

# **CO<sub>2</sub>-Abscheidung bei der Zementherstellung**

Johannes Ruppert, VDZ

Workshop CO<sub>2</sub>-Infrastruktur in NRW

Düsseldorf, 22. August 2019

# AGENDA

- 1 Zementherstellung und Prozessemissionen**
- 2 CO<sub>2</sub>-Minderung in der Zementindustrie
- 3 Carbon Capture – das ECRA Projekt
- 4 Perspektiven für CCS und CCU in der Zementindustrie

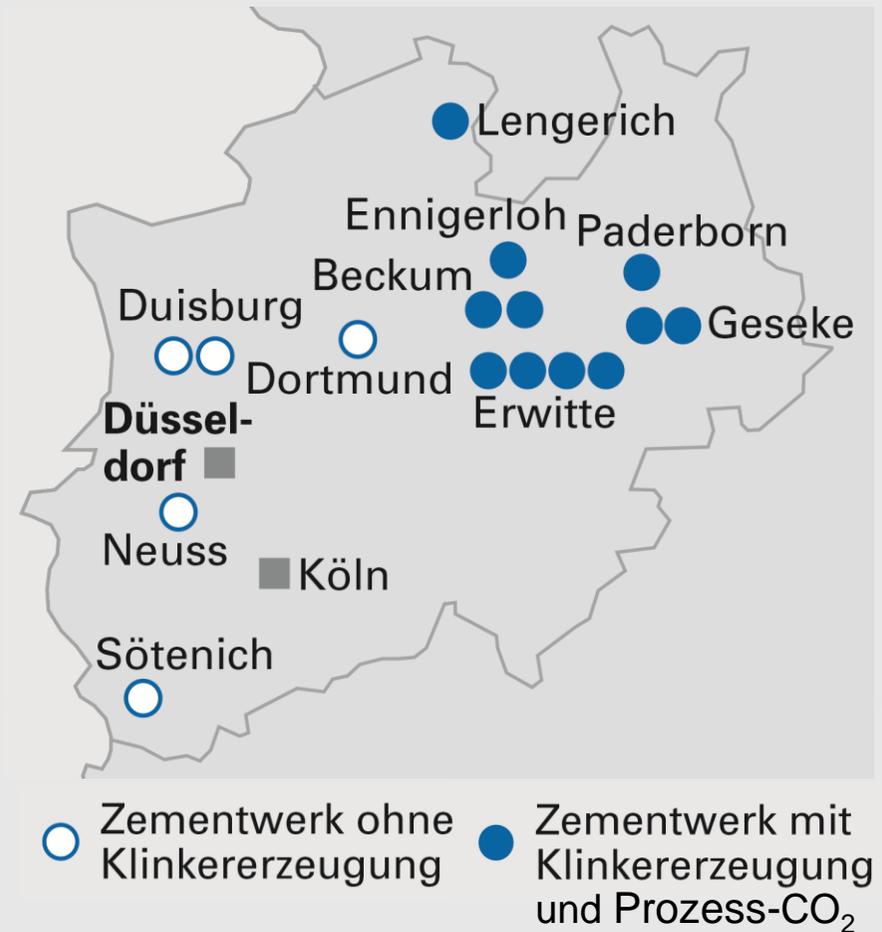
# Die deutsche Zementindustrie im Überblick

- 20 Unternehmen, 53 Werke
  - 34 Werke mit Klinkerproduktion
  - 18 Mahlwerke, 1 Mischwerk
- Kennzahlen 2018
  - Zementproduktion: 34 Mio. t \*
  - CO<sub>2</sub>-Emissionen: 20 Mio. t CO<sub>2</sub>
  - Zementverbrauch in D: 29 Mio. t \*
  - Beschäftigte: ca. 8.100
  - Umsatz: 2,8 Mrd. €



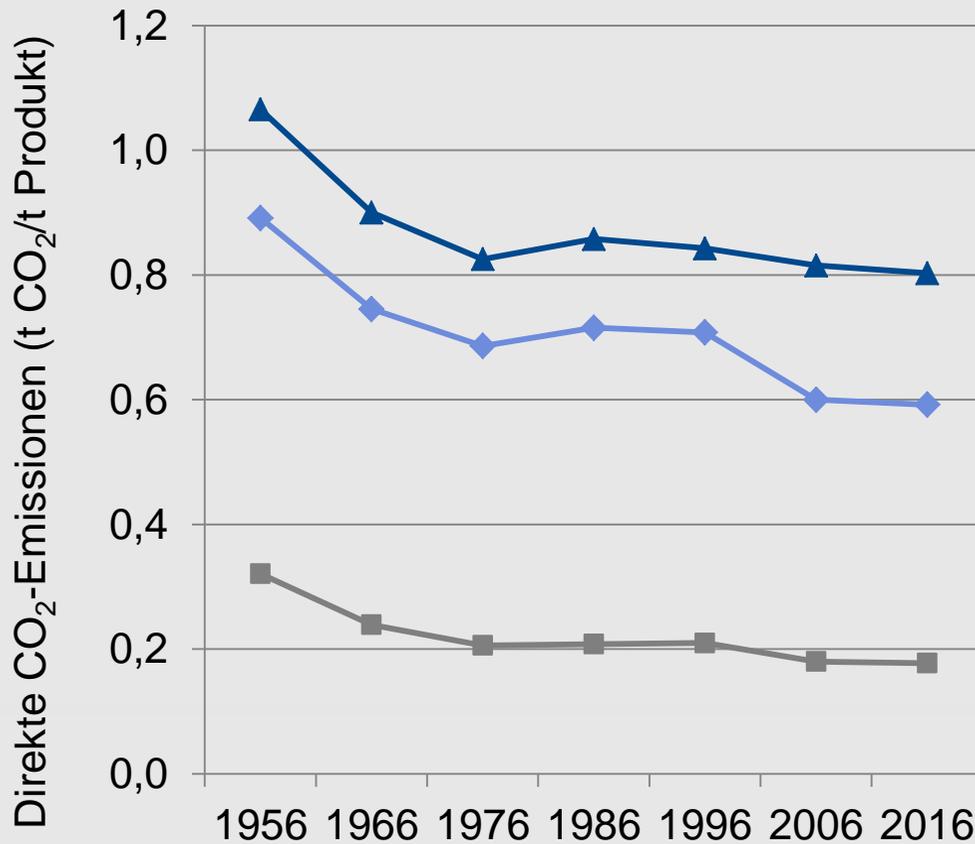
# Zementklinkerproduktion in NRW

- 11 Werksstandorte mit Erzeugung von Zementklinker
- Unmittelbarer Bezug zu besonders geeigneten Kalksteinvorkommen in Westfalen
- Ca. 5,2 Mio. t CO<sub>2</sub>/ Jahr
- Intensive Nutzung von industriellen Nebenprodukten und alternative Einsatzstoffen:
  - Hüttensand und Flugasche als weitere Hauptbestandteile im Zement
  - Alternative Brennstoffe mit biogenen Kohlenstoffanteilen



# Zement ist ein CO<sub>2</sub>-intensives Produkt

## Beton ist ein CO<sub>2</sub>-effizientes Produkt



Direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen  
Abschätzung für Deutschland



t CO<sub>2</sub> / t Zementklinker



t CO<sub>2</sub> / t Zement



t CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> Beton

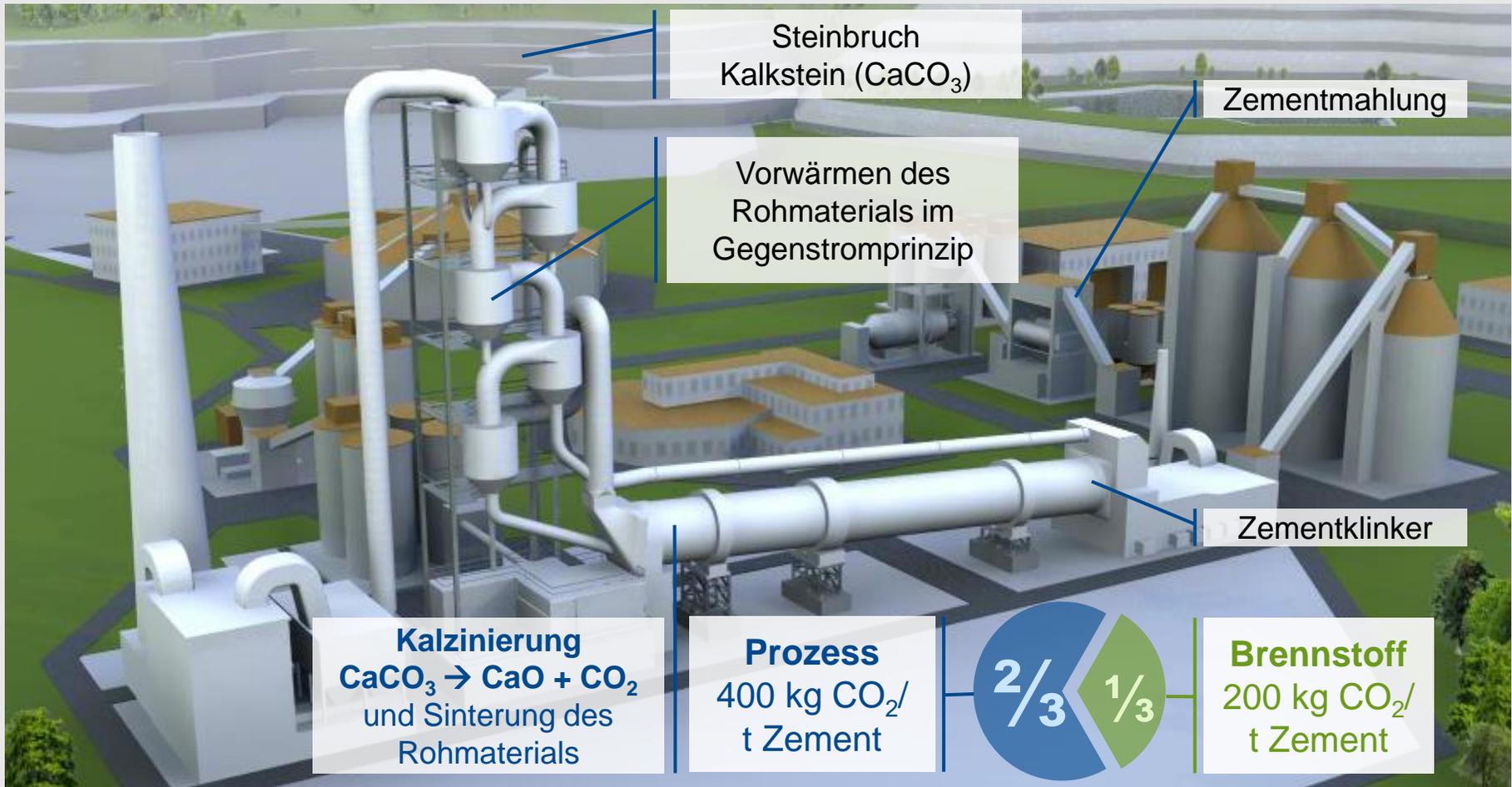


3 - 10  
t CO<sub>2</sub> / Wohnhaus

Anteil in der Nutzungsdauer eines Gebäudes: 2 - 12 %

CEMBUREAU, 2013: <https://lowcarboneyconomy.cembureau.eu/>

# Prozessemissionen bei der Zementherstellung



# AGENDA

- 1 Zementherstellung und Prozessemissionen
- 2 CO<sub>2</sub>-Minderung in der Zementindustrie**
- 3 Carbon Capture – das ECRA Projekt
- 4 Perspektiven für CCS und CCU in der Zementindustrie

# CO<sub>2</sub>- und Energieeffizienz in der Zementindustrie

## CSI/ECRA Technology Paper 2017

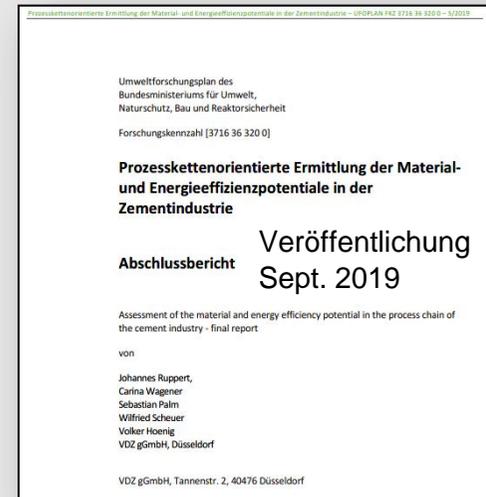
- Thermisch
- Elektrisch
- Mahlung
- alternative Brenn- und Rohstoffe
- Klinkereinsatz im Zement
- Neue Bindemittel
- CCS
- CCU



<https://ecra-online.org/research/technology-papers/>

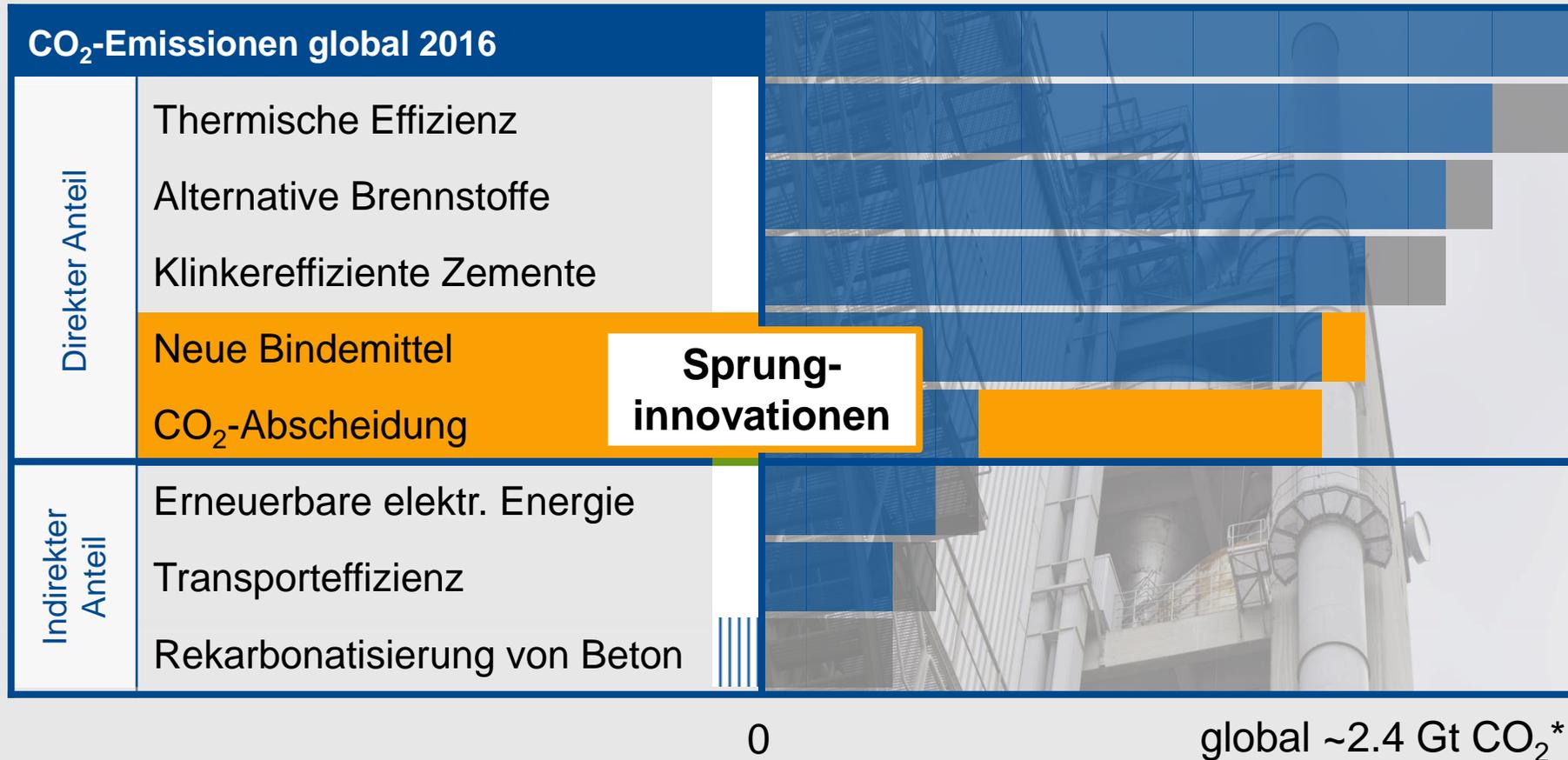
## Material- und Energieeffizienz in der Zementindustrie, VDZ/UBA-Studie:

- Workshops mit Branchenexperten
- VDZ-Modell2018, Szenarien und Beispiele für D
- Anlagenoptimierung, Mahlung, Hüttensand
- CO<sub>2</sub>-Abscheidung
- Neue Bindemittel
- Betonherstellung, Recycling



<https://www.vdz-online.de/forschung/aktuelle-projekte/prozesskettenorientierte-ermittlung-der-material-und-energieeffizienzpotentiale-in-der-zementindustrie/>

# Netto Null Treibhausgasemissionen bei der Zementherstellung und -nutzung



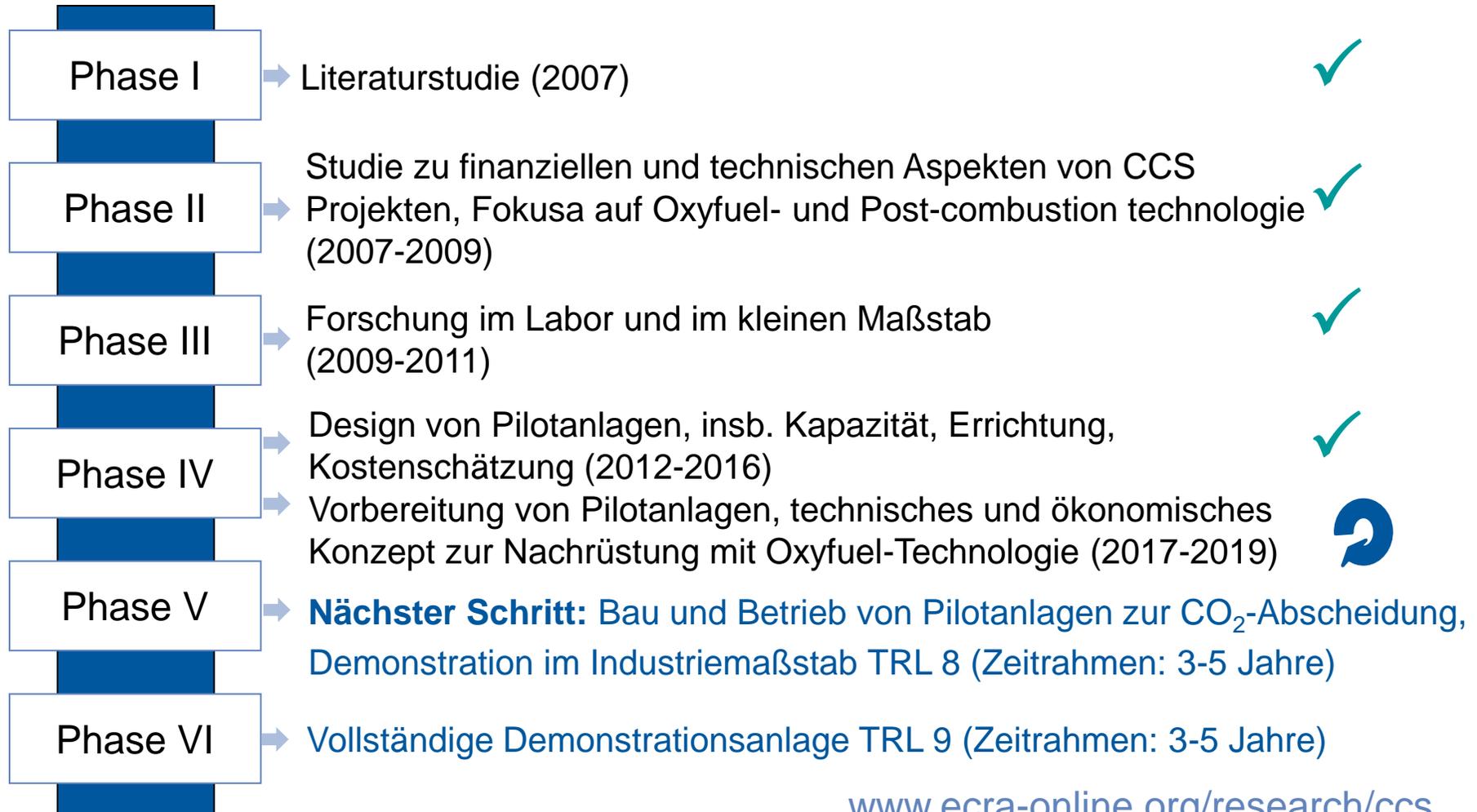
Schematische Abbildung, \* globale CO<sub>2</sub>-Schätzung mit statistischen Unsicherheiten  
 Schneider 2019: The cement industry on the way to a low-carbon future.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105792>

# AGENDA

- 1 Zementherstellung und Prozessemissionen
- 2 CO<sub>2</sub>-Minderung in der Zementindustrie
- 3 Carbon Capture – das ECRA Projekt**
- 4 Perspektiven für CCS und CCU in der Zementindustrie

# European Cement Research Academy: Projekt zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung in der Zementindustrie



[www.ecra-online.org/research/ccs](http://www.ecra-online.org/research/ccs)

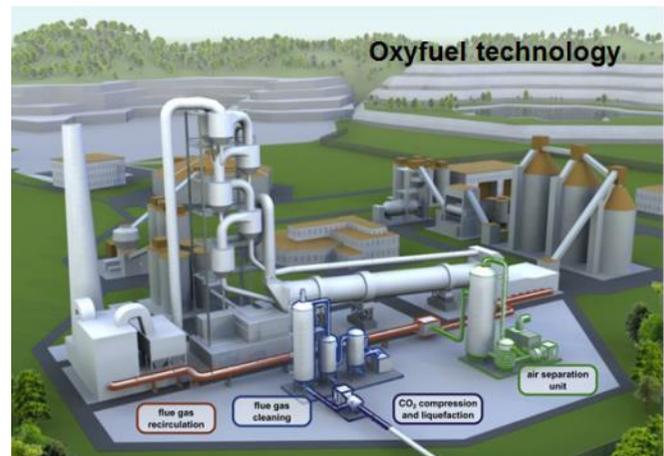
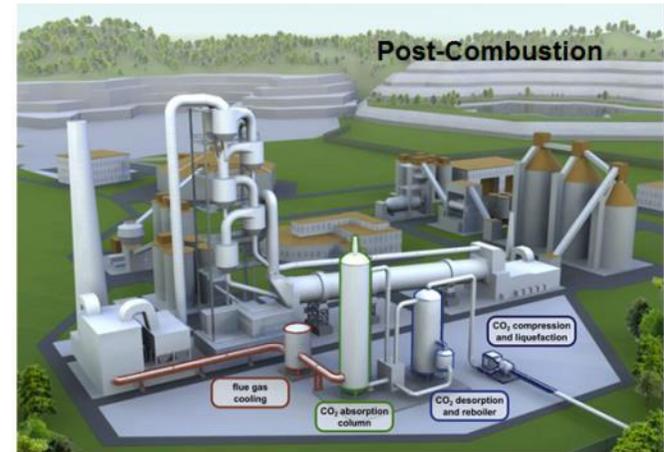
# Technologien zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung in der Zementindustrie

## Post-Combustion-Technologie

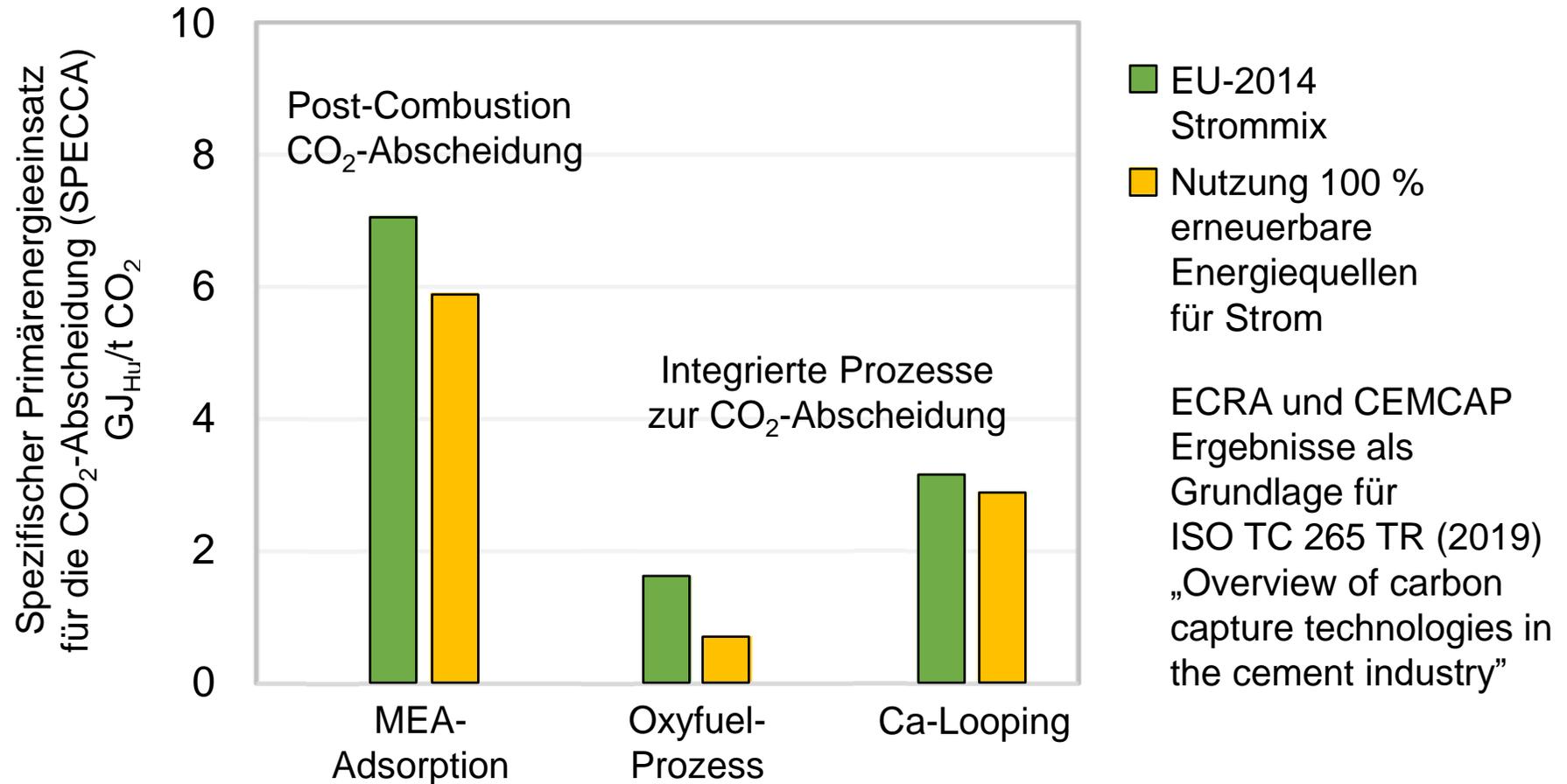
- CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus dem Abgas, z.B. durch chemische Absorption, Adsorption, Ca-looping, Membranen
- Vergleichsweise energieintensive Technologie

## Oxyfuel-Technologie

- Prozessintegrierte Verbrennung mit reinem O<sub>2</sub> ggf. mit Gasrezirkulation ergibt bereits sehr hohe CO<sub>2</sub>-Konzentration bis ca. 80 vol%
- Niedrigster Energiebedarf, elektrische Energie
- Oxyfuel-Prozess erfordert größeren Umbau im Zementwerk



# Energiebedarf zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Zementwerken

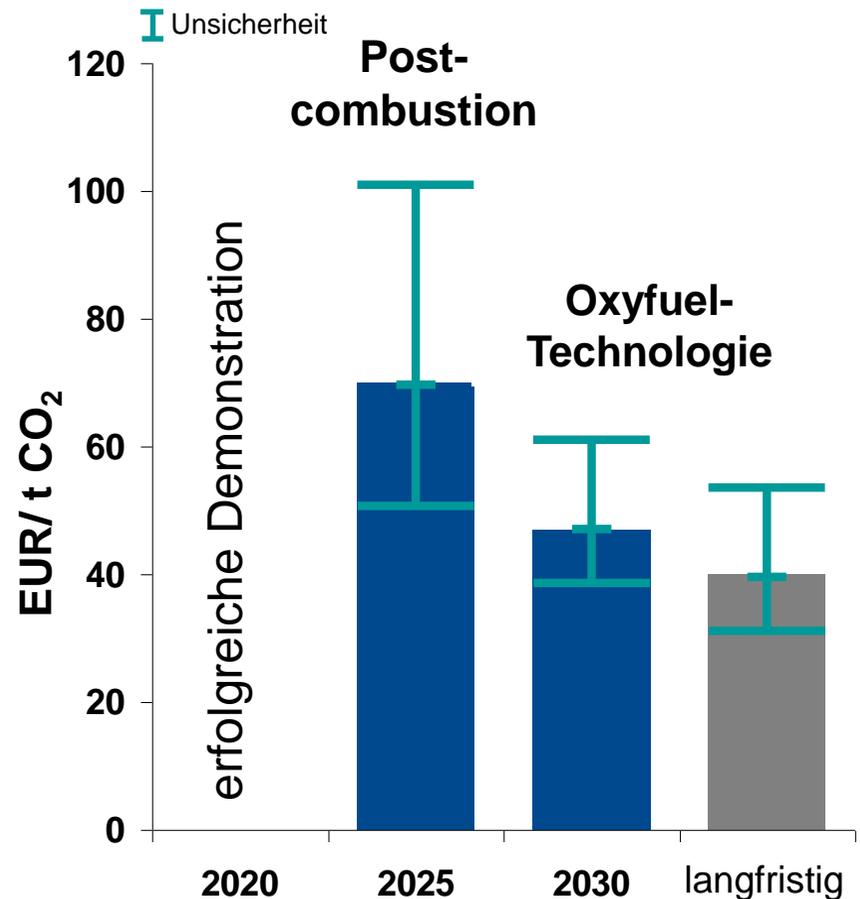


nach M. Voldsund et al.: CEMCAP Techno-Economic and Retrofitability Analysis. In: European Cement Research Academy, ECRA; Research Group CEMCAP; Research Group CLEANKER, Ed. Presentations and Posters of the ECRA/CEMCAP/CLEANKER Workshop 2018 on Carbon Capture Technologies in the Cement Industry (Brussels 17 October 2018). Available at: <https://ecra-online.org/research/ccs/presentations-and-posters/>

# Herausforderung bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung im Zementwerk

## Kosten und Wettbewerbsfähigkeit

- Deutliche Steigerung der Produktionskosten
- Wettbewerbsfähigkeit der Zementherstellung unter den aktuellen ökonomischen und rechtlichen Bedingungen für CO<sub>2</sub>-Abscheidung fehlt
- Demonstration im Industriemaßstab
- Geeignete CO<sub>2</sub>-Infrastruktur für Speicherung und Nutzung



# AGENDA

- 1 Zementherstellung und Prozessemissionen
- 2 CO<sub>2</sub>-Minderung in der Zementindustrie
- 3 Carbon Capture – das ECRA Projekt
- 4 Perspektiven für CCS und CCU in der Zementindustrie

# Speicherung und Nutzung von CO<sub>2</sub> der Zementindustrie

## Geologische Speicherung von CO<sub>2</sub>

- Erforderlich für die CO<sub>2</sub>-Neutralität bei der Zementherstellung und –nutzung
- Rückführung von prozessbedingtem CO<sub>2</sub>:
  - Offshore, z.B. Nordsee, bei passender CO<sub>2</sub>-Infrastruktur
  - Standortnahe Speicher Onshore?
- Potential für negative Emissionsanteile (NET)
  - Bis zu 10 % biogenes CO<sub>2</sub> aus der Nutzung von Biomasse in Abfällen als alternative Brennstoffe (ohne zusätzliche Biomasseproduktion)
  - CO<sub>2</sub>-Aufnahme an Betonoberflächen in der Nutzungsphase



# Speicherung und Nutzung von CO<sub>2</sub> der Zementindustrie

## Geologische Speicherung von CO<sub>2</sub>

- Erforderlich für die CO<sub>2</sub>-Neutralität bei der Zementherstellung und –nutzung
- Rückführung von prozessbedingtem CO<sub>2</sub>:
  - Offshore, z.B. Nordsee  
bei passender CO<sub>2</sub>-Infrastruktur
  - Standortnahe Speicher Onshore?
- Potential für negative Emissionsanteile (NET)
  - Bis zu 10 % biogenes CO<sub>2</sub> aus der Nutzung von Biomasse in Abfällen als alternative Brennstoffe (ohne zusätzliche Biomasseproduktion)
  - CO<sub>2</sub>-Aufnahme an Betonoberflächen in der Nutzungsphase

## Speicherung von CO<sub>2</sub> in Betonen

- CO<sub>2</sub>-Aufnahme an Betonoberflächen kann beim Betonrecycling verstärkt werden
- Nutzung von CO<sub>2</sub> bei der Verarbeitung von Zement zu Beton und Herstellung von Betonfertigteilen



# Speicherung und Nutzung von CO<sub>2</sub> der Zementindustrie

## Geologische Speicherung von CO<sub>2</sub>

- Erforderlich für die CO<sub>2</sub>-Neutralität bei der Zementherstellung und –nutzung
- Rückführung von prozessbedingtem CO<sub>2</sub>:
  - Offshore, z.B. Nordsee  
bei passender CO<sub>2</sub>-Infrastruktur
  - Standortnahe Speicher Onshore?
- Potential für negative Emissionsanteile (NET)
  - Bis zu 10 % biogenes CO<sub>2</sub> aus der Nutzung von Biomasse in Abfällen als alternative Brennstoffe (ohne zusätzliche Biomasseproduktion)
  - CO<sub>2</sub>-Aufnahme an Betonoberflächen in der Nutzungsphase

## Speicherung von CO<sub>2</sub> in Betonen

- CO<sub>2</sub>-Aufnahme an Betonoberflächen kann beim Betonrecycling verstärkt werden
- Nutzung von CO<sub>2</sub> bei der Verarbeitung von Zement zu Beton und Herstellung von Betonfertigteilen

## Kohlenstoff-Nutzung

- Rohstoffbedingtes CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle für Produkte: Grundchemikalien, Methan, Kunststoffe, synthetische Kraftstoffe
- Vernetzung mit anderen Industriebranchen



# Perspektiven für CCS und CCU in der Zementindustrie



ECRA/CEMCAP/CLEANER Workshop in der Vertretung des Landes NRW in Brüssel, 2018

<https://ecra-online.org/research/ccs/presentations-and-posters/>

- 5 Technologien zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung ermöglichen standortspezifische Lösungen
- CO<sub>2</sub>-Abscheidung kann in Zementwerken nachgerüstet werden (Retrofit)
- Energiebedarfe, technische und ökonomische Bewertungen liegen vor:  
Etwa doppelte Produktionskosten für CO<sub>2</sub>-neutralen Zement
- Nachfrage nach CO<sub>2</sub>-neutralem Zement als erweiterter Carbon-Leakage-Schutz schaffen:  
Z.B. durch gezielte Vergaberichtlinien oder Anforderungen bei der Errichtung von Bauwerken
- CO<sub>2</sub>-Neutralität erfordert signifikante CO<sub>2</sub>-Speicherung und Nutzung (CCS + CCU)
- Notwendig sind eine Demonstration im Industriemaßstab und eine geeignete CO<sub>2</sub>-Infrastruktur

Vielen Dank!

Kontakt:

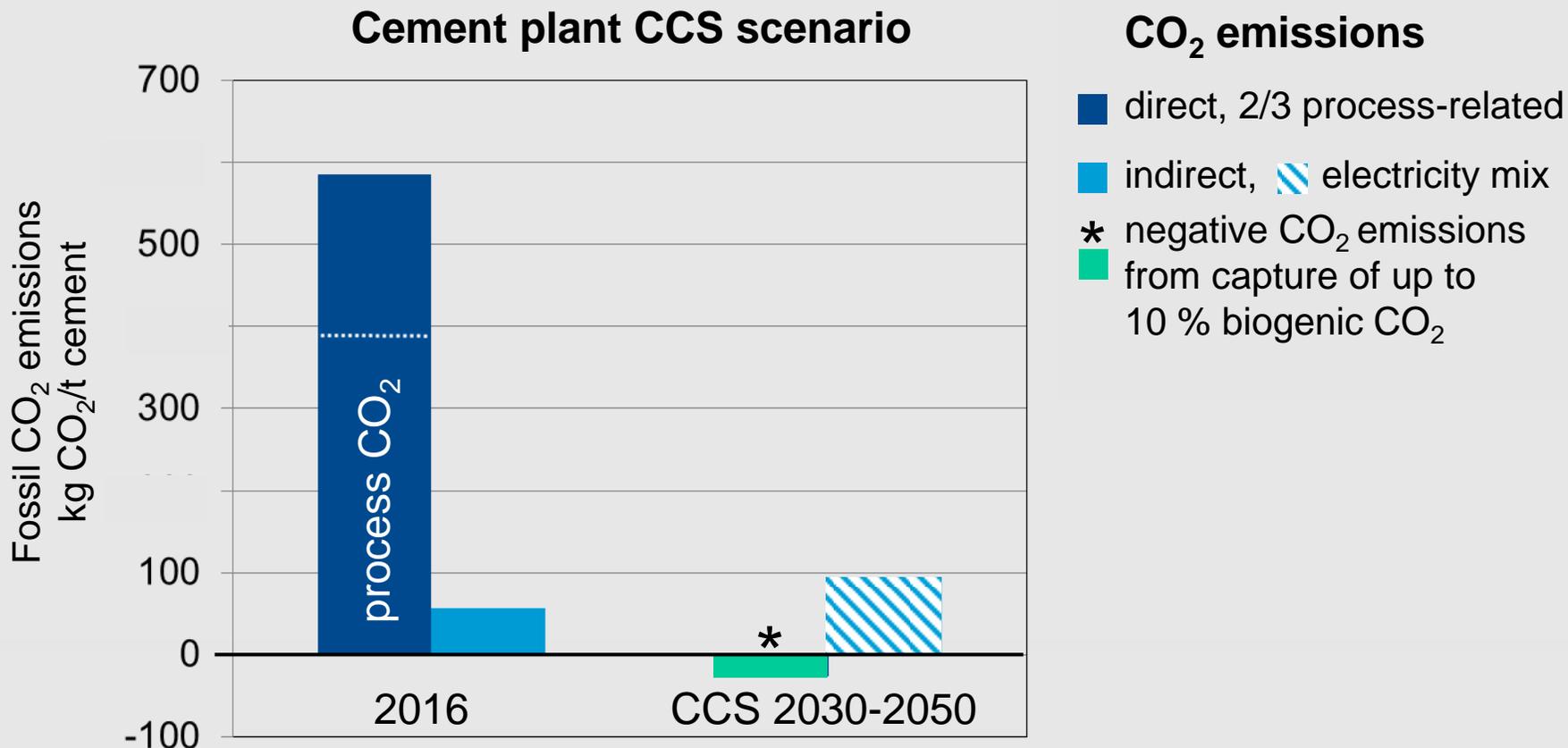
[johannes.ruppert@vdz-online.de](mailto:johannes.ruppert@vdz-online.de)

+49-211-4578-275

VDZ gGmbH, Düsseldorf



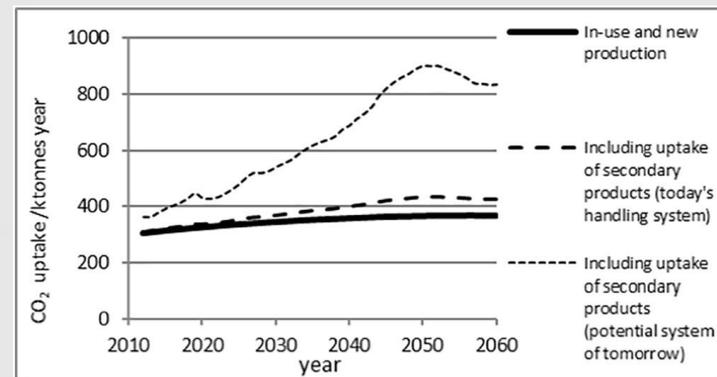
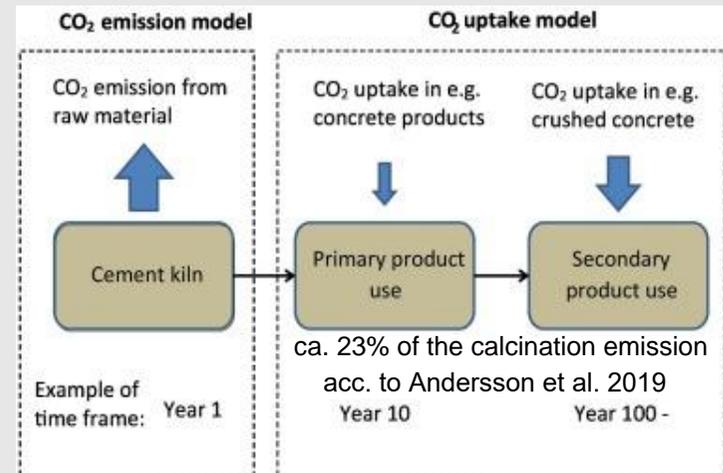
# CCS & use of alternative fuels with waste biomass allow sustainable negative emissions technology (NET)



Ruppert, et al. Assessment of the material and energy efficiency potential in the process chain of the cement industry: Final report (UFOPLAN FKZ 3716 36 320 0). VDZ: Düsseldorf, 2019 (submitted). <https://www.vdz-online.de/forschung/aktuelle-projekte/prozesskettenorientierte-ermittlung-der-material-und-energieeffizienzpotentiale-in-der-zementindustrie/>

# Concrete as a CO<sub>2</sub> sink during its life cycle and after use

- CO<sub>2</sub> uptake in concrete is a relatively slow process over many years
- Primary uptake is due to the hydrated Portland cement
- Also latent hydraulic concrete additions, such as blast-furnace slag and pozzolanic additions such as fly ash
- Potential for increased CO<sub>2</sub> uptake in end-of-life stages by demolishing, crushing, and storage



Andersson et al. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105819>

# CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten in der Zementindustrie

## Konventionelle Technologien

### Thermische Effizienz

- Sehr hoch verglichen mit allen anderen Industrieprozessen / chemisch-mineralogische Grenzen

### Alternative Brennstoffe

- Geringerer Kohlenstoffanteil + hoher Biomasse-Anteil / energetische + stoffliche Verwendung

### Klinkereffiziente Zemente

- Senkung des Klinkeranteils im Zement / begrenzte Verfügbarkeit geeigneter Ersatzmaterialien

### Alternative Rohstoffe

- Einsatz bereits kalzinierter Rohstoffe / sehr begrenzte Verfügbarkeit geeigneter Materialien

### Elektrische Effizienz

- Sehr begrenzte Reduktionspotenziale / Zielkonflikte mit Markt- und Regulierungsanforderungen

## Breakthrough Technologien

### Neue Bindemittel

- Absehbar keine alternativen Zemente, um Portlandzement in größerem Umfang zu ersetzen

### CO<sub>2</sub>-Abscheidung (Carbon-Capture-Technologien)

- Aussichtsreich, aber sehr hohe Kosten / CO<sub>2</sub>-Speicherung bzw. CO<sub>2</sub>-Nutzung bislang ungeklärt
- Oxyfuel ist wirtschaftlichste Carbon-Capture-Technologie für Zementherstellung (derzeit TRL 6)
- Demonstrationsprojekt (TRL 7/8) erfordert umfangreiche Mittel für Investition und Betrieb

# Building carbon neutrality in Europe



18.10.2018

<https://lowcarboneyconomy.cembureau.eu/>

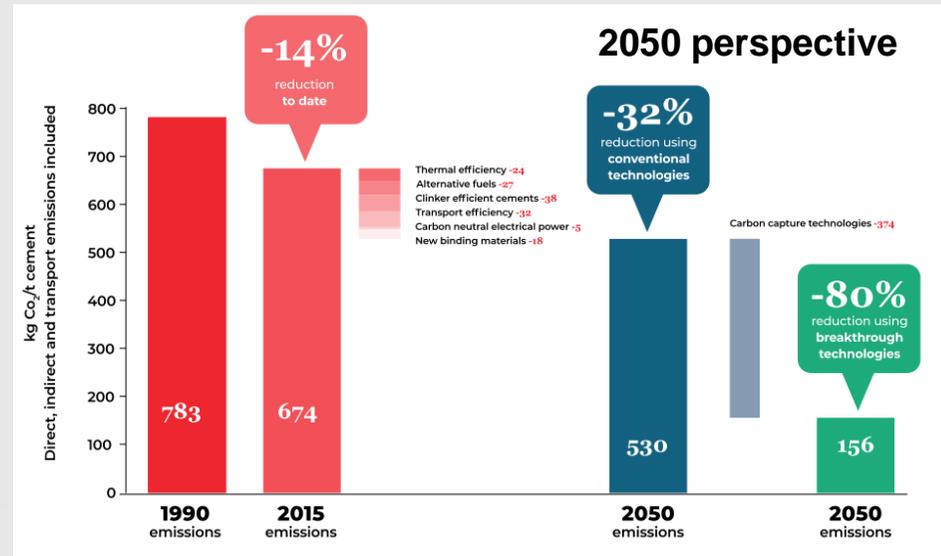
#madewithcement

## Building carbon neutrality in Europe

Engaging for concrete solutions



- Secure a level playing field with other regions and across industrial sectors;
- Based on lifecycle performance; material neutral
- Integrate both the supply and demand sides;



- Supports the development of breakthrough technologies and solutions, including through large-scale technology demonstration.