0,85
Anteil Transportbeton in %	11,7	39,8	22,2	13,0

C20/25 - C35/45 = 87 % der Gesamtproduktion Transportbeton (Quelle: BTB)

CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente

CEM I



CEM II



CEM III



C 20/25



C 25/30



C 30/37



C 35/45



	CEM I	CEM II	CEM III
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/ t Zement)	665	553	433

Relativ zu CEM I	---	0,83	0,65
------------------	-----	------	------

CEM II: generischer mittlerer Zement in DE (rd. 70 % Klinker)
CEM III: Hochofenzement CEM III/A mit 50 % Hüttensand

	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)				
Branchenreferenzwert CSC (CEM I)	213	237	261	286
Durchschnittsbeton gemäß EPD 2018	178	197	219	244

EPD/Referenz	0,84	0,83	0,84	0,85
Anteil Transportbeton in %	11,7	39,8	22,2	13,0

C20/25 - C35/45 = 87 % der Gesamtproduktion Transportbeton (Quelle: BTB)



Quelle: www.beton.org

C 20/25



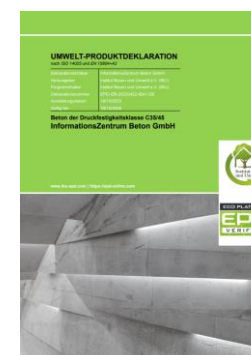
C 25/30



C 30/37



C 35/45



* GWP-Werte ohne Verbrennung von Abfällen bei der Klinkerherstellung; inkl. Allokation z. B. von Hüttensand und Flugasche soweit zutreffend

	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
	Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)			
Durchschnittsbeton gemäß EPD 2018	178	197	219	244
Durchschnittsbeton gemäß EPD 2023	157	181	196	220

EPD 2023 / EPD 2018	0,88	0,92	0,89	0,90
Anteil Transportbeton in %	11,7	39,8	22,2	13,0

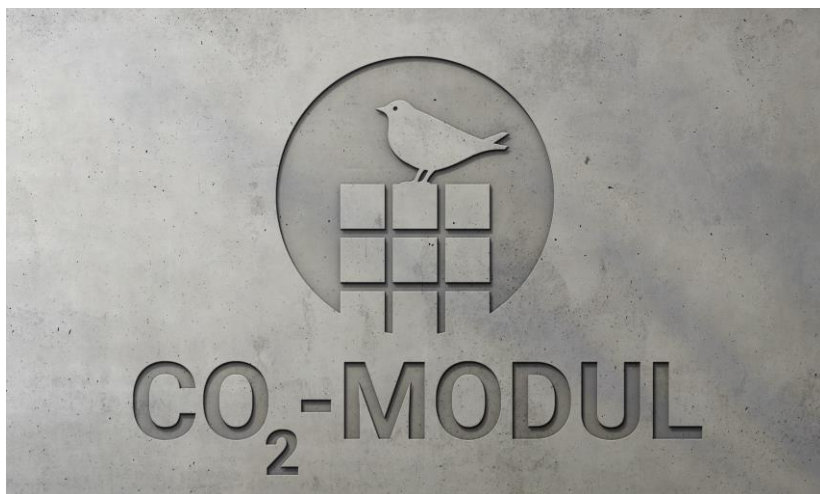
C20/25 - C35/45 = 87 % der Gesamtproduktion Transportbeton (Quelle: BTB)

CO₂-effiziente Zemente und Betone

Concrete
Sustainability
Council
(CSC)



<https://www.csc-zertifizierung.de/>



C 20/25



C 25/30



C 30/37



C 35/45



* GWP-Werte ohne Verbrennung von Abfällen bei der Klinkerherstellung; inkl. Allokation z. B. von Hüttensand und Flugasche soweit zutreffend

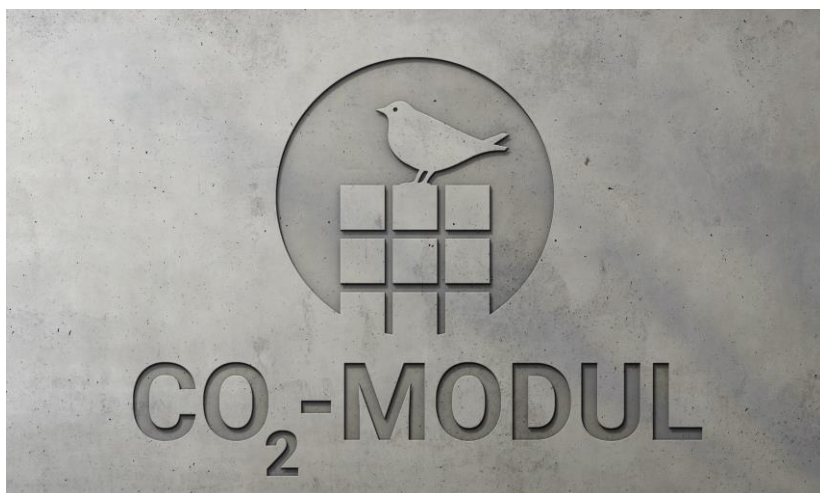
	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
	Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)			
Branchenreferenzwert CSC (CEM I)	213	237	261	286
Durchschnittsbeton gemäß EPD 2018	178	197	219	244
Level 1 (↓ ≥ 30 %)	149	166	183	200
Level 2 (↓ ≥ 40 %)	128	142	157	172
Level 3 (↓ ≥ 50 %)	107	119	131	143
Level 4 (↓ ≥ 60 %)	85	95	104	114

C20/25 - C35/45 = 87 % der Gesamtproduktion Transportbeton (Quelle: BTB)

Concrete
Sustainability
Council
(CSC)



<https://www.csc-zertifizierung.de/>



C 20/25



C 25/30



C 30/37



C 35/45



* GWP-Werte ohne Verbrennung von Abfällen bei der Klinkerherstellung; inkl. Allokation z. B. von Hüttensand und Flugasche soweit zutreffend

	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)				
Branchenreferenzwert CSC (CEM I)	213	237	261	286
Durchschnittsbeton gemäß EPD 2018	178	197	219	244
Level 1 (↓ ≥ 30 %)	149	166	183	200
Level 2 (↓ ≥ 40 %)	128	142	157	172
Level 3 (↓ ≥ 50 %)	107	119	131	143
Level 4 (↓ ≥ 60 %)	85	95	104	114

C20/25 - C35/45 = 87 % der Gesamtproduktion Transportbeton (Quelle: BTB)

CO₂-Minderung durch klinkereffiziente Zemente

CEM I



CEM II



CEM II/C



C 20/25



C 25/30



C 30/37



C 35/45



	CEM I	CEM II	CEM II/C
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/ t Zement)	665	553	400

Relativ zu CEM I	---	0,83	0,60
------------------	-----	------	------

CEM II: generischer mittlerer Zement in DE (rd. 70 % Klinker)
CEM II/C: ...



	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)				
Branchenreferenzwert CSC (CEM I)	213	237	261	286
Beton mit CEM II/C	142	158	175	195

EPD/Referenz (Level 1 CSC DE)	0,67	0,67	0,67	0,68
Anteil Transportbeton in %	11,7	39,8	22,2	13,0

C20/25 - C35/45 = 87 % der Gesamtproduktion Transportbeton (Quelle: BTB)





Betrachtungsebenen	
Bauwerk / Bauteil	kg CO ₂ / m ²
inkl. Nutzungsdauer	kg CO ₂ / m ² x a
Beton	kg CO ₂ / m ³
leistungsbezogen	kg CO ₂ / m ³ x MPa
inkl. Lebensdauer	kg CO ₂ / m ³ x MPa x a
Zement	kg CO ₂ / t

	50 untersuchte Bauwerke Tragwerk (Mittelwerte) in kg CO ₂ - Äq / m ² x a Holz/Holz-hybrid: 2,7 Massivbau: 8,6 Skelettbauweise: 9,7
	QNG - Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude Grenzwerte inkl. Nutzungsphase 24 kg CO ₂ -Äq/m ² x a (QNG Plus) 20 kg CO ₂ -Äq/m ² x a (QNG Premium)



Betrachtungsebenen

Bauwerk / Bauteil kg CO₂ / m²

inkl. Nutzungsdauer kg CO₂ / m² x a

	<p>50 untersuchte Bauwerke Tragwerk (Mittelwerte) in kg CO₂ - Äq / m² x a</p> <p>Holz/Holz-hybrid: 2,7 Massivbau: 8,6 Skelettbauweise: 9,7</p>
 <p>Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen</p>	<p>QNG - Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude</p> <p>Grenzwerte inkl. Nutzungsphase</p> <p>24 kg CO₂-Äq/m² x a (QNG Plus) 20 kg CO₂-Äq/m² x a (QNG Premium)</p>

Betrachtungsebenen	
Bauwerk / Bauteil	kg CO ₂ / m ²
inkl. Nutzungsdauer	kg CO ₂ / m ² x a

	50 untersuchte Bauwerke Tragwerk (Mittelwerte) in kg CO ₂ - Äq / m ² x a Holz/Holz-hybrid: 2,7 Massivbau: 8,6 Skelettbauweise: 9,7
	QNG - Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude Grenzwerte inkl. Nutzungsphase 24 kg CO ₂ -Äq/m ² x a (QNG Plus) 20 kg CO ₂ -Äq/m ² x a (QNG Premium)

Betrachtungsebenen

Bauwerk / Bauteil kg CO₂ / m²

inkl. Nutzungsdauer kg CO₂ / m² x a

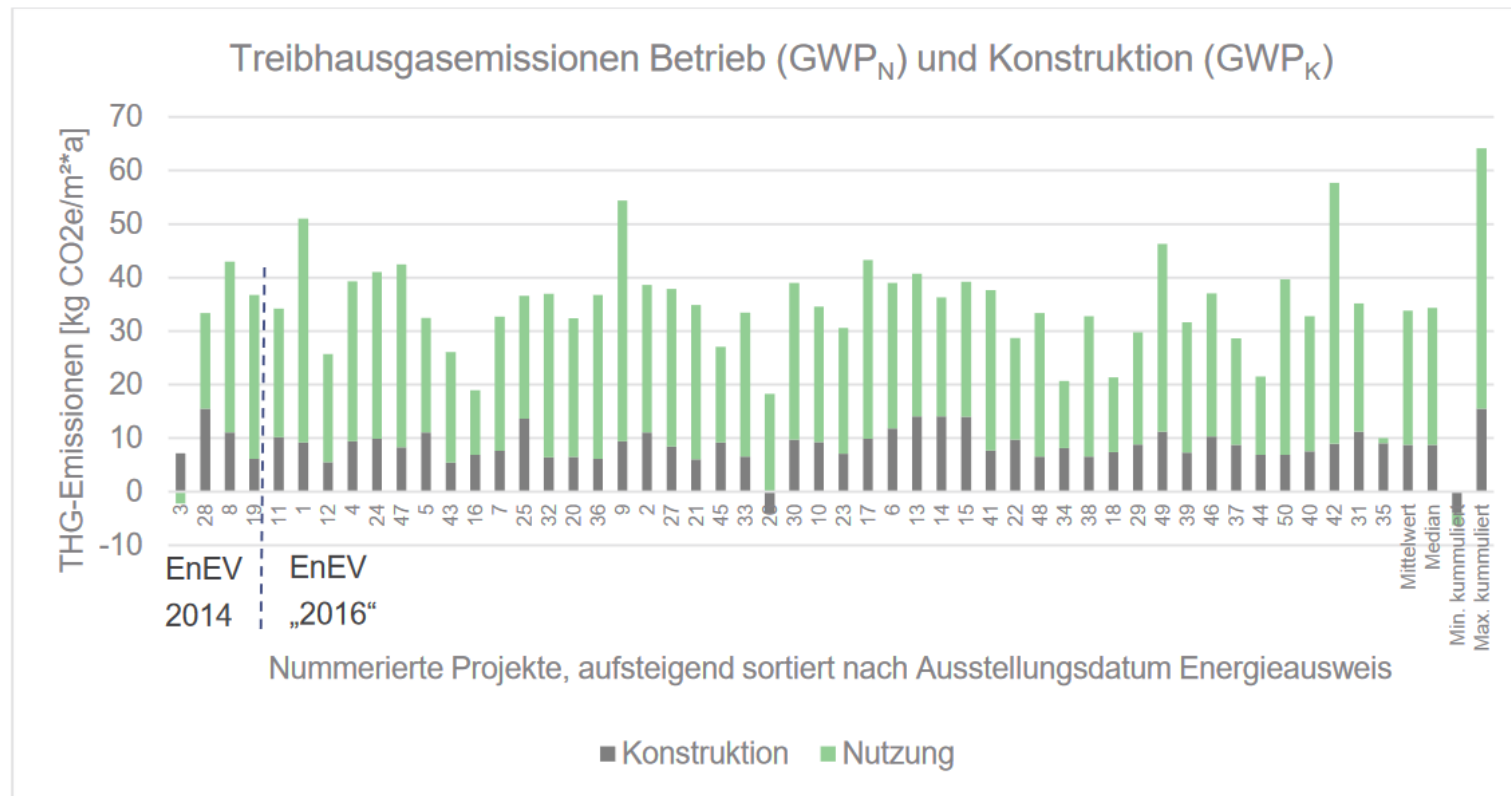


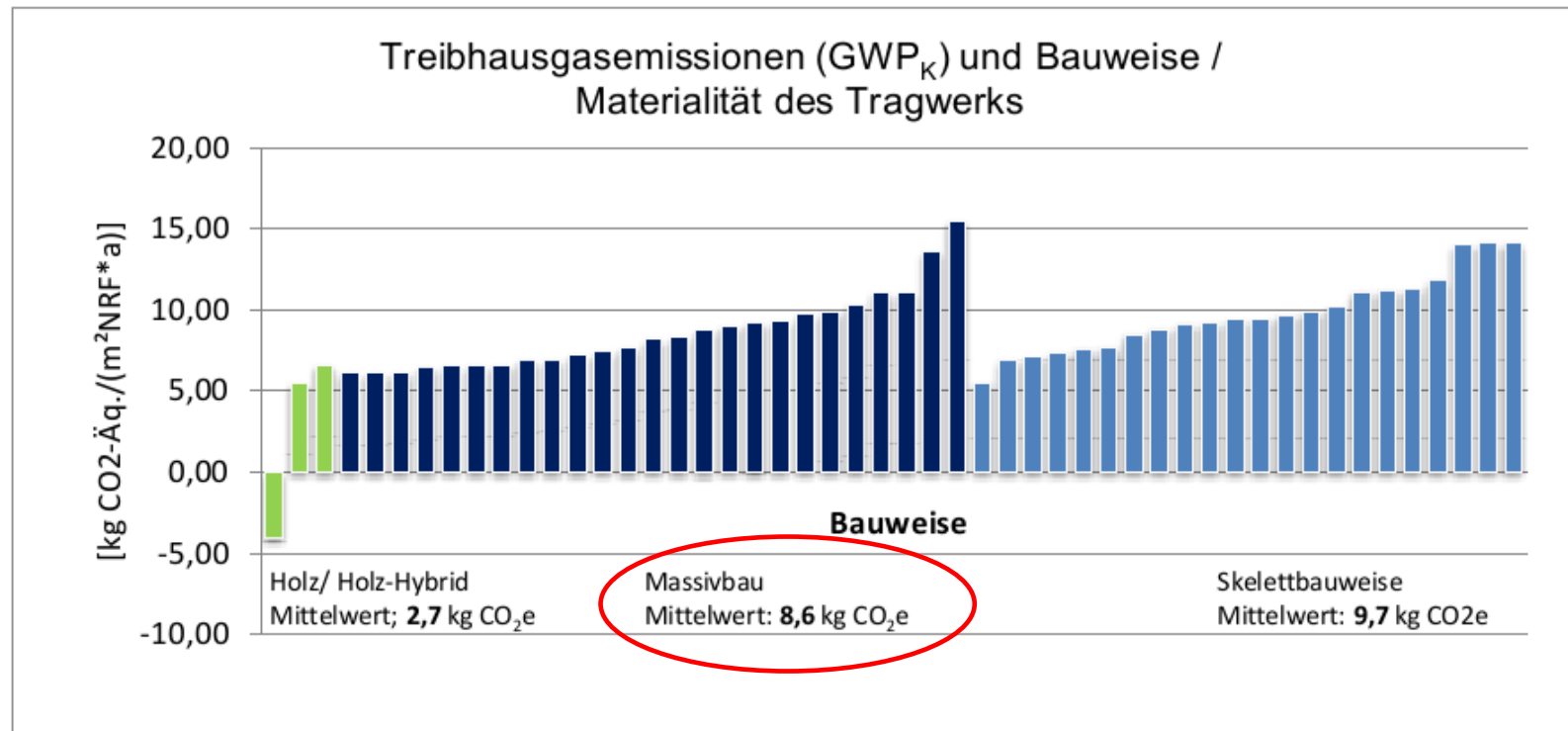
Abbildung 5: Treibhausgasemissionen aller Gebäude über den Lebenszyklus ($n = 50$), sortiert nach Datum des Energieausweises

BENCHMARKS FÜR DIE TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER GEBÄUDEKONSTRUKTION

Ergebnisse einer Studie mit 50 Gebäuden

„Das Verhältnis von Konstruktion zur Nutzung beträgt im Mittel 35% (Bauwerk) zu 65% (Nutzung).“

QNG-Grenzwert	Annahme: 65 % des „Grenzwerts“ für Nutzung	Annahme: 35% des „Grenzwerts“ steht für die Konstruktion zur Verfügung
28 kg CO ₂ -Äq/m ² a (QNG Plus)	18,2 CO ₂ -Äq/m ² x a	9,8 CO₂-Äq/m² x a
20 kg CO ₂ -Äq/m ² a (QNG Premium)	13,0 CO ₂ -Äq/m ² x a	7,0 CO₂-Äq/m² x a



Der Konstruktionsanteil des „Grenzwerts“ für „QNG Plus“ für wird aktuell bereits von vielen DGNB-zertifizierten Massivbauten erreicht.

Abbildung 4: Treibhausgasemissionen (GWP_K) in Abhängigkeit der Bauweise / Materialität des Tragwerks (n=50)

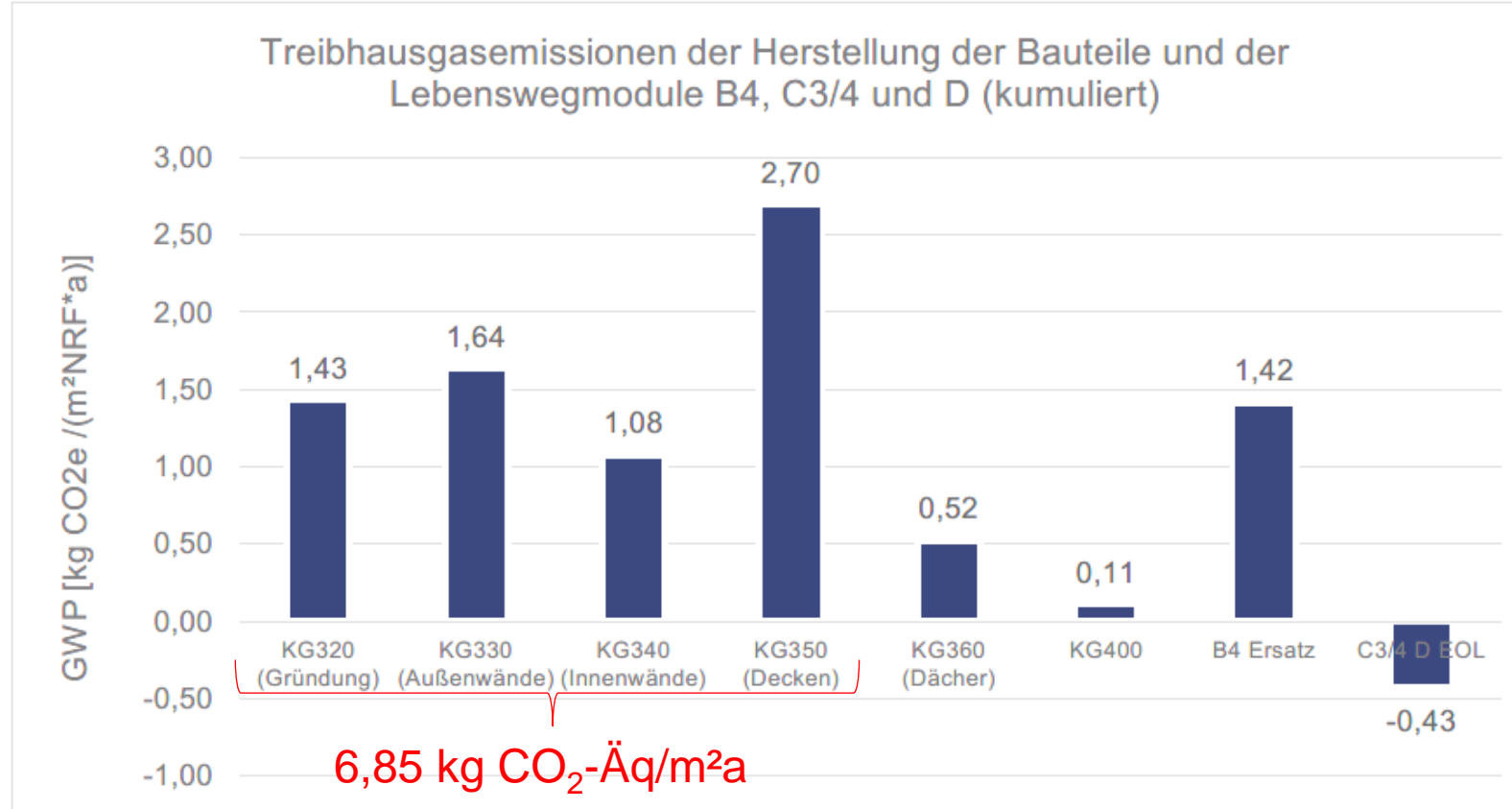


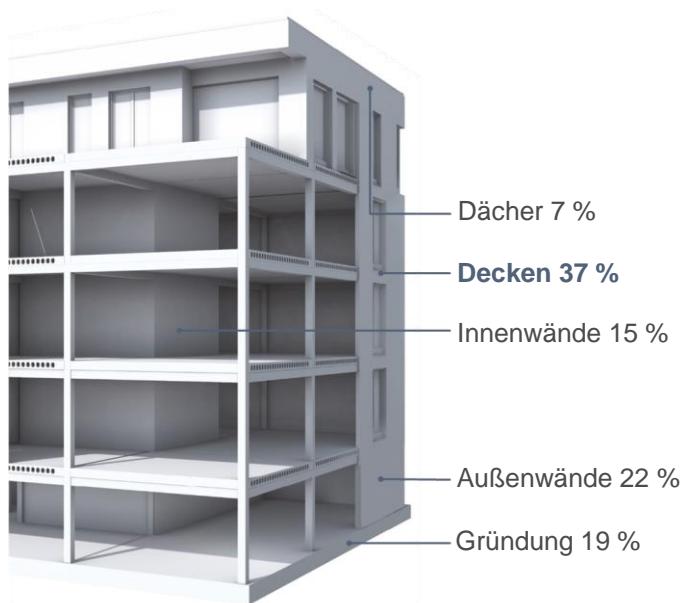
Abbildung 3: Treibhausgasemissionen nach Bauteilen (Mittelwerte, Module A1-A3, B4 und C3, C4 und D kumuliert)

- „QNG-Premium“ - Zielwert für die Konstruktion: 7,0 kg CO₂-Äq/m² x a
- Summe aller Anteile: 8,47 kg CO₂-Äq/m² x a
- „zementbasierte“ Anteile: 6,85 kg CO₂-Äq/m² x a
- „QNG-Premium“ erreichbar, wenn GWP Beton (A1-A3) durch den Einsatz klinkereffizienter Zemente um rd. 21% auf 5,38 kg CO₂-Äq/m² x a verringert wird



- CEM II/C-Zemente sind in vielen Bereichen des Hochbaus anwendbar
- Betone mit CEM II/C entsprechen etwa Level 1-Betonen in der Systematik des CSC CO₂-Moduls
- Einsparung von mind. 20 % gegenüber dem heutigen Durchschnitt (30 % gegenüber dem CSC-Branchenreferenzwert)
- Mit Level 1/Level 2-Betonen gemäß CSC-Modul ließe sich QNG-Premium erreichen

CO₂-Fußabdruck verschiedener Deckensysteme



100 % = 7,37 kg CO₂-eq / (m² NRF x a)

Anmerkung:

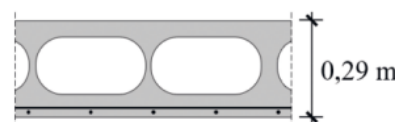
NRF = Netto-Raum-Fläche; a = 50 Jahre

Quelle: www.beton.org

Massivdecke Stahlbeton



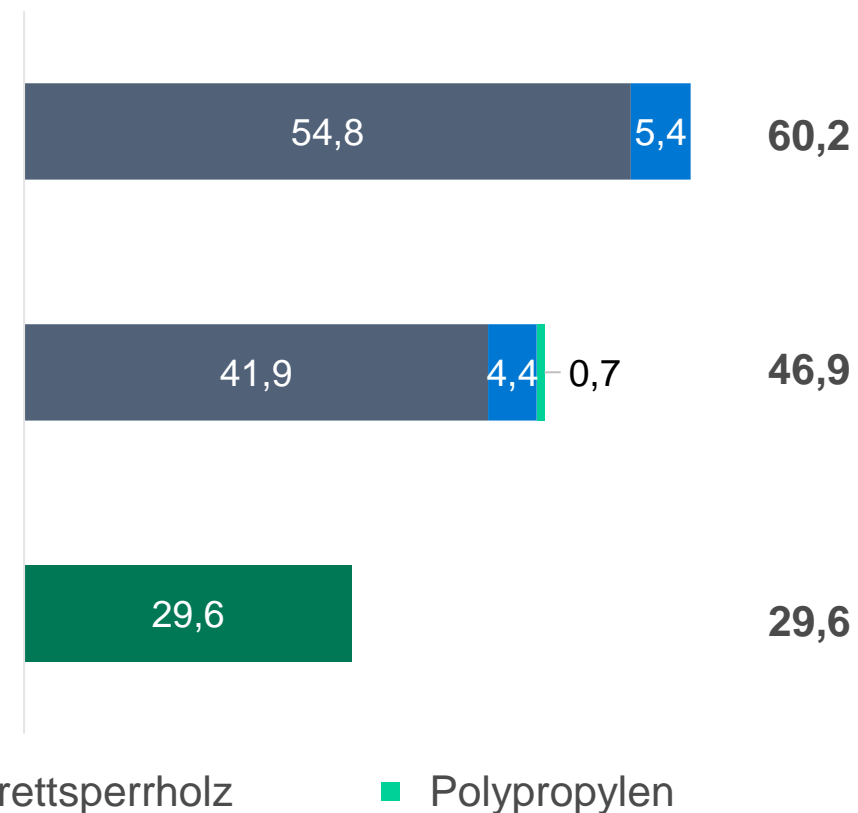
Hohldecke Stahlbeton



Holzdecke Brettsperrholz



GWP in CO₂-Äqu. / m²



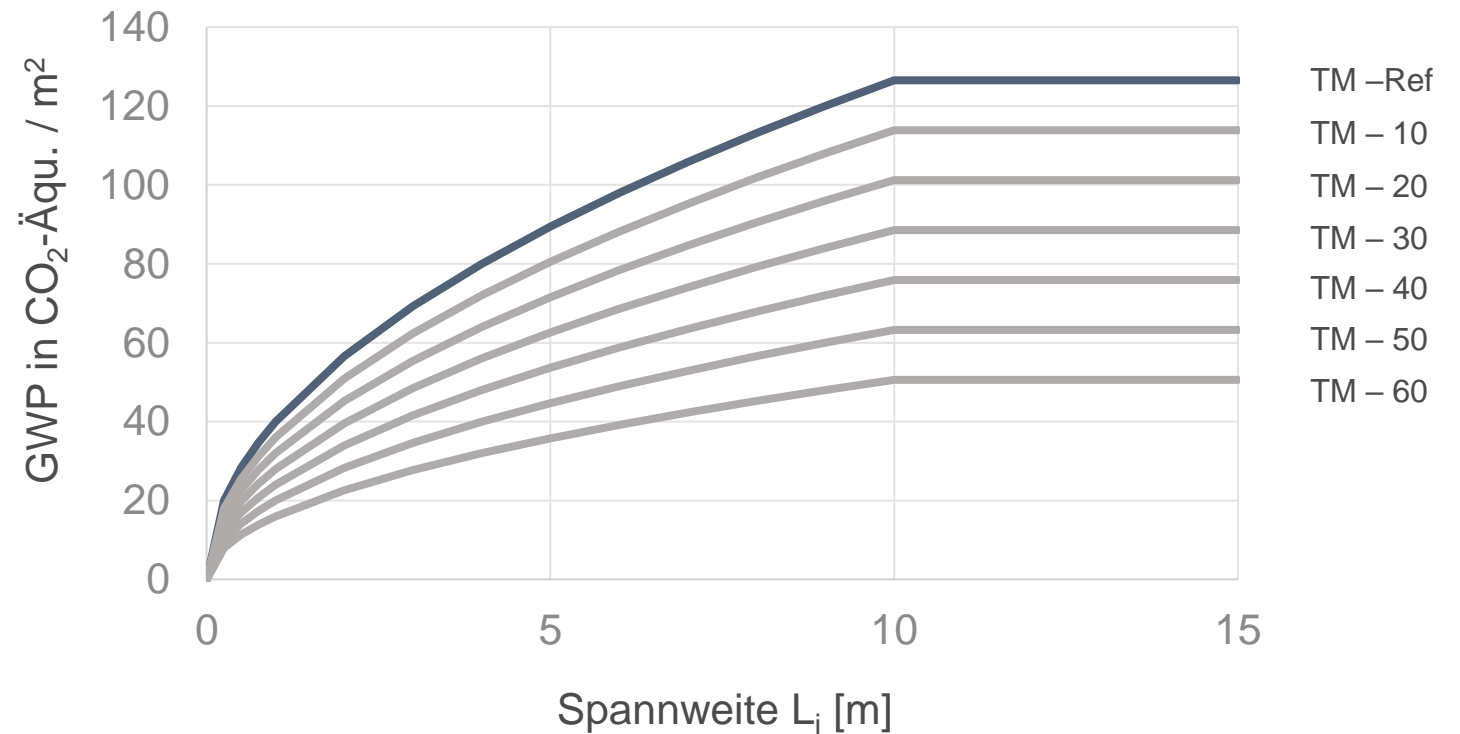
Grenzwerte für THG-Emissionen von Deckensystemen

Entwurf

vdz

DAfStb-Richtlinie - Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton (THG-Richtlinie)

- Referenzzustand: Belastung zwischen 2,5 kN/m² und 7,5 kN/m².
- Belastungen größer 7,5 kN/m²: Referenzwert für ein Deckensystem mit gleicher Spannweite heranziehen
- Decken mit $L_i > 10$ m: konstanter GWP-Referenzwert festgelegt, da bereits ressourcen- und emissionsoptimiert ausgeführt



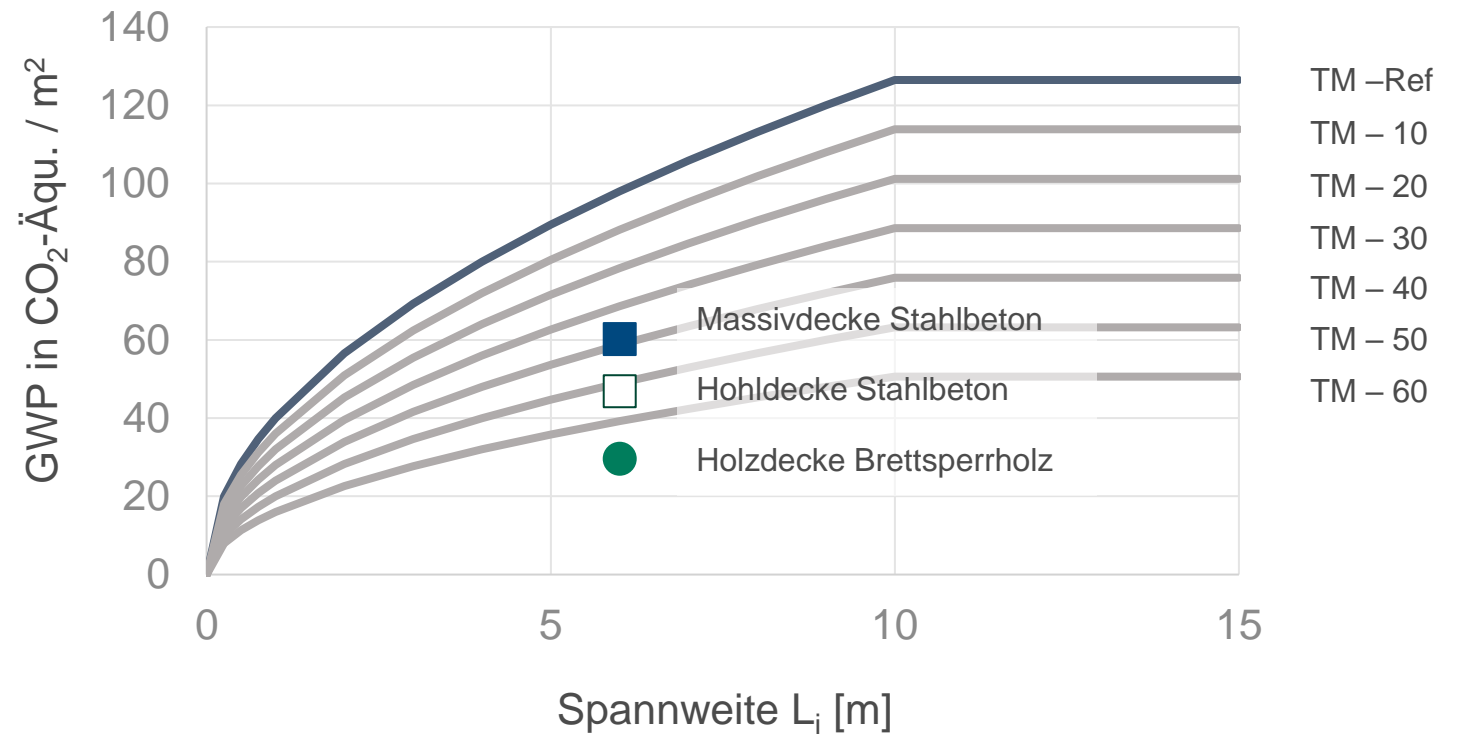
$$GWP_{Ref,i} = 40 \cdot \sqrt{L_i} \left[\frac{\text{kg CO}_{2,e}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{für } 0 \text{ m} \leq L_i \leq 10 \text{ m}$$

$$GWP_{Ref,i} = 126,5 \left[\frac{\text{kg CO}_{2,e}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{für } L_i > 10 \text{ m}$$

Grenzwerte für THG-Emissionen von Deckensystemen

DAfStb-Richtlinie - Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton (THG-Richtlinie)

- Referenzzustand: Belastung zwischen 2,5 kN/m² und 7,5 kN/m².
- Belastungen größer 7,5 kN/m²: Referenzwert für ein Deckensystem mit gleicher Spannweite heranziehen
- Decken mit $L_i > 10$ m: konstanter GWP-Referenzwert festgelegt, da bereits ressourcen- und emissionsoptimiert ausgeführt



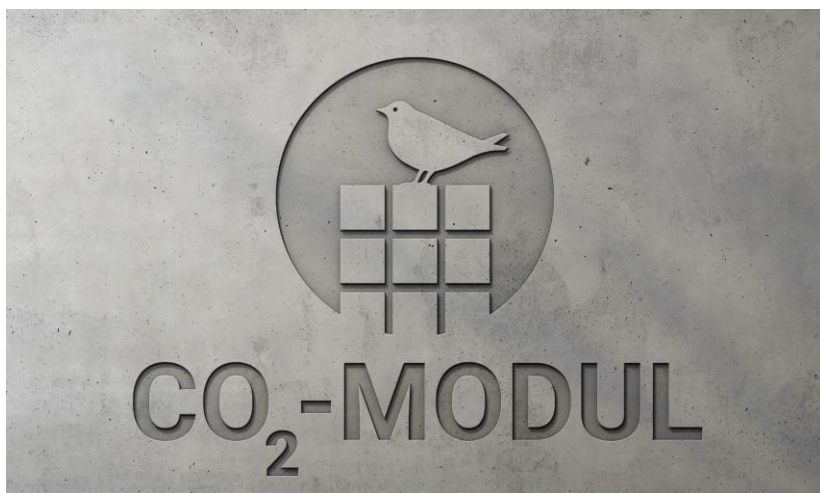
$$GWP_{Ref,i} = 40 \cdot \sqrt{L_i} \left[\frac{\text{kg CO}_{2,e}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{für } 0 \text{ m} \leq L_i \leq 10 \text{ m}$$

$$GWP_{Ref,i} = 126,5 \left[\frac{\text{kg CO}_{2,e}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{für } L_i > 10 \text{ m}$$

Concrete
Sustainability
Council
(CSC)



<https://www.csc-zertifizierung.de/>



C 20/25



C 25/30



C 30/37



C 35/45



* GWP-Werte ohne Verbrennung von Abfällen bei der Klinkerherstellung; inkl. Allokation z. B. von Hüttensand und Flugasche soweit zutreffend

Branchenreferenzwert CSC (CEM I)

Durchschnittsbeton gemäß EPD 2018

Level 1 (↓ ≥ 30 %)

Level 2 (↓ ≥ 40 %)

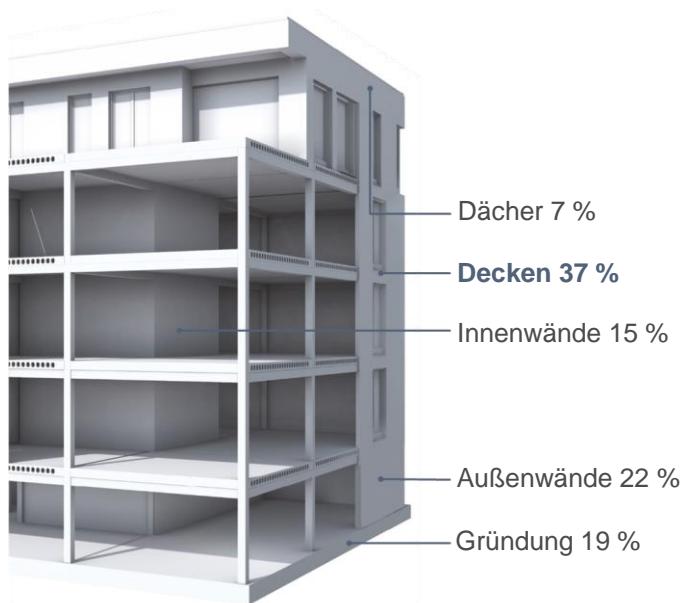
Level 3 (↓ ≥ 50 %)

Level 4 (↓ ≥ 60 %)

C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Treibhausgasemissionen (kg CO ₂ -Äquivalent/m ³ Beton)			
213	237	261	286
178	197	219	244
149	166	183	200
128	142	157	172
107	119	131	143
85	95	104	114

C20/25 - C35/45 = 87 % der Gesamtproduktion Transportbeton (Quelle: BTB)

CO₂-Reduzierung der Deckensysteme durch CO₂-effizienten Beton



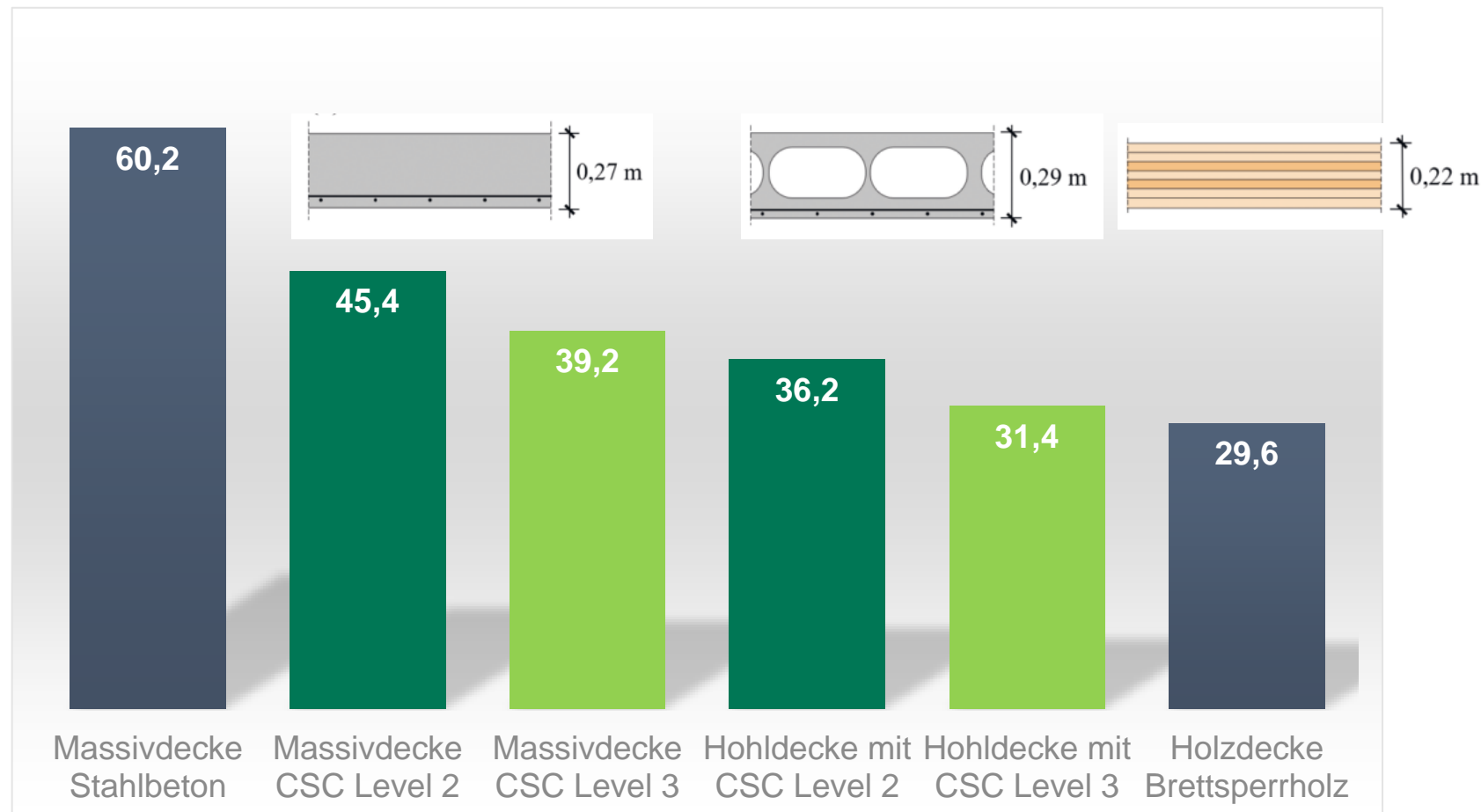
100 % = 7,37 kg CO₂-eq / (m² NRF x a)

Anmerkung:

NRF = Netto-Raum-Fläche; a = 50 Jahre

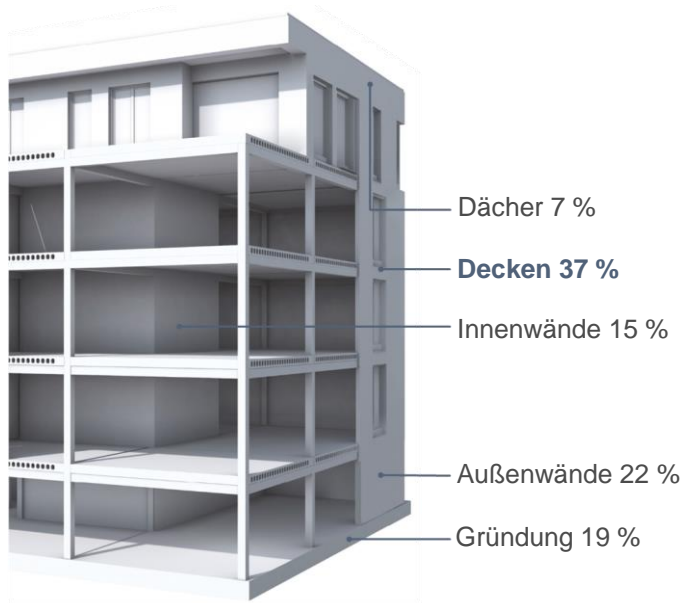
Quelle: www.beton.org

GWP in CO₂-Äqu. / m²



Quelle: Heidelberg Materials Deutschland – Kundenmagazin CONTEXT 01/2024 (verändert)

CO₂-Reduzierung der Deckensysteme durch CO₂-effizienten Beton



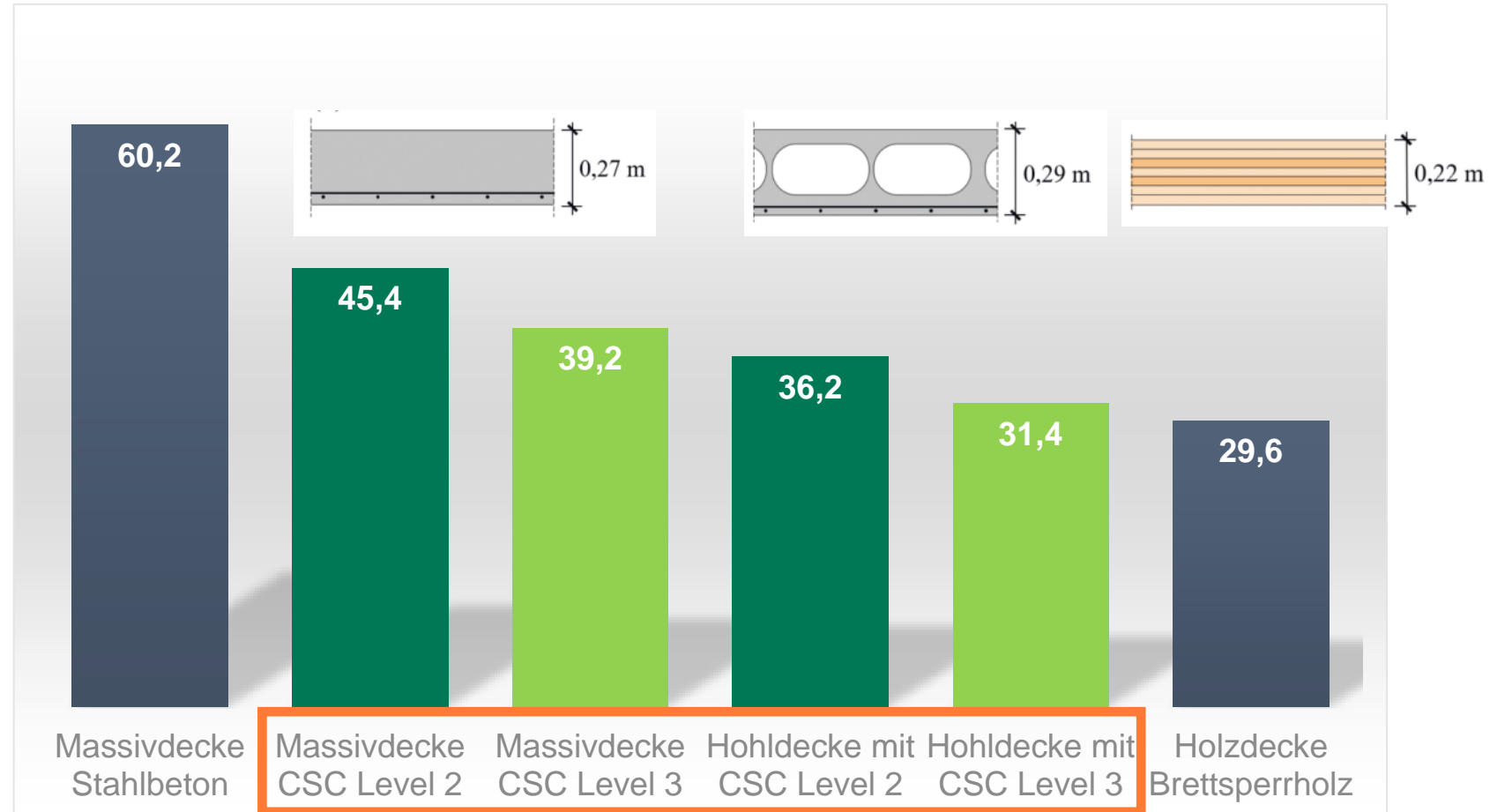
100 % = 7,37 kg CO₂-eq / (m² NRF x a)

Anmerkung:

NRF = Netto-Raum-Fläche; a = 50 Jahre

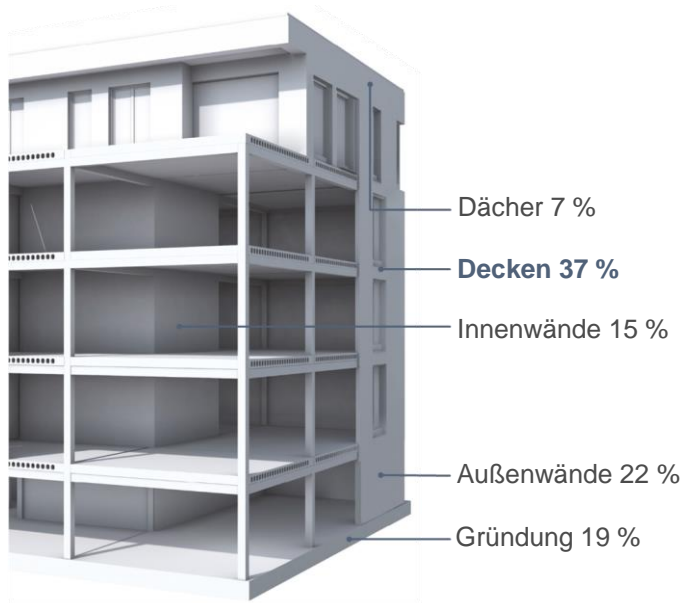
Quelle: www.beton.org

GWP in CO₂-Äqu. / m²



Quelle: Heidelberg Materials Deutschland – Kundenmagazin CONTEXT 01/2024 (verändert)

CO₂-Reduzierung der Deckensysteme durch CO₂-effizienten Beton



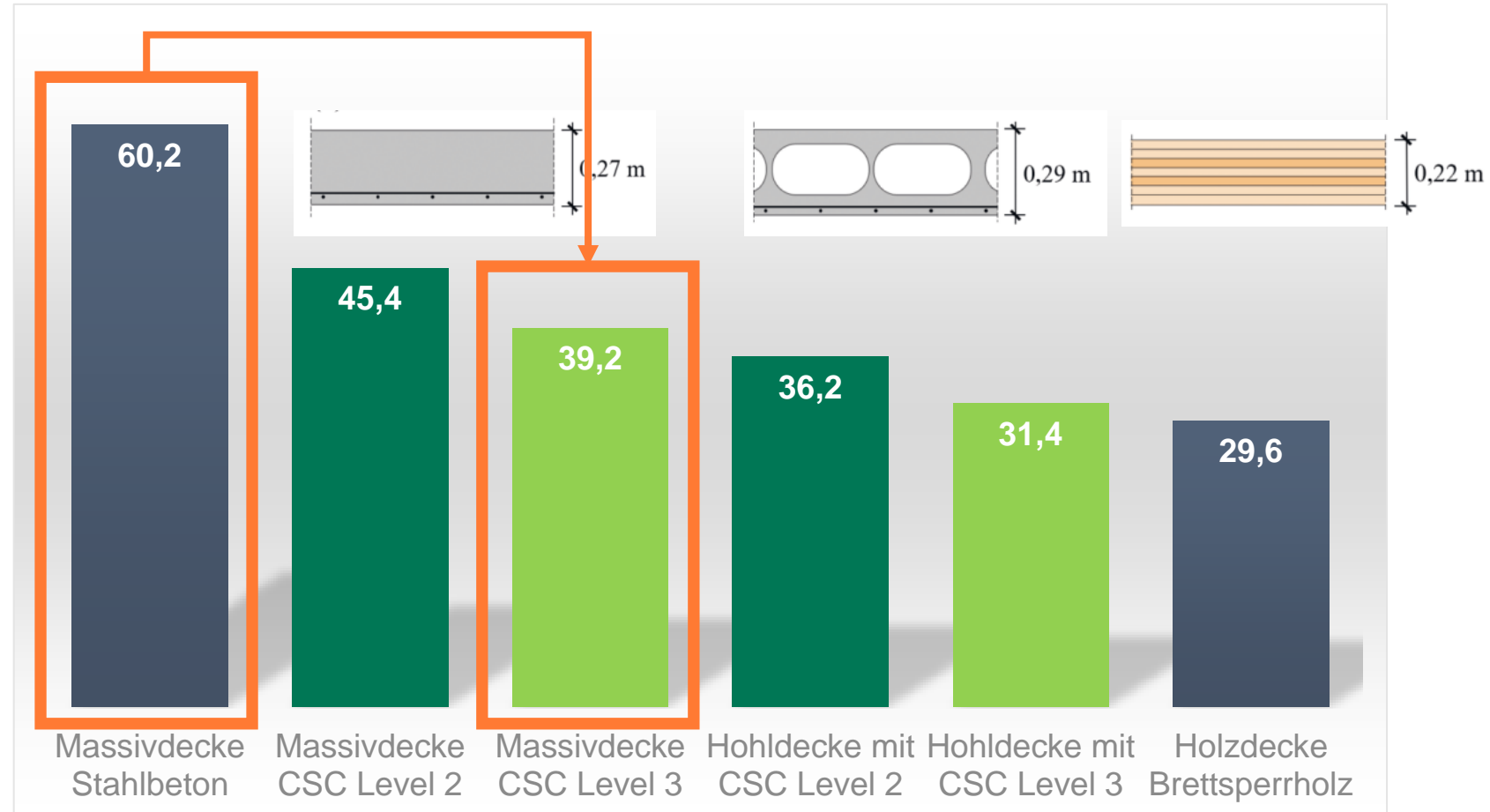
100 % = 7,37 kg CO₂-eq / (m² NRF x a)

Anmerkung:

NRF = Netto-Raum-Fläche; a = 50 Jahre

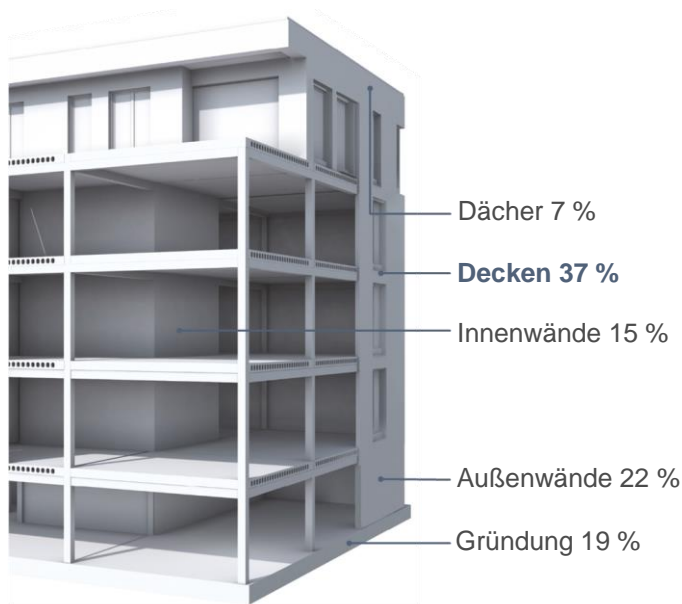
Quelle: www.beton.org

GWP in CO₂-Äqu. / m² **- 35 %**



Quelle: Heidelberg Materials Deutschland – Kundenmagazin CONTEXT 01/2024 (verändert)

CO₂-Reduzierung der Deckensysteme durch CO₂-effizienten Beton



100 % = 7,37 kg CO₂-eq / (m² NRF x a)

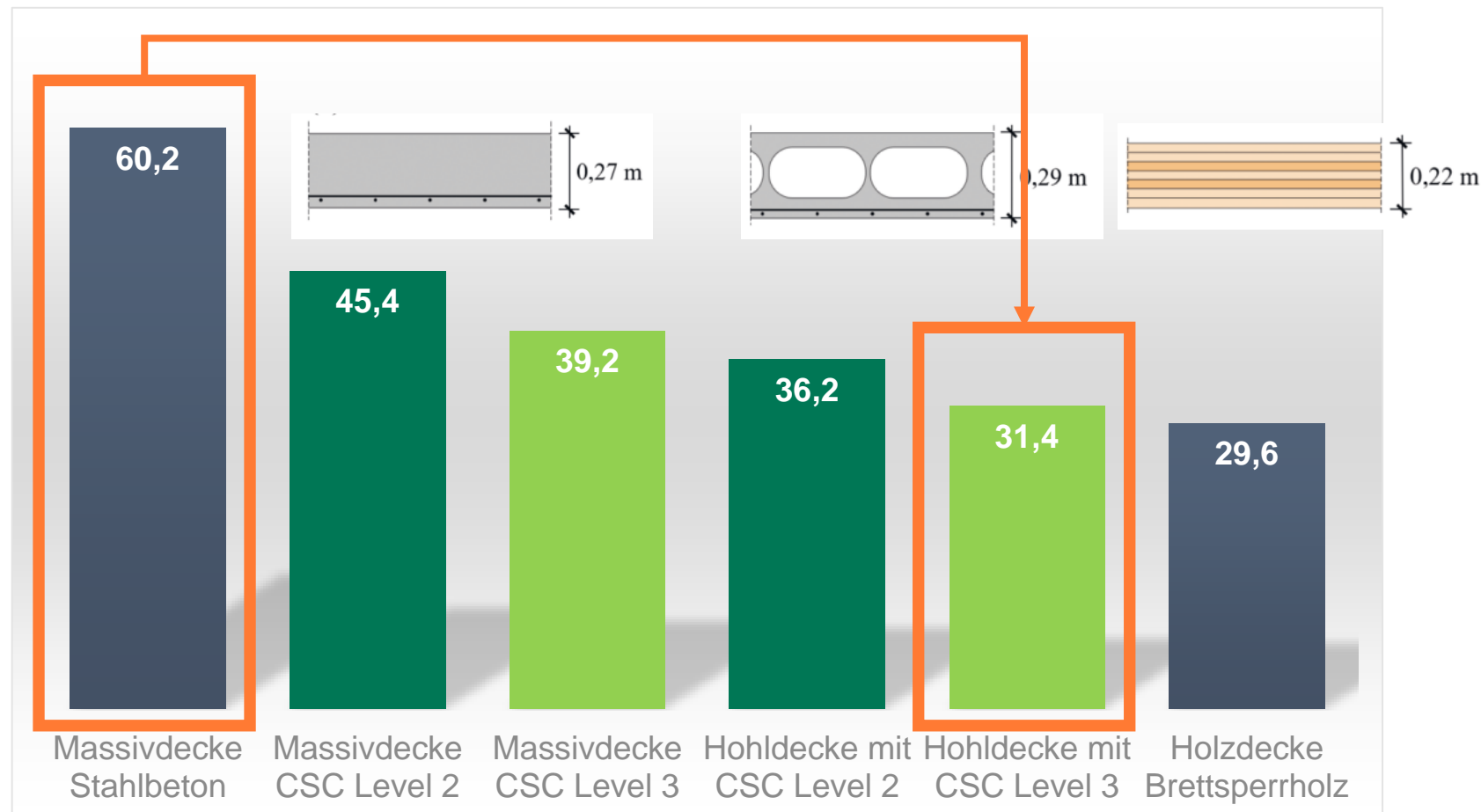
Anmerkung:

NRF = Netto-Raum-Fläche; a = 50 Jahre

Quelle: www.beton.org

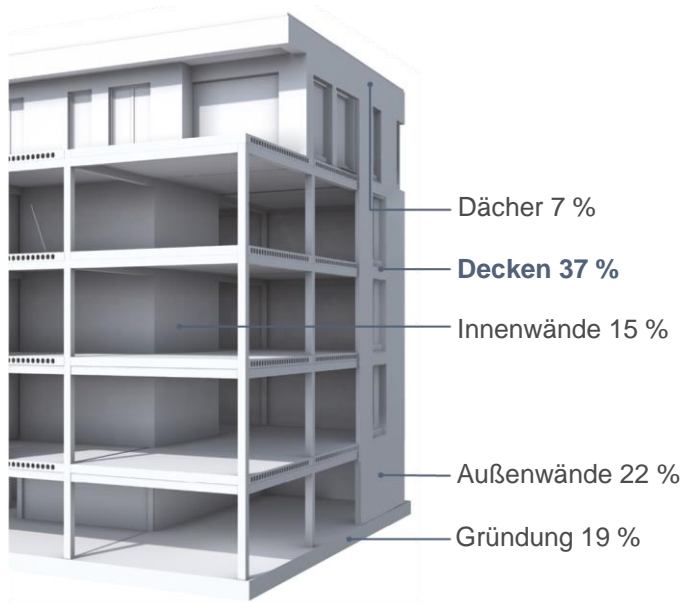
GWP in CO₂-Äqu. / m²

- 48 %



Quelle: Heidelberg Materials Deutschland – Kundenmagazin CONTEXT 01/2024 (verändert)

CO₂-Reduzierung der Deckensysteme durch CO₂-effizienten Beton



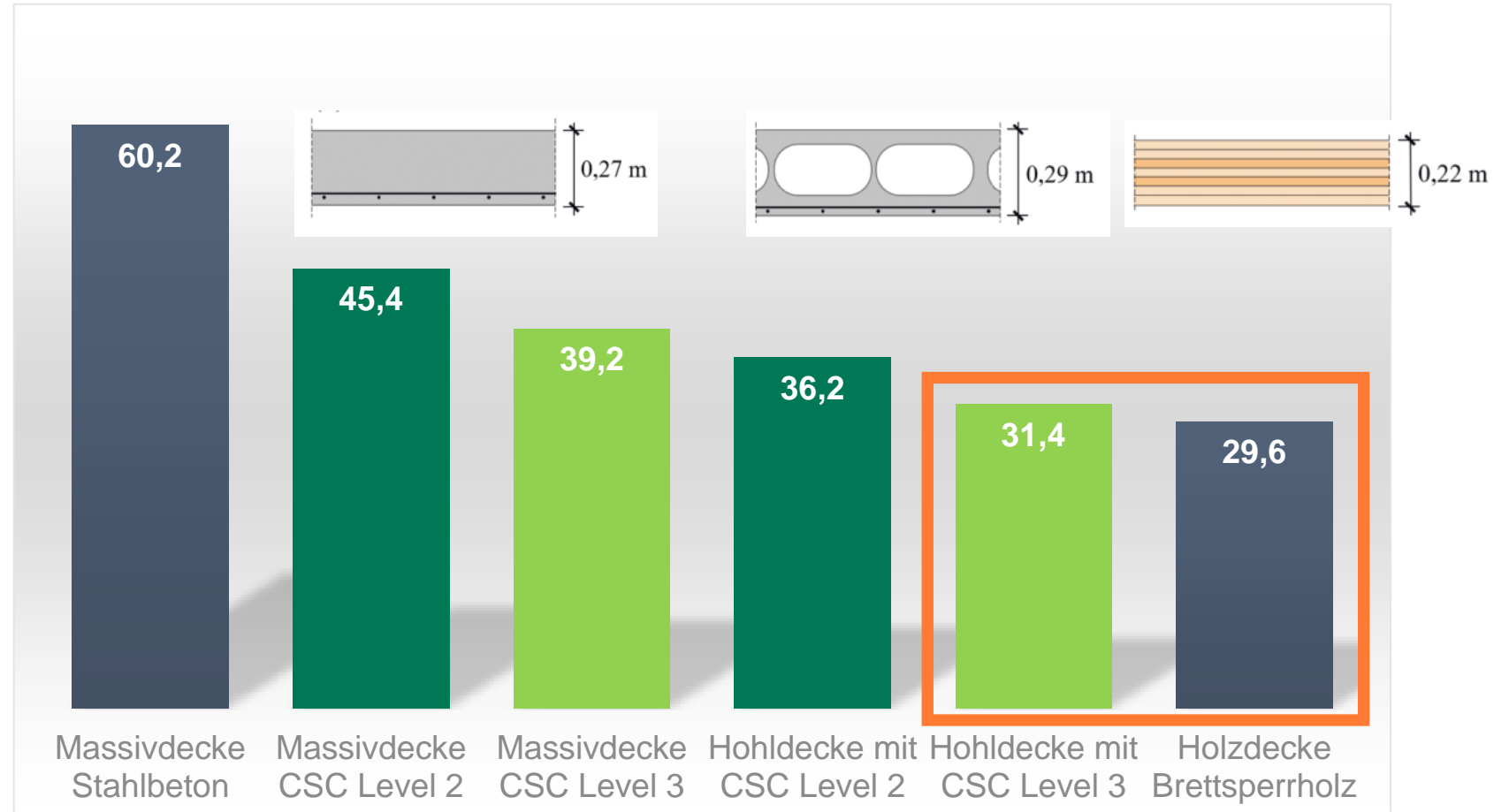
100 % = 7,37 kg CO₂-eq / (m² NRF x a)

Anmerkung:

NRF = Netto-Raum-Fläche; a = 50 Jahre

Quelle: www.beton.org

GWP in CO₂-Äqu. / m²

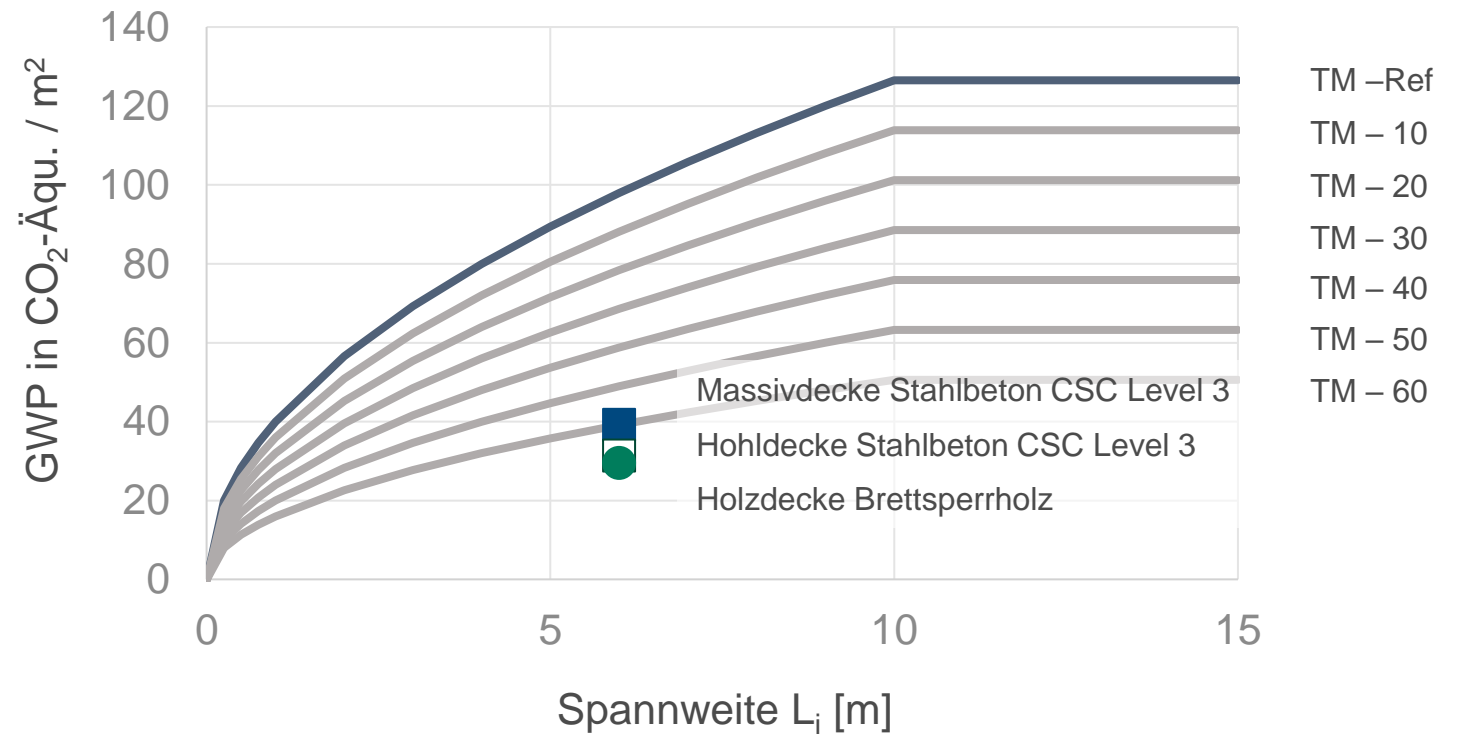


Quelle: Heidelberg Materials Deutschland – Kundenmagazin CONTEXT 01/2024 (verändert)

Grenzwerte für THG-Emissionen von Deckensystemen

DAfStb-Richtlinie - Treibhausgasreduzierte Tragwerke aus Beton, Stahlbeton oder Spannbeton (THG-Richtlinie)

- Referenzzustand: Belastung zwischen 2,5 kN/m² und 7,5 kN/m².
- Belastungen größer 7,5 kN/m²: Referenzwert für ein Deckensystem mit gleicher Spannweite heranziehen
- Decken mit $L_i > 10$ m: konstanter GWP-Referenzwert festgelegt, da bereits ressourcen- und emissionsoptimiert ausgeführt



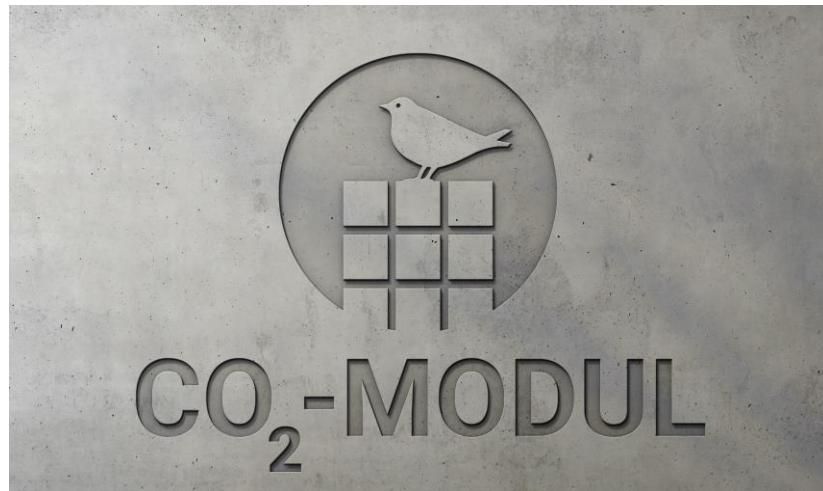
$$GWP_{Ref,i} = 40 \cdot \sqrt{L_i} \left[\frac{\text{kg CO}_{2,e}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{für } 0 \text{ m} \leq L_i \leq 10 \text{ m}$$

$$GWP_{Ref,i} = 126,5 \left[\frac{\text{kg CO}_{2,e}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{für } L_i > 10 \text{ m}$$

Concrete
Sustainability
Council
(CSC)



<https://www.csc-zertifizierung.de/>



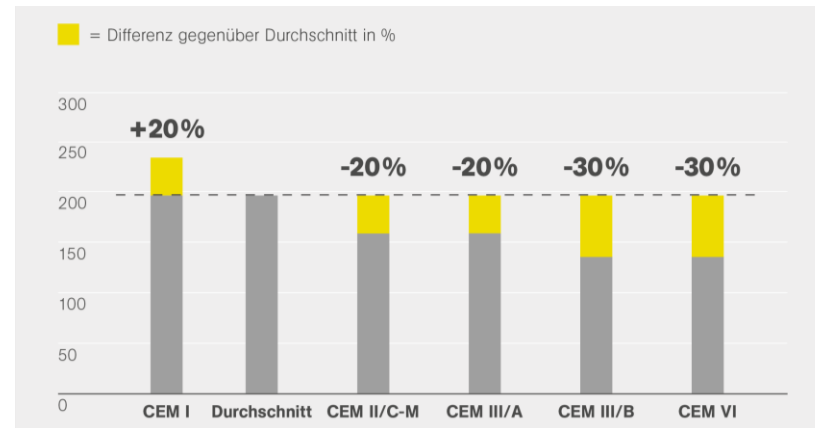


<https://www.vdz-online.de/dekarbonisierung>



www.vdz-online.de/ressourcenschonung

CO₂- und ressourceneffiziente Zemente, Betone und Konstruktionen **vdz**



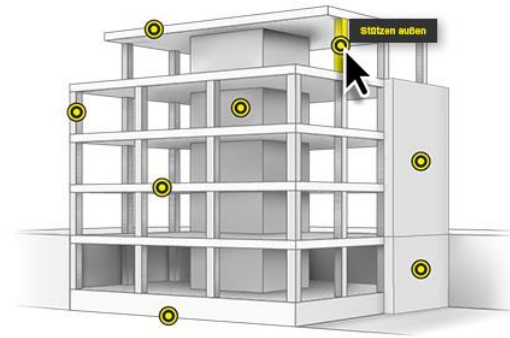
- CO₂- und ressourcen-effiziente Zemente und Betone verwenden



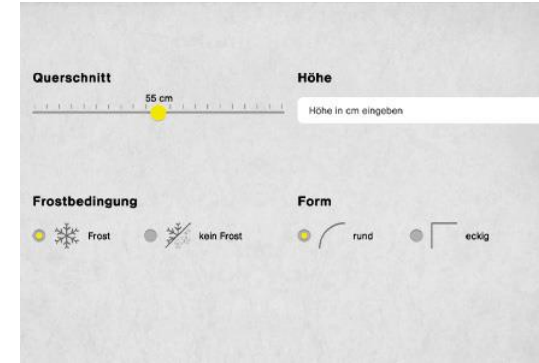
- CO₂- und ressourcen-effiziente Bauteile und Konstruktionen aus Beton planen

CO₂-effiziente Zemente, Betone und Konstruktionen

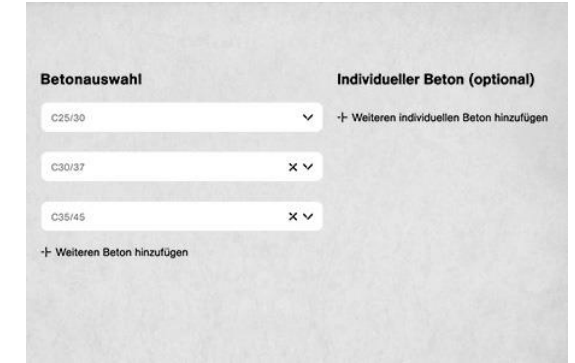
Klimaschutzkonfigurator



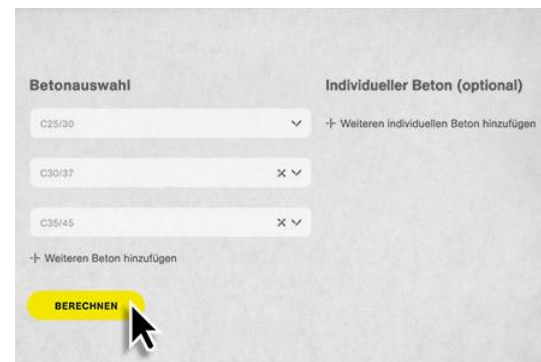
Bauteil wählen



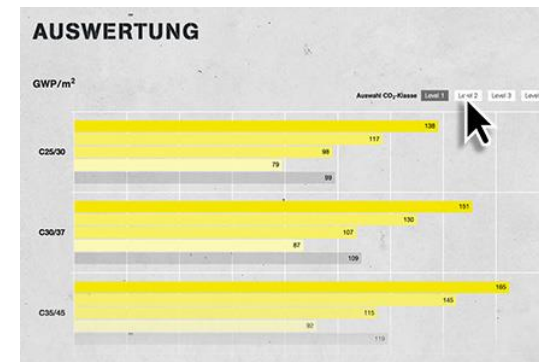
Parameter festlegen



Festigkeitsklasse wählen



Berechnung starten



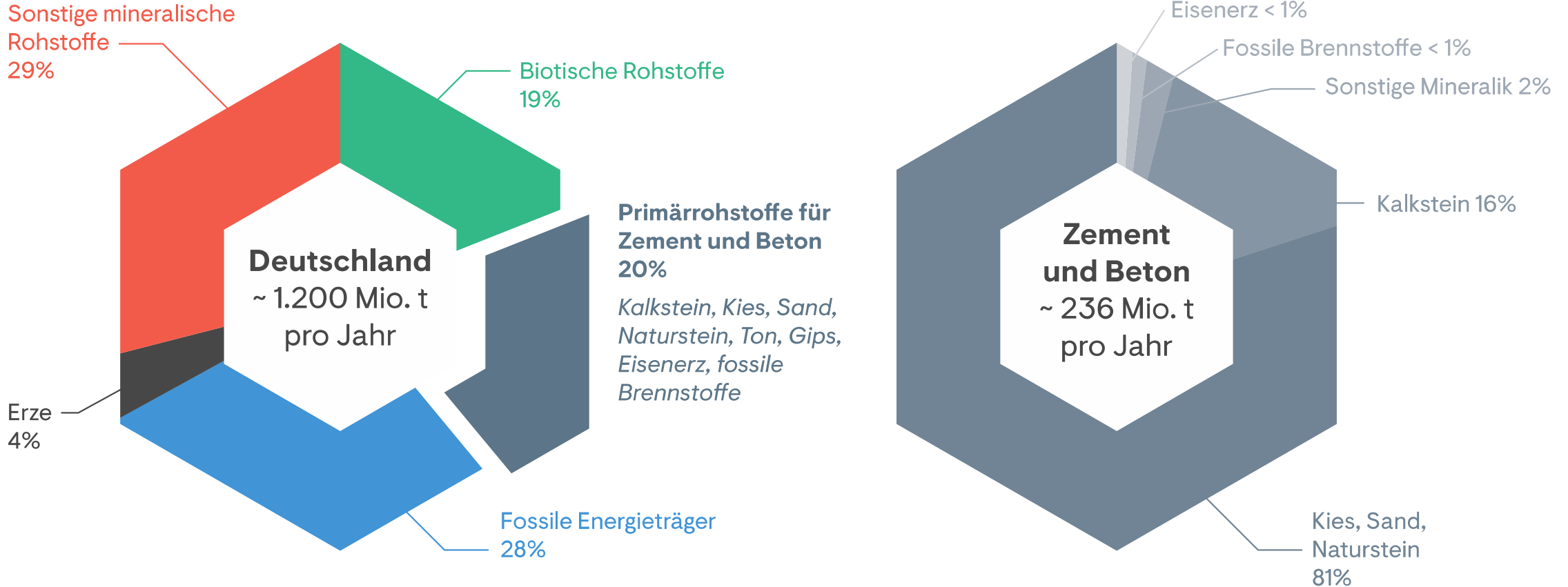
Auswertung

Concrete Strength Class	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
C25/30	79	98	117	136
C30/37	87	107	126	145
C35/45	90	110	129	148

Ergebnisse exportieren

Primärrohstoffe für Zement und Beton

Ein Fünftel der für Deutschland entnommenen Primärrohstoffe entfällt auf Zement und Beton

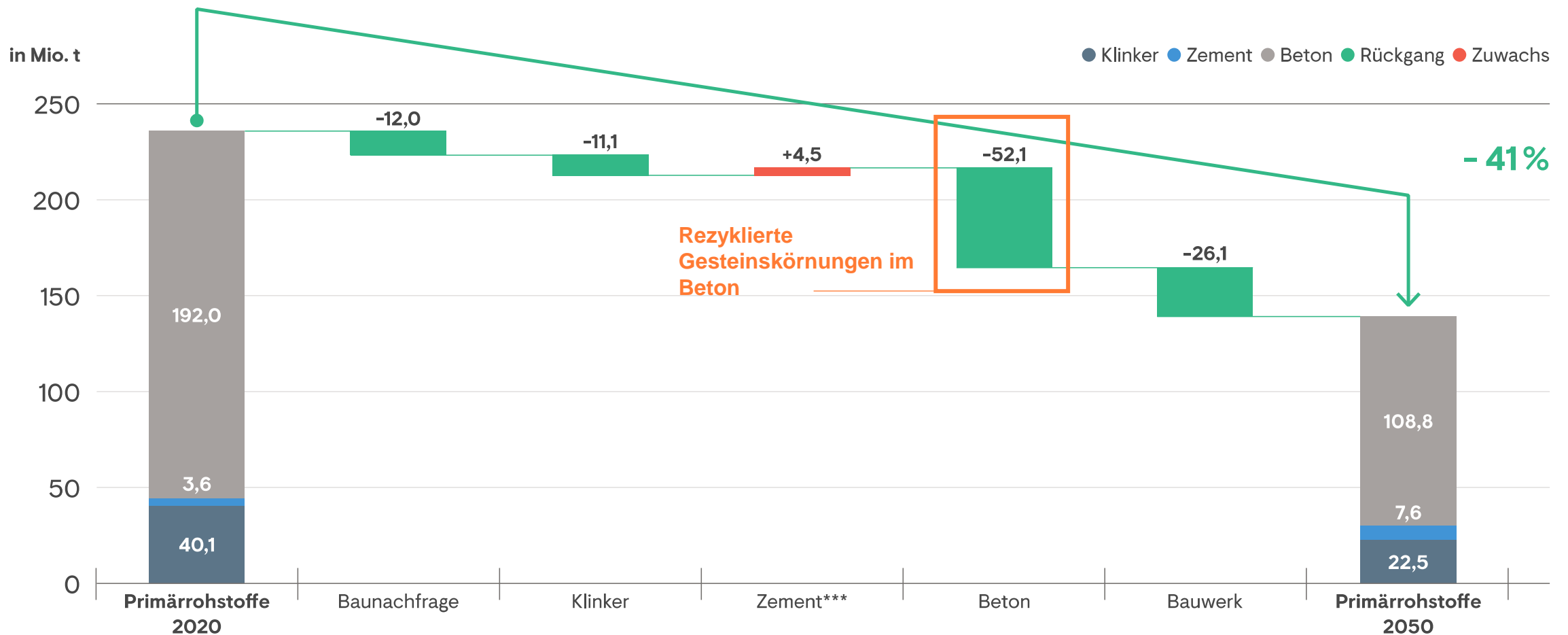


Quellen: Statistisches Bundesamt, VDZ, Bundesverband mineralische Rohstoffe e.V.

Anmerkungen: Der Rohstoffeinsatz in Deutschland ergibt sich aus der verwerteten inländischen Rohstoffentnahme zuzüglich Importrohstoffen abzüglich Exportrohstoffen. Biotische Rohstoffe = z.B. Getreide, Gemüse; sonstige mineralische Rohstoffe = z.B. Bausande, Kies, Lehm und Steinsalz; fossile Energieträger = z.B. Steinkohle, Erdöl; Darstellung ohne Wasser 63

Einsparpotentiale entlang der Wertschöpfungskette

Im Szenario 2050 kann der Primärrohstoffeinsatz um 97 Mio. t reduziert werden



Quelle: VDZ

Anmerkungen: *) Ersetzt wird hier die Flugasche sowohl im Zement als auch im Beton; **) Hierunter fallen Kalkstein und calcinierte Tone; ***) Umfasst primäre Hauptbestandteile und Sulfatträger; Klinker wird separat betrachtet

Beton in den Materialkreislauf zurückführen

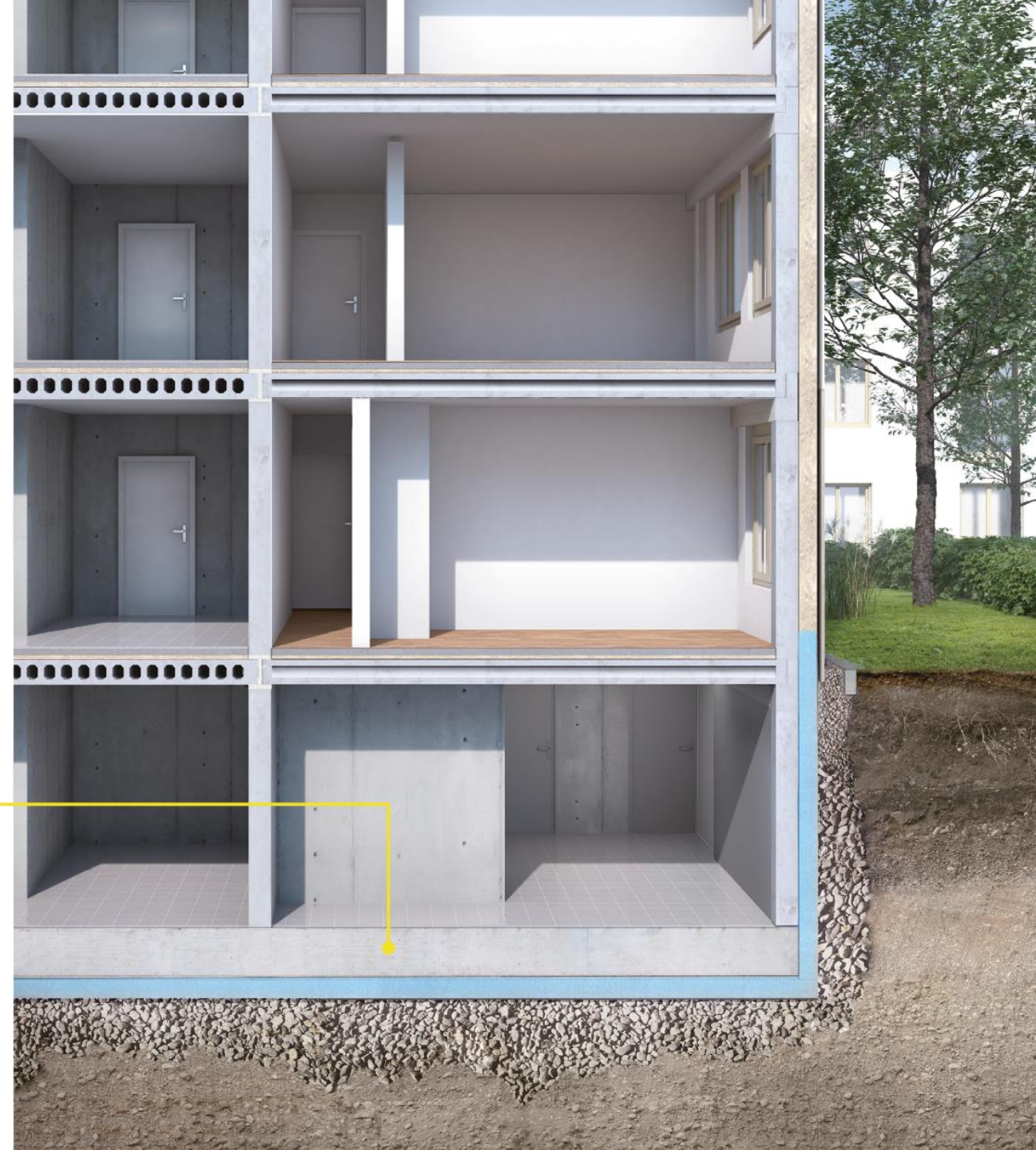
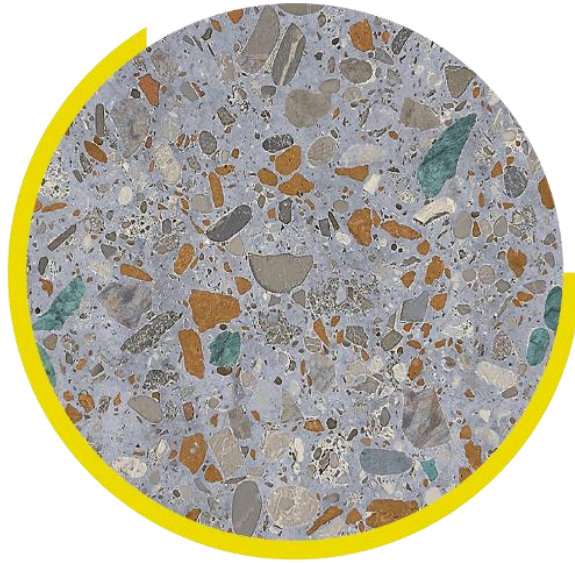
Typ 1
Betonsplitt



Typ 2
Bauwerksplitt



**Schnittbild
Recyclingbeton**



Anwendungsbereiche von RC-Gesteinskörnungen

Anwendungsmöglichkeiten nach DIN 1045-2:2023-08 (Anhang E)

---	1	2	3	4
	Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
	Alkalirichtlinie ^a	DIN EN 206 und DIN 1045-2	Typ1	Typ2
1	WO	Karbonatisierung XC1	≤ 45 ^b	≤ 35
2	WF	Kein Korrosionsrisiko X0		
3		Karbonatisierung XC1 bis XC4	≤ 45	≤ 35
4		Frostangriff ohne Taumittleinwirkung XF1 und XF3		
5		Beton mit hohem Wassereindringwiderstand nach 5.5.3		
6		Chemischer Angriff XA1 ^d	≤ 25	≤ 25
7	WA ^c	XD1 und XD2, XS1 und XS2, XF2 und XF4	≤ 30	≤ 20

a Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (DAfStb-Alkali-Richtlinie) sowie zusätzliche Anforderungen siehe E.3.1.3.

b Es dürfen **feine rezyklierte Gesteinskörnungen** des Typs 1 ≤ 20% Volumenanteil der austauschbaren rezyklierten Gesteinskörnung eingesetzt werden, sofern sie aus einer Produktion der verwendeten groben rezyklierten Gesteinskörnung stammen, für die die Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung nach DIN EN933-11 nachgewiesen wurde. Der Anteil der feinen rezyklierten Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der groben rezyklierten Gesteinskörnung darf dabei nicht größer sein, als der Anteil der gesamten feinen Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der gesamten groben Gesteinskörnung.

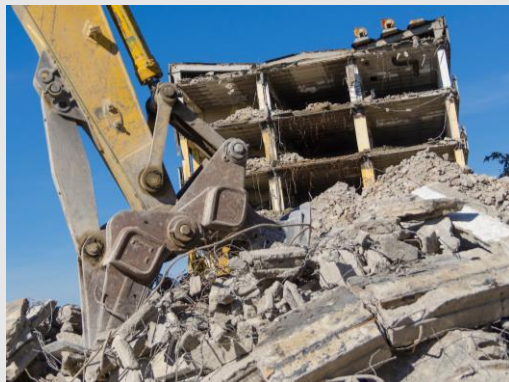
c Die Feuchtigkeitsklasse WA darf nur für rezyklierte Gesteinskörnung mit nachgewiesener Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S nach DAfStb-Alkali-Richtlinie verwendet werden.

d Die Regelung zum chemischen Angriff ist für XA1 durch die Betonklasse BK-N abgedeckt.

Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm in Vol.-%, Prozentangaben beziehen sich auf den Anteil der Gesteinskörnung im Beton.

So unterstützt die Regelwerksetzung

- Vereinfachte und erweiterte Anwendung rezyklierter Gesteinskörnungen in DIN 1045-2:2023-08



Kumulierte Einsparung von
Primärressourcen durch
rezyklierte Gesteinskörnung bis 2050 *

Einsparung bis	Mio. t
2025	32
2030	106
2035	224
2040	386
2045	591
2050	840

* eigene Berechnung auf der Basis der VDZ-Roadmap

Bewährtes neu denken

**Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit.**

vdz

Christoph Müller

T +49 (0)211 45 78 - 372

christoph.mueller@vdz-online.de

www.vdz-online.de