

OFFENE SCHULE WALDAU



BETONTRAGWERKS OPTIMIERUNGEN OFFENE SCHULE WALDAU

Antonia Birkholz, Thalia Zelißen | 24.05.2023

ZIELE DES GESAMTEN GEBÄUDES

Auszüge aus dem Positionspapier

Das Projekt Offene Schule Waldau soll als Leuchtturmprojekt der Stadt Kassel höchste Standards im Bereich Nachhaltigkeit und Innovation aufweisen. Es ist gewünscht Nachhaltigkeits- und Innovationsthemen sichtbar zu gestalten, um eine positive Außenwirkung zu erzielen.

Schadstofffreiheit und gute Innenraumluftqualität

Holzbau bzw. Holz-Hybrid-Gebäude mit sichtbaren Holzoberflächen

Angesichts des hohen Materialeinsatzes und der Verknappung von Rohstoffen, die beim Bauen zum Einsatz kommen, wird neben dem Fokus auf Energieeffizienz das Thema »Materialverbrauch« zu einem zweiten Handlungsfeld

»positiver Fußabdruck für Mensch, Gesellschaft und Umwelt«



OPTIMIERUNG DER BETONBAUTEILE

Optimierungspotentiale

- **Recycling Gesteinskörnung**
- **CO2-reduzierter Zement**
- **CO2-reduzierter Stahl**

Es ist derzeit noch nicht final festgelegt, ob Recyclingbeton zum Einsatz kommt, wir empfehlen aber darauf hinzuwirken.

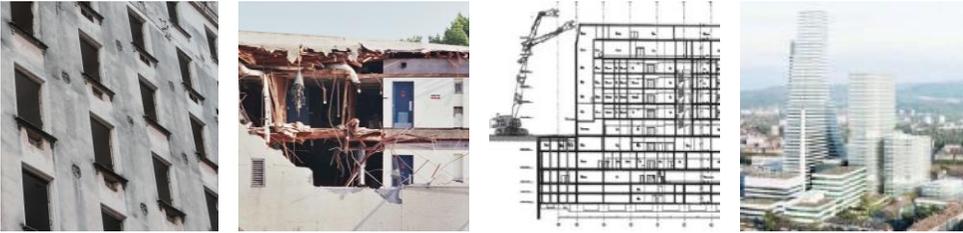
Darüber hinaus empfehlen wir, dass ein CO2-reduzierter Zement und wenn möglich CO2-reduzierter Stahl verwendet wird.

Zum aktuellen Zeitpunkt ist die Ausführung aller Stahlbetonteile in Ortbeton geplant.



RC-GESTEINSKÖRNING

Schonung Mineralischer Ressourcen durch Verwendung von Recycelter Gesteinskörnung



Ideenbeschreibung:

Baustoff-Recycling leistet einen großen Beitrag zur Ressourcenschonung und kann zum Erreichen der Klimaschutzziele beitragen. Rohstoffe werden geschont und vollwertige Baustoffe durch die Wiederaufbereitung von Bauabfällen, Bauteilen und Abbruchmaterialien geschaffen. In fast allen Bereichen am Bau sind Verfahren zur Verarbeitung von bereits verwendeten Materialien üblich. Bei Recycling- oder RC-Beton wird gebrochener Naturstein oder auf natürliche Weise entstandener Kies durch eine recycelte Gesteinskörnung, d.h. aufbereiteten Bauschutt ersetzt. Dabei bestimmt die Qualität der Gesteinskörnungen wesentlich die Güte und die Eigenschaften des RC-Betons. Die Verwendung von RC-Material wirkt sich dabei im Sinne der Nachhaltigkeit doppelt positiv aus: Die Zweitnutzung von Material verhindert eine zusätzliche Rohstoffentnahme und trägt somit über die Reduktion des Rohstoffeinsatzes zu einer Erhöhung der Rohstoffproduktivität bei.

Mehrwert:

- Einsatz von Sekundärmaterial
- Ressourcenschonung – Schließung Materialkreislauf
- Möglicherweise Reduktion des Transportwegs
- Kostenneutral
- Einsetzbar bis Betonfestigkeitsklasse C30/37
- Keine Verwendung bei Spannbeton und Leichtbeton
- Vorgaben zu maximalen RC-Beigaben abhängig von den Expositionsclassen, Festigkeitsclassen und RC-Materialtyp 1 oder 2

Technische Umsetzung / Realisierbarkeit:

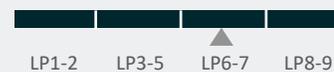
- Erprobte Technik, jedoch müssen einzelne Betonrezepturen getestet werden
- Auswahl qualitätsgesicherter Produkte mit Zertifikaten (Quba & CSC mit R-Modul)

Aufwand / Kosten:

Kostenneutral oder geringe Mehrkosten



Implementierungszeitpunkt:



Detail Design

Komplexität der Integration:

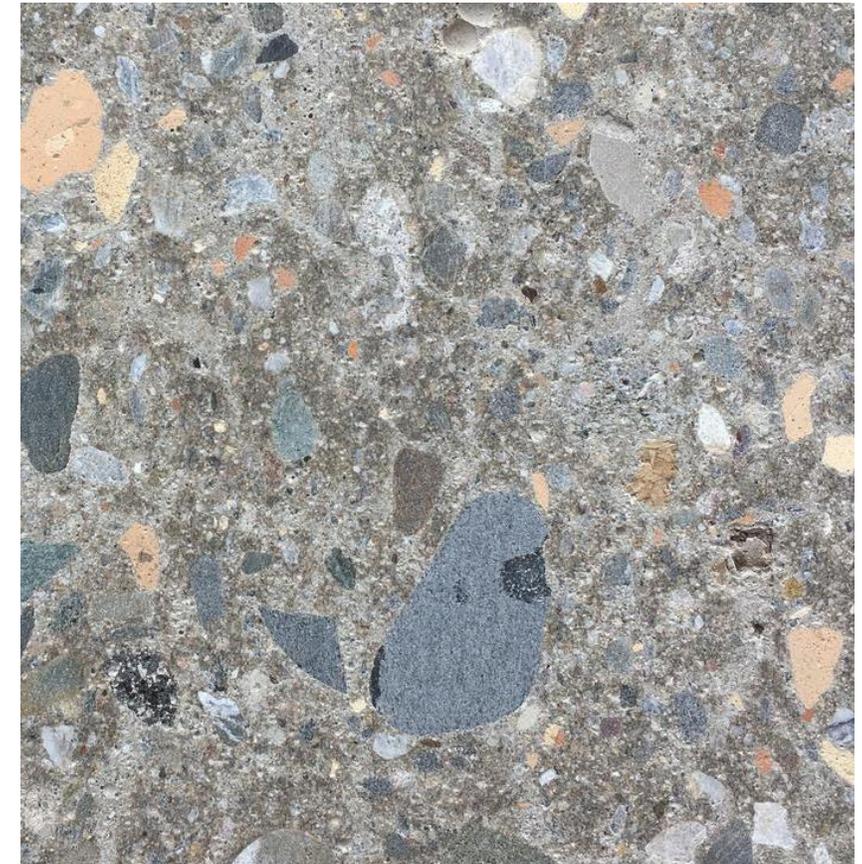


RECYCLINGZUSCHLÄGE IM BETON

Bei Recyclingbeton wird natürlich erstandener Kies durch aufbereiteten Bauschutt aus gebrochenem Beton teilweise oder ganz ersetzt.

Anwendungsbereich		Gesteinskörnungstyp 1	Gesteinskörnungstyp 2
Alkalirichtlinie	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2	nach DIN 4226-100	
zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnung >2mm in Vol.% der gesamten Gesteinskörnung			
WO (trocken)	Carbonatisierung XC1	≤45	≤35
WF (feucht)	kein Korrosionsrisiko X0		
	Carbonatisierung XC1 bis XC4	≤35	≤25
	Frost ohne Taumittelwirkung XF1 und XF3 und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand		
	chemischer Widerstand XA1	≤25	≤25

<http://www.rc-beton.de/pilotprojekt/Leitfaden%20RC-Beton.pdf>



Kategorie	Herkömmlicher Beton	RC-Beton
CO2-Fußabdruck	Hohe CO2 Emissionen in der Herstellung	Hauptanteil der Emissionen ist auf Zement zurückzuführen. Möglicherweise Reduktion der Transportwege
Materialherkunft	Ausschließlich Primärmaterial, mineralisch	Bis zu 45% Sekundärmaterial innerhalb der Norm, bis zu 100% mit Zulassung im Einzelfall
Anwendungsbereich	Keine Einschränkung	<ul style="list-style-type: none"> – Festigkeitsklassen \leq C30/37 – Keine Verwendung bei Hochleistungsbetonen, Spannbeton und Leichtbeton – Empfehlung: Gesteinskörnung QUBA zertifiziert
Materialverwertung	Bei sortenreiner Erfassung → Aufbereitung zu RC-Gesteinskörnung (Downcycling)	Bei sortenreiner Erfassung → Aufbereitung zu RC-Gesteinskörnung (Downcycling)
Anmerkungen		<ul style="list-style-type: none"> – Verfügbarkeit von RC-Gesteinskörnung schwankt am Markt stark – Rechtzeitige Abklärung notwendig – Verwendung von RC-Gesteinskörnung und CO2 optimiertem Zement schließen sich nicht aus → Kombination möglich

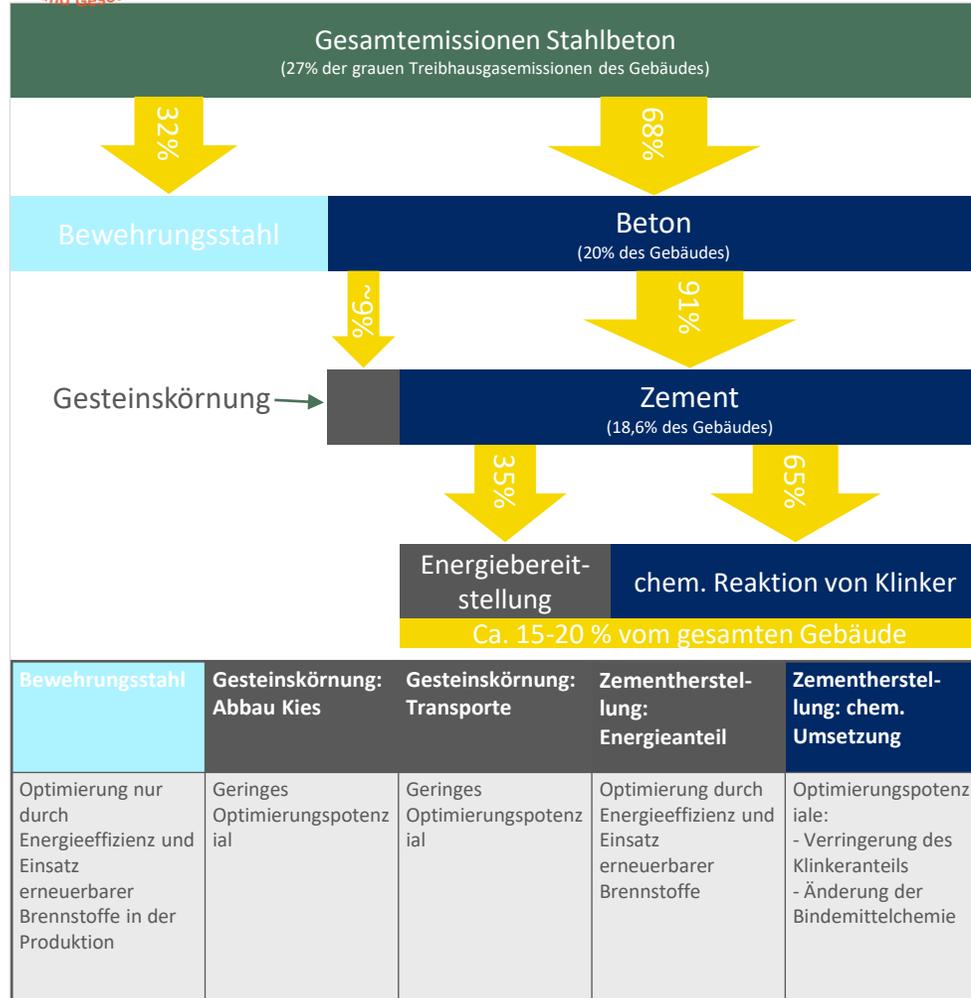
BÜSCHER R-BETONWAND

- // Büscher hat als erstes deutsches Unternehmen eine **bauaufsichtliche Zulassung** für tragende und nicht tragende **Fertigteil-Innenwände aus 100% R-Beton**
- // Dazu wird:
 - // Das R-Material von Büscher abgeholt
 - // Aufbereitet, sodass die Primärrohstoffe (Sand und Kies) zu 100% durch R-Material ersetzt werden können
 - // Die Fertigteil- Büscherwand hergestellt
- // Die Eigenschaften der R-Betonwand sind gleichwertig zu Primärbetonwänden (Güte bis C30/37 erreichbar)
- // Sekundärmaterial in R-Betonwand ist zudem günstiger als Primärrohstoffe
- // Abmessungen: Länge: bis 11m; Höhe: bis 3,70m
- // ! Interessierte Betonwerke können eine Lizenz erwerben, um nach gleichem Rezept 100% R-Betonwände zu produzieren !



CO₂-OPTIMIERTER ZEMENT

Relevanz der CO₂-Reduktion von Zement



Ideenbeschreibung:

Die Herstellung von Zement ist mit enormen CO₂-Emissionen verbunden. Der Anteil beläuft sich auch ca. 19% der Errichtungsbedingten Treibhausgasemissionen. Dabei wird etwa der kleinere Teil der Emissionen durch Brennstoffe und die Materialbereitstellung ausgestoßen, während der Andere durch eine chemische Reaktion beim Brennvorgang des Klinkers entsteht.

Durch den Einsatz von CO₂-armem Zement können diese Emissionen erheblich reduziert werden. Diese Reduzieren den Anteil von Portlandzementklinker durch eine Substitution mit Hüttensand, Flugasche, gebrannte Schiefer, Kalkstein, kalzinierten Tonen, Geopolymeren, hydraulischen Calciumhydroxysilikaten oder Magnesia- und Phosphatbindern. Des weiteren kann mittels neuer Technologien der CO₂-Gehalt aus der Abluft der Zementwerke gefiltert werden und somit ein erheblicher Teil der Treibhausgase aus der Abluft gefiltert werden.

Mehrwert:

- Erhebliche Reduktion der Treibhausgase
- Größte Stellschraube bei konventionellem Bau
- Relative geringe Technische Auswirkungen
- Gutes Kosten/Nutzen Verhältnis
- Vermutlich sinkendes Vorkommen von Flugasche (Kohlekraftwerke) und Hüttensand (Stahlproduktion) durch Dekarbonisierung der Wirtschaftszweige

Technische Umsetzung / Realisierbarkeit:

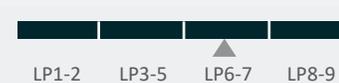
- relativ Einfach
- Vorhandene Technologie
- Preisänderungen durch Investitionskosten für Herstellungsfirmen möglich

Aufwand / Kosten:

Kostenneutral oder Geringe Mehrkosten



Implementierungszeitpunkt:



Detail Design

Komplexität der Integration:



Quelle: Drees & Sommer; Holcim CH

ZEMENTKLASSEN: VERGLEICH VON CEM II UND CEM III

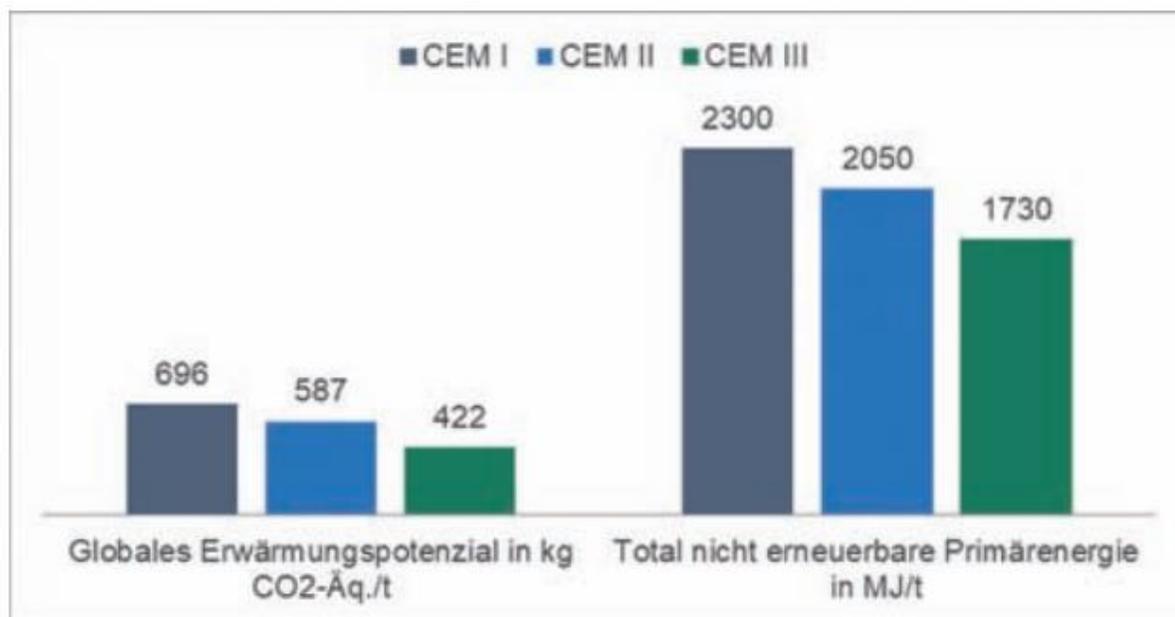


Bild 6: Globales Erwärmungspotenzial und nicht erneuerbare Primärenergie von Zement in Deutschland: Generischer mittlerer Zement CEM II, generischer Portlandlandzement CEM I, generischer Hochofenzement CEM III/A mit 50 % Hüttensand [4]

CO₂eq-Reduktion durch Verwendung unterschiedlicher Zementklassen:

- CEM II → CO₂eq-Reduktion von ca. 16% gegenüber CEM I
- CEM III → CO₂eq-Reduktion von ca. 40% gegenüber CEM I
 → CO₂eq-Reduktion von ca. 28% gegenüber CEM II

Aber:

Cem I ist schon seit Jahren nicht mehr der Standard im Betonbau.

Hier zu beachten ist die Reduktion der CO₂ Reduktionen durch die Substitution von CEM II durch CEM III

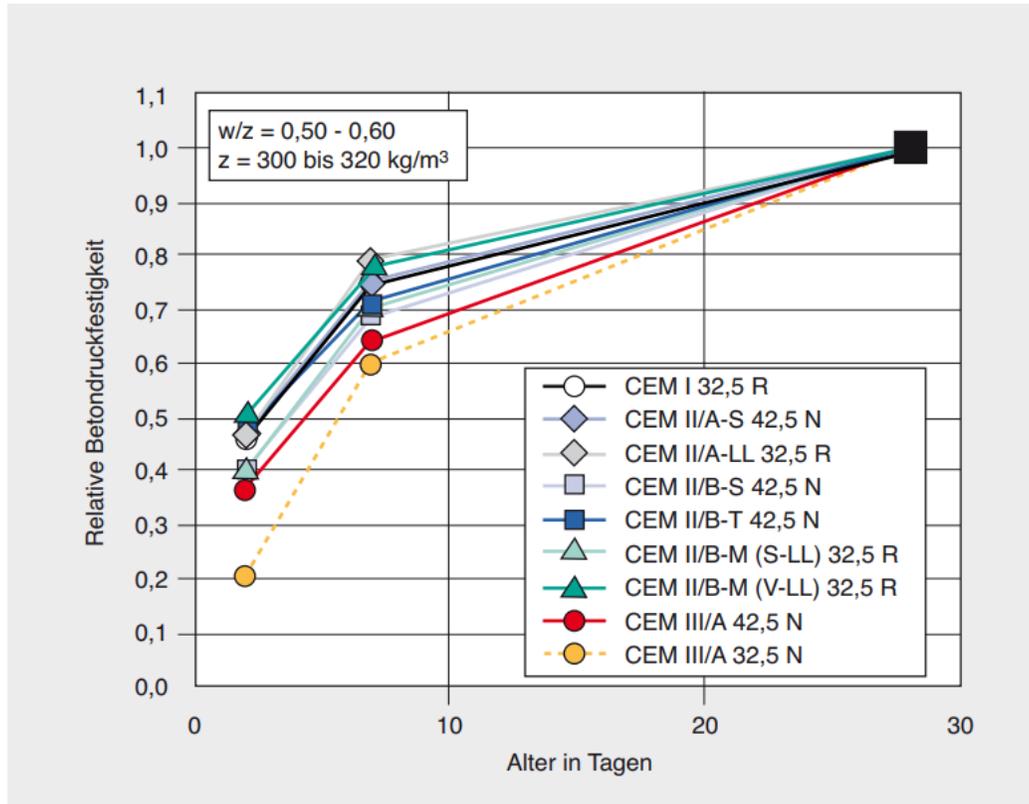
CEM III wird seit Jahren bereits bei besonders massigen Bauteilen eingesetzt, weil er langsamer abbindet, dabei weniger Hydratationswärme entsteht, weniger schwindet und damit weniger Bewehrung zu Rissvermeidung benötigt.



CO2 OPTIMIERTER ZEMENT

Kategorie	Herkömmlicher Zement	CO2 optimierter Zement
CO2-Fußabdruck	<ul style="list-style-type: none"> – CO2 Intensiver Herstellungsprozess → extrem hohes Treibhausgaspotential – Für 6-8% der weltweiten CO2-Emissionen verantwortlich 	<ul style="list-style-type: none"> – weiterhin hohe CO2 Emissionen, dennoch Reduktion der Treibhausgase
Materialherkunft	Primärmaterial (Kalkstein, Ton und Mergel)	<ul style="list-style-type: none"> – Verwendung von hochwertigen Nebenprodukten / Klinker-Ersatzstoffen (Hüttensand aus Roheisen-Produktion, gebrannte Ölschiefer oder Kalksteinmehl)
Anwendungsbereich	Alle Betonfestigkeitsklassen	Alle Betonfestigkeitsklassen (einschließlich C50/60)
Materialverwertung	Bei sortenreiner Erfassung des Betons → Aufbereitung zu RC-Gesteinskörnung (Downcycling)	Bei sortenreiner Erfassung → Aufbereitung zu RC-Gesteinskörnung (Downcycling)
Anmerkungen	Sichtbetoneignung	Sichtbetoneignung

FESTIGKEITSENTWICKLUNG DER VERSCHIEDENEN ZEMENTSORTEN



- Gleiche Festigkeit nach 28 Tagen
- geringere Frühfestigkeiten bei CEM III
- Längere Ausschalungszeiten

Bild 6: Relative Druckfestigkeit von Betonen mit verschiedenen CEM II- und CEM III/A-Zementen im Vergleich zum CEM I-Beton [VDZ05c]

CO₂ OPTIMIERTER ZEMENT

Möglichkeiten und Grenzen von CEM3

- ☞ CEM3 verursacht dadurch, dass weniger Zement als bei CEM1 oder CEM2 benötigt wird, weniger CO₂ Emissionen. → Durch den Einsatz von CEM3 kann CO₂ eingespart werden.
- ☞ CEM3 wird bei einigen Bauteilen bereits standardmäßig verwendet, jedoch kann durch die Verwendung bei weiteren Bauteilen zusätzlich CO₂ eingespart werden
- ☞ Jedoch werden für CEM3 Zusatzstoffe (z.B. Flugasche) aus Industrien verwendet, die es in Zukunft nicht mehr geben sollte z.B.:



Müllverbrennungsanlage



Kohlekraftwerk

- ☞ Fazit: In der Betonindustrie wurde noch keine wirkliche zukunftsfähige Alternative zur Einsparung von CO₂ gefunden



CO₂ REDUZIERTER ZEMENT

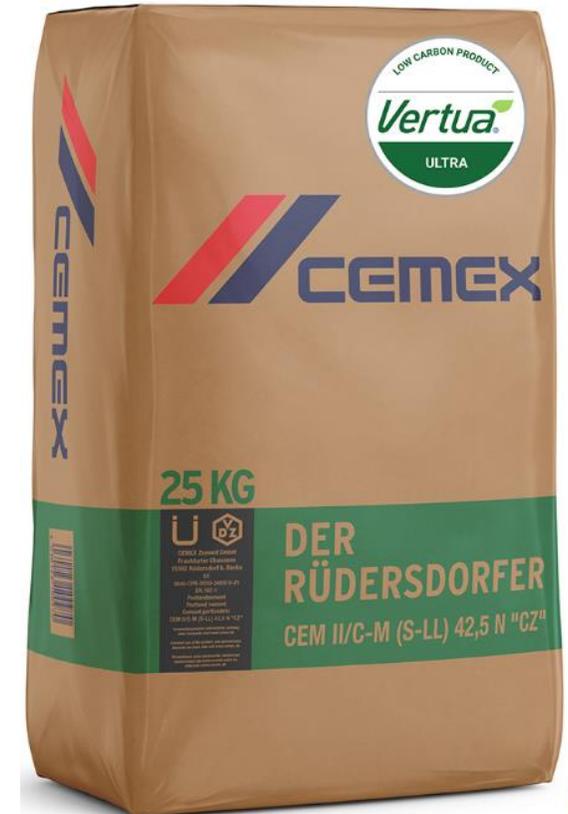
Vertua-Zement CEMEX



- Folgendes Produkt ist als Sackware verfügbar und kann vor Ort zu Frischbeton verarbeitet werden:
Vertua® ultra CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N "CZ" Sackware, Portlandkompositzement
- Hergestellt im Zementwerk in Rüdersdorf (CSC Gold zertifiziertes Werk)



CO₂-Reduktion über 40 %



HERSTELLERABFRAGE IM RAUM KASSEL

Die Unten stehenden Werte sind für eine Betonmenge von ca. 10.000 m³ gerechnet, bei kleineren Betonmengen müssten die Werte noch einmal neu angefragt werden.

	 Kaufungen	 Kassel	 Kassel	 Felsberg
CO2 Optimierter Beton	CEM III keine Aussagen zum Preis möglich. (Herstellereklärung zu CO2 Bilanz möglich)	CEM III möglich, Aufpreis zu „normalem Beton“ für 2023: +25 €/m ³	CEM III 2022 kein Aufpreis	CEM III keine Aussagen zum Preis möglich (Herstellereklärung zu CO2 Bilanz möglich)
Recycling-Beton	Vertreiben noch keinen Recyclingbeton in Nordhessen	Noch keine Zulassung für Recyclingbeton, Versuchsreihe läuft aktuell	Vertreiben keinen Recyclingbeton in Kassel	Können Recyclingbeton liefern





CSC-TOOLBOX

CSC-Concrete Sustainability council

- Die CSC Toolbox ermöglicht, die ökologischen und sozialen Leistung Ihres Betons zu analysieren.
- Erfolgreich abgeschlossene Projekte werden zertifiziert und werden in der CSC Toolbox aufgeführt



Certified projects
1 results of 1

Search item
Type in anything

Country
Germany

Location (city)
Kassel

Certificate Type
[Dropdown]

Score
[Dropdown]

Module
[Dropdown]

Concrete Type
[Dropdown]

Certificate date
Between []
And []

Filter

 **Spanner Herkules Rheinland GmbH & Co. KG - Werk Niederkassel** — Niederkassel, Germany

Certificate Number	819-CSC21-2022	Date of certification	Sep 2, 2022
Certificate Type	Concrete, Ready mixed	Version	2.1 Deutsch

[Client website](#) — [Certificate](#)



CSC-ZERTIFIKAT DES BETONWERKS SPENNER HERKULES -NIEDERKASSEL

www.csc.eco



Zertifikat für nachhaltiges Wirtschaften in der Betonindustrie und deren Lieferkette



Ausgabedatum: 02-09-2022
 Gültig bis: 02-09-2025
 Version: 1

Zertifizierungsstelle



VDZ Service GmbH
 VDZ Cert - Zertifizierungsstelle für Managementsysteme
 Toulouse Allee 71
 D- 40476 Düsseldorf

Hiermit wird erklärt, dass:
Spenner Herkules Rheinland GmbH & Co. KG - Werk Niederkassel
 Spicher Straße 200, 53859 Niederkassel, Deutschland

nach folgendem Standard bewertet wurde:
Concrete Sustainability Council (2021) DE (Beton) 2.1 Deutsch

VDZ Cert - Zertifizierungsstelle für Managementsysteme der VDZ Service GmbH bestätigt gegenüber der Spenner Herkules Rheinland GmbH & Co. KG - Werk Niederkassel die Konformität mit den Anforderungen des Concrete Sustainability Council RSS.
 VDZ Service GmbH ist eine unabhängige akkreditierte Stelle für die Zertifizierung von Managementsystemen sowie die Verifizierung von Treibhausgasemissionsberichten.

www.csc.eco




Ausgabedatum: 02-09-2022
 Gültig bis: 02-09-2025
 Version: 1

Endergebnis: 61,17 %

Teilergebnis pro Kategorie

Kategorie	Ergebnis (%)
Grundvoraussetzung	100,00 %
Management	87,88 %
Umwelt	75,34 %
Soziales	97,92 %
Ökonomie	84,00 %
P1, Zement	40,56 %
P2, Gesteinskörnung	0,00 %

Durch vorbildliche Leistung zusätzlich erworbene Punkte (bereits im obigen Teilergebnis berücksichtigt)

Umwelt: 1,37 %

CSC certified supply chain coverage
 - Zement: 43%

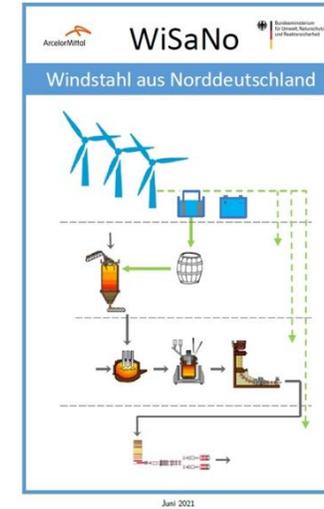
Spenner Herkules Rheinland GmbH & Co. KG - Werk Niederkassel - 819-CSC21-2022

CO₂ REDUZIERTER STAHL

- ✔ Stahlhersteller, wie ArcelorMittal oder thyssenkrupp arbeiten aktuell weltweit an klimaneutralen Produktionsprozessen für die Zukunft
- ✔ thyssenkrupp stellt Kohlendioxid-armen Stahl für jegliche Stahlprodukte außer Bewehrungsstahl her (sog. bluemint®Steel), indem ein Teil des Eisenerzes durch Eisenschwamm ersetzt wird (geringerer Kohleeinsatz im Schmelzprozess)
 - Bis zu 70% verminderte CO₂-Intensität
 - Bis 2050 soll die Stahlproduktion bei thyssenkrupp CO₂ neutral sein
- ✔ ArcelorMittal hat nun erstmalig CO₂ reduzierten Bewehrungsstahl auf den Markt gebracht (s. folgende Folien)
- ✔ Komplette CO₂ neutraler Stahl ist derzeit nur durch Kompensation möglich:
 - SÜLZLE Stahlpartner ist seit 2020 ein CO₂-neutrales Unternehmen
 - Der verbleibende CO₂-Ausstoß im Produktionsprozess wird durch verschiedene Projekte kompensiert (siehe Kompensationsprojekte)
 - SÜLZLE engagiert sich regional und fördert Kompensationsprojekte mit dem Schwerpunkt Klimaschutz



© thyssenkrupp Steel Europe



Quelle: ArcelorMittal Hamburg - Neue Studie: CO₂-neutraler Eisenschwamm von der Küste am besten für grünen Stahl

Kompensationsprojekte:



Projekt "Trinkwasser"	Projekt "Aufforstung"	Projekt "Wasserkraft"	Projekt "Solarenergie"	Projekt "Wasserkraft"
Simbabwe	Uruguay	Uganda	Indien	Indien

Quelle: CO₂-neutraler Stahl - SÜLZLE Stahlpartner - Ein Unternehmen der SÜLZLE Gruppe (suelzle-stahlpartner.de)

CO₂ REDUZIERTER STAHL

ArcelorMittal

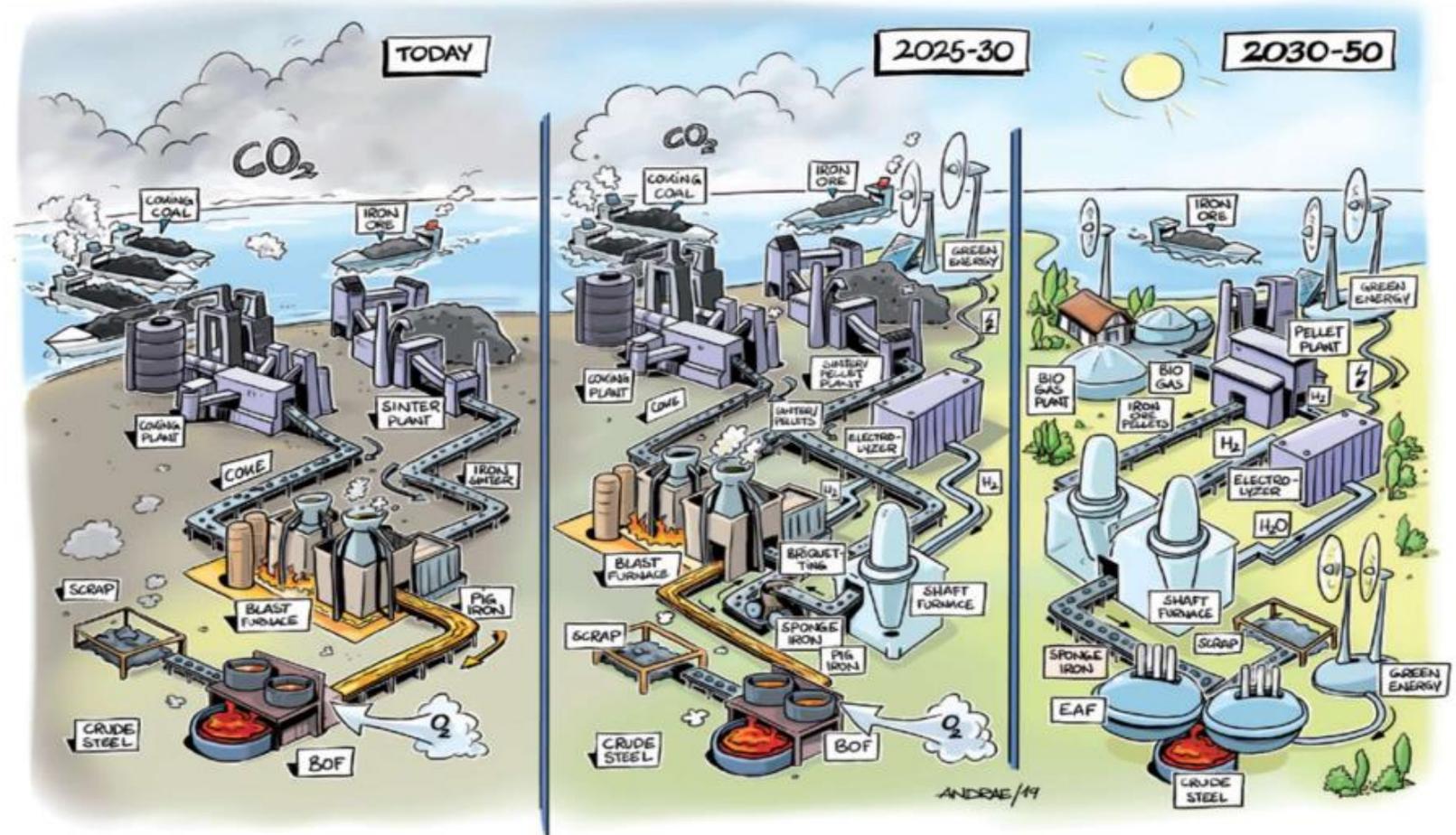
- ✔ CO₂ reduzierte Stahlprodukte: **Bewehrungsstahl** (neu), Lochstegträger, Stahlprofile, Verbunddecken, Fassaden, Rundstahl, ...
- ✔ Nachhaltigkeitsziele ArcelorMittal Europe:
 - ✔ 35 % weniger CO₂-Emissionen bis 2030
 - ✔ Ziel: Klimaneutrale Produktion bis 2050
- ✔ Maßnahmen: hin zu „grünem Stahl“ durch die Verwendung regenerativer Energien und „grünem“ Wasserstoff statt Erdgas (s. nächste Folie)
 - ✔ GWP des CO₂-reduzierten Stahls liegt bei nur **0,333 t /pro t Stahl** (statt 0,7 t CO₂/t im Deutschlandweiten Durchschnitt)
 - ✔ Ziel: komplett CO₂ neutrale Stahlprodukte ab 2030
- ✔ Auszeichnung: Cradle to Cradle Gold zertifiziert, Worldsteel Sustainability Champion 3 Jahre in Folge (2018-2021)
- ✔ Zertifizierung: ResponsibleSteel-Zertifizierung
- ✔ Laut Hersteller ca. 5% teurer als herkömmlicher Bewehrungsstahl (Stand Februar 2023)



CO₂ REDUZIERTER STAHL

Produktionsentwicklung zum **grünen** Stahl →

- ✔ Einsatz von bis zu 100% Stahlschrott
- ✔ Einsatz von erneuerbaren Energien (bis 2030 ausschließlich erneuerbare Energien)
- ✔ Aktuell: Kohle als Reduktionsmittel ersetzen durch Biokohle aus Holz- und Kunststoffabfällen
 (2 Demonstrationsanlagen in Gent, Belgien, die 2022 und 2024 in Betrieb gehen sollen)
- ✔ (Bio-)Kohle wird im Laufe der Jahre durch Wasserstoff als Reduktionsmittel ersetzt
- ✔ Umwandlung von Abgasen in Bio-Ethanol
- ✔ 2025 soll in Spanien im ersten Werk komplett klimaneutral produziert werden, die Umstellung weiterer Werke soll bis 2030 erfolgen



MEHRWERT CO2-REDUZIERTER STAHL

Berechnung nach Arbeitsstand TWP 23.03.

Durch den Einsatz von CO2-reduziertem Stahl statt herkömmlichen Bewehrungs-Stahl können CO2-Emissionen reduziert werden. Die CO2 Emissionen, die dadurch eingespart werden, entsprechen....



...so vielen Fahrten um die Erde in einem Mittelklasse PKW (Benziner)



...der Menge CO2, die in so vielen Hektar Wald gebunden ist

Einsparung CO2-reuzierter Stahl: **ca. 355 t CO2-Äqu.**



42 x



32 ha

Umweltfolgekosten (CO2): **€ 71.000 / € 248.000**

Das Umweltbundesamt (UBA) empfiehlt für im Jahr 2021 emittierte Treibhausgase einen Kostensatz von **201€ pro Tonne Kohlendioxid (t CO2) bzw. 698€ pro Tonne Kohlendioxid.**

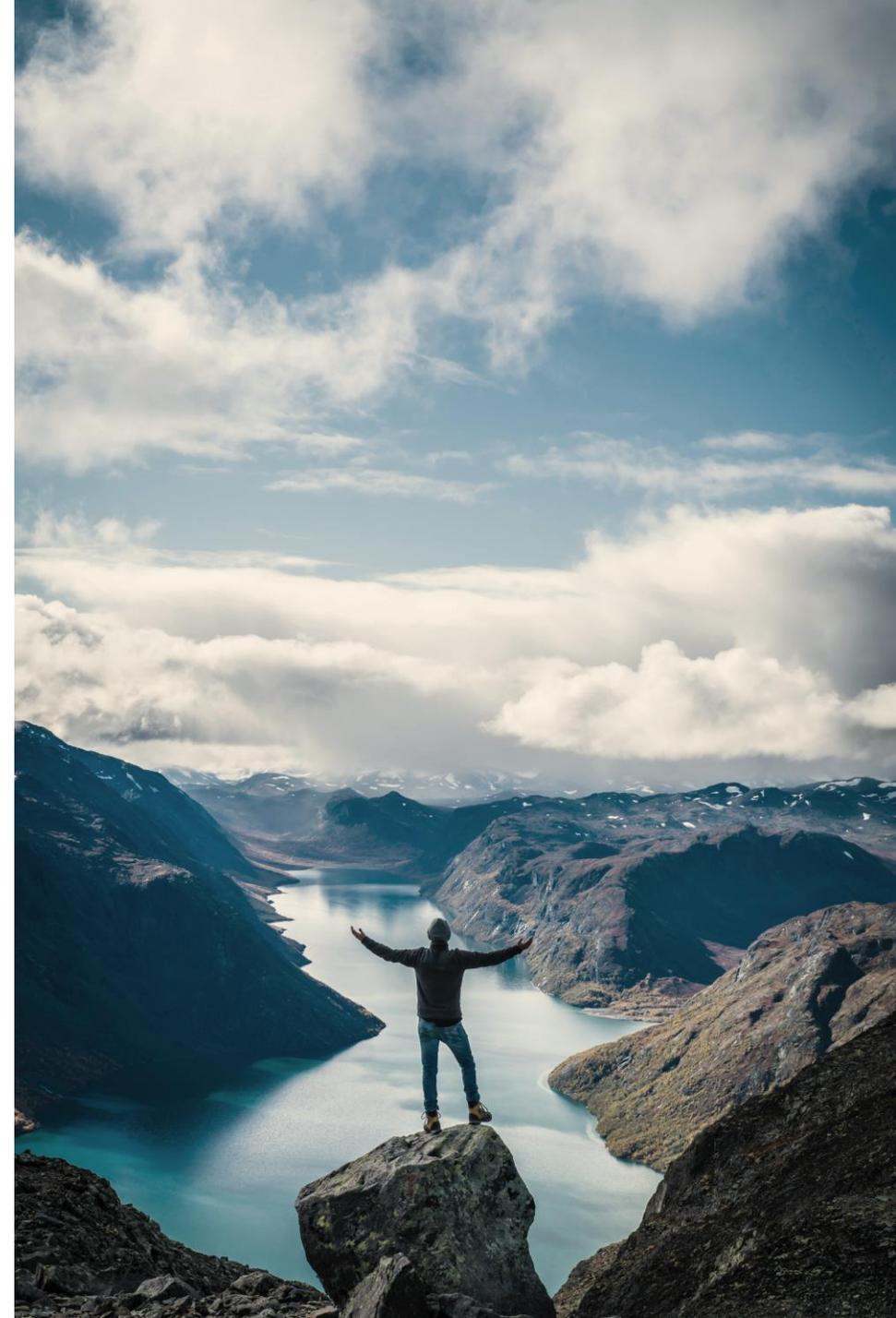
Im Fall „201“ wird die Wohlfahrt* künftiger Generationen niedriger bewertet als die heutiger Generationen, im Fall „698“ gleich hoch.



_FAZIT _NÄCHSTE SCHRITTE

NÄCHSTE SCHRITTE

- ✔ Rücksprache mit Tragwerksplaner hat stattgefunden
 - ✔ Fast+Epp: bei WU-Beton kein Recyclingbeton empfohlen, bei anderen Bauteilen denkbar
 - ✔ CEM 3 ebenfalls denkbar
 - ✔ CO2-reduzierter Stahl als Produkt denkbar
- ✔ Wann wird betoniert?
- ✔ Erlaubt der Zeitplan des Projekts längere Ausschalzeiten?
- ✔ Wie wird die Schnittstelle Fast+Epp/EPEA bei diesem Thema gestaltet? Wer kümmert sich um was?





EPEA

PART OF DREES & SOMMER

