

**Universität Stuttgart**  
Institut für Energieeffizienz  
in der Produktion EEP

# Energieflexibler Betrieb von Carbon-Capture- Anlagen in der Zementindustrie

**Yvonne  
Eboumbou  
Ebongue**

26.03.2024

EnInnov 2024  
Graz

**Energieflexibler Betrieb von Carbon-Capture-Anlagen in der  
Zementindustrie**

 **Fraunhofer**  
IPA

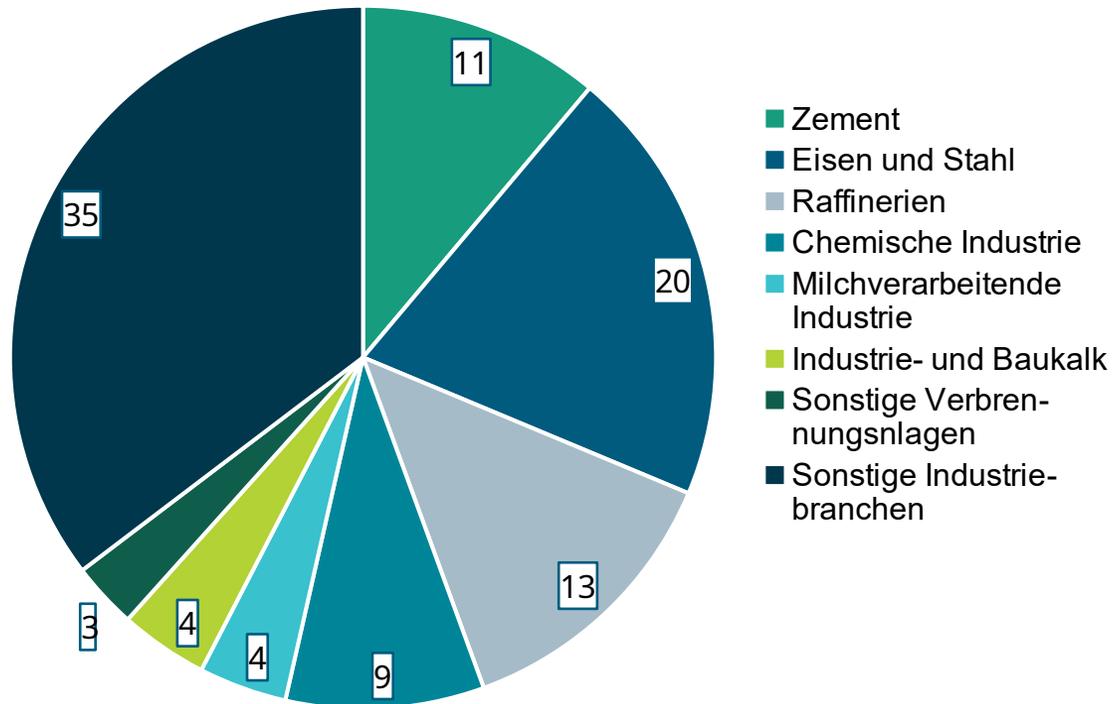


**Universität Stuttgart**  
Institut für Energieeffizienz  
in der Produktion EEP

# Motivation zur Dekarbonisierung der Zementindustrie

## Die Zementindustrie trägt zu 7,4 % der globalen CO2-Emissionen bei

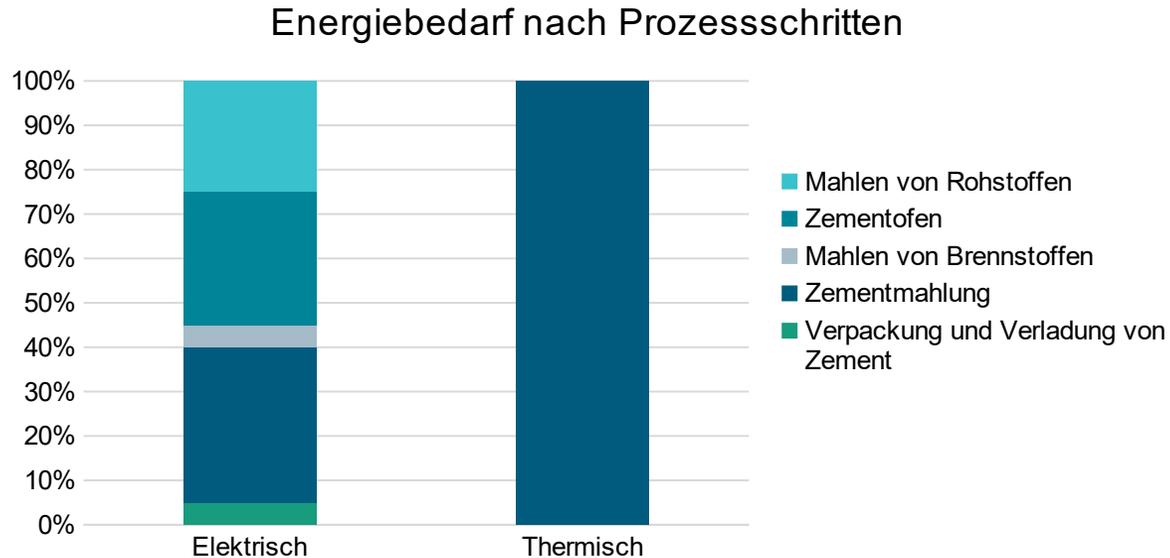
Prozentuale Aufteilung der deutschen Industrieemissionen in Prozent



- Die Zementindustrie trägt zu 7,4 % der globalen CO2-Emissionen bei
- Aktuelle Globale Zementproduktion: 4 100 Millionen Tonnen pro Jahr
- 2060: 4 600 Millionen Tonnen pro Jahr aufgrund zunehmender Urbanisierung
- 65 % prozessbedingte und 35 % energiebedingte Emissionen

# Energiebedarf der Zementindustrie

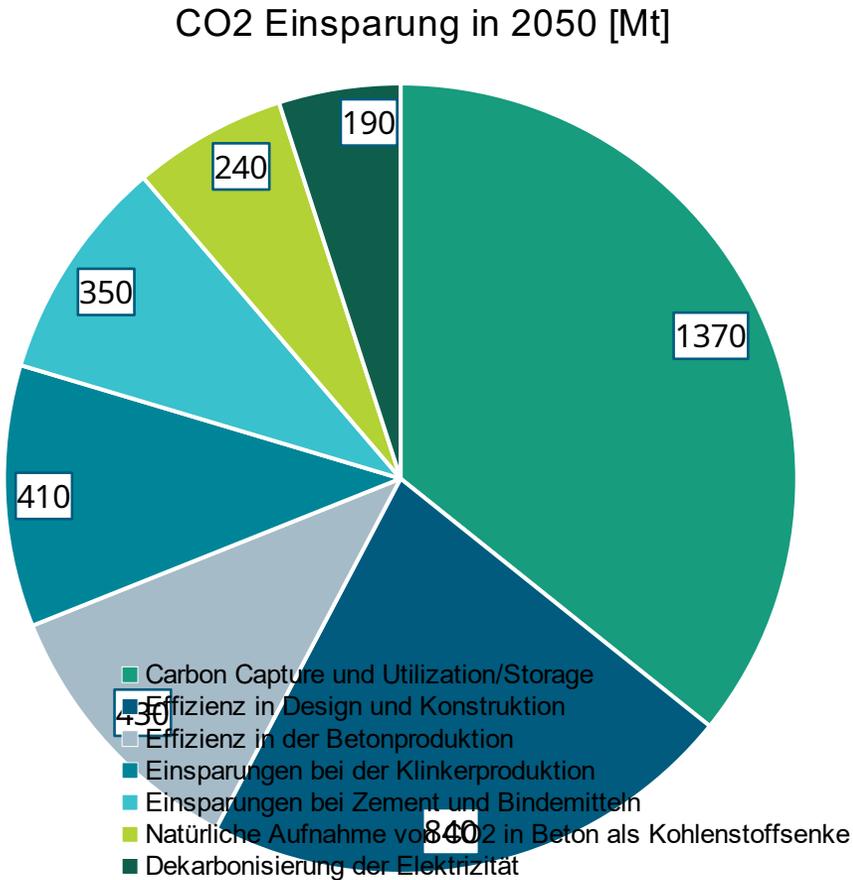
## Überwiegend thermische Energie wird zur Zementherstellung benötigt



- Zementherstellung besteht aus den Prozessschritten Rohmahlung, Klinkerherstellung und Zementproduktion
- Thermische Energie überwiegend für die Zementmahlung und den Klinkerbrennprozess benötigt
  - → 87 % des gesamten Energiebedarf
- Elektrische Energie wird überwiegend für die Zementmahlung benötigt

# Dekarbonisierung der Zementindustrie

Handlungsempfehlung des Net-Zero-Szenario mit dem Zielwert von 450 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne Zement



## Dekarbonisierung der energiebedingten Emissionen:

- Integration Erneuerbarer Energien zu Reduzierung der gesamten Emissionen
- Optimierung der Wärmerückgewinnung für Materialerwärmung
- Einsatz moderner Technologien für optimierte Energieflüsse
- Feinabstimmung der Betriebsbedingungen zur Eliminierung von Energieverlusten

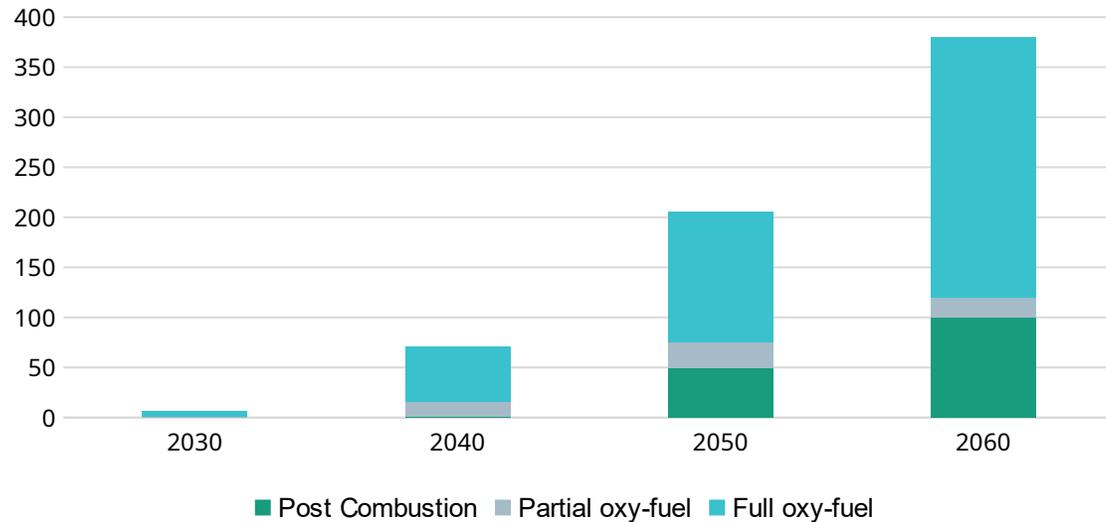
## Dekarbonisierung der prozessbedingten Emissionen:

- Substitution von Klinker durch Mischzemente
- Einsatz von alternativen Brennstoffen und Rohstoffen
- Nutzung von Abfallbrennstoffen und fortschrittlichen Verbrennungssteuerungssystemen
- Optimierung von Betonrezepturen zur Reduzierung des Zementgehalts

# Dekarbonisierung der Zementindustrie

## Dekarbonisierung von energie- und prozessbedingten Emissionen via Carbon Capture

Abgetrennte Mt CO<sub>2</sub>/Jahr



### Post-Combustion-Capture-Technologien:

- Können an Quellenpunkten wie den Klinkeröfen installiert werden, um CO<sub>2</sub> aus den Abgasen zu separieren

Drei Hauptbereiche des CCUS-Ansatzes:

- **Capture (Abtrennung):** CO<sub>2</sub> wird aus industriellen Abgasen oder Emissionen entfernt, bevor es in die Atmosphäre gelangt.
- **Utilization (Nutzung):** Das abgetrennte CO<sub>2</sub> kann in der Nutzungsphase für verschiedene Zwecke verwendet werden
- **Storage (Speicherung):** Ist eine direkte Nutzung nicht möglich, wird das abgetrennte CO<sub>2</sub> sicher gelagert, um es langfristig aus der Atmosphäre zu entfernen.
- Bei der Abtrennung kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz, darunter physikalische, chemische oder biologische Ansätze

# Dekarbonisierung der Zementindustrie

## Energieflexibler Betrieb von Carbon-Capture-Anlagen

---

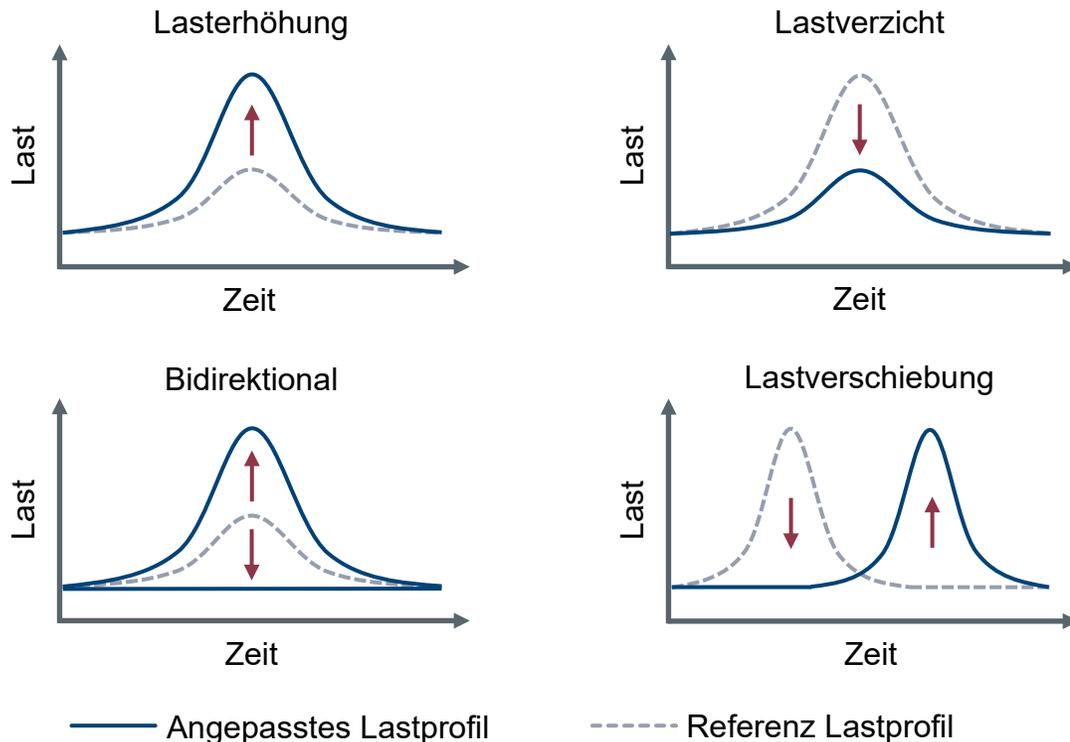


Wie kann Dekarbonisierung der Zementindustrie via  
Carbon-Capture-Anlagen von Energieflexibilität profitieren?

# Energieflexibilität nach VDI-Richtlinie 5207

## Die Fähigkeit eines Produktionssystems, an Änderungen des Energiemarkts anzupassen

### Arten der Energieflexibilitätsmaßnahmen



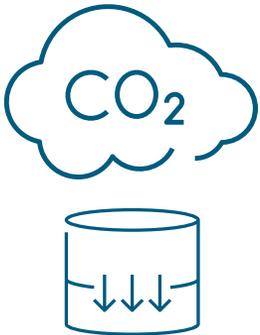
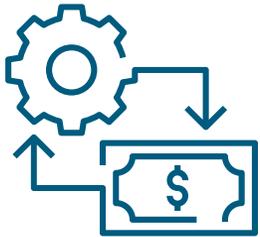
Energieflexibilität ergänzt Energieeffizienz, indem sie Unternehmen neue Möglichkeiten bietet, ihren Energieverbrauch zu optimieren.

- **Energieflexibilität:** Die Fähigkeit eines Produktionssystems, sich schnell und prozesseffizient an Änderungen des Energiemarkts anzupassen. (VDI-Richtlinie 5207)
- **Energieflexibilitätsmaßnahme:** konkrete und bewusste Eingriffe in industrielle Prozesse, die zu einer Veränderung des Verbrauchs am Netzanschlusspunkt führen
- Ziele der Energieflexibilität sind die Senkung der Energiekosten sowie die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen

# Energieflexibilitätsmaßnahmen in der Zementindustrie

## Energieflexible Integration von CCUS in die Zementindustrie

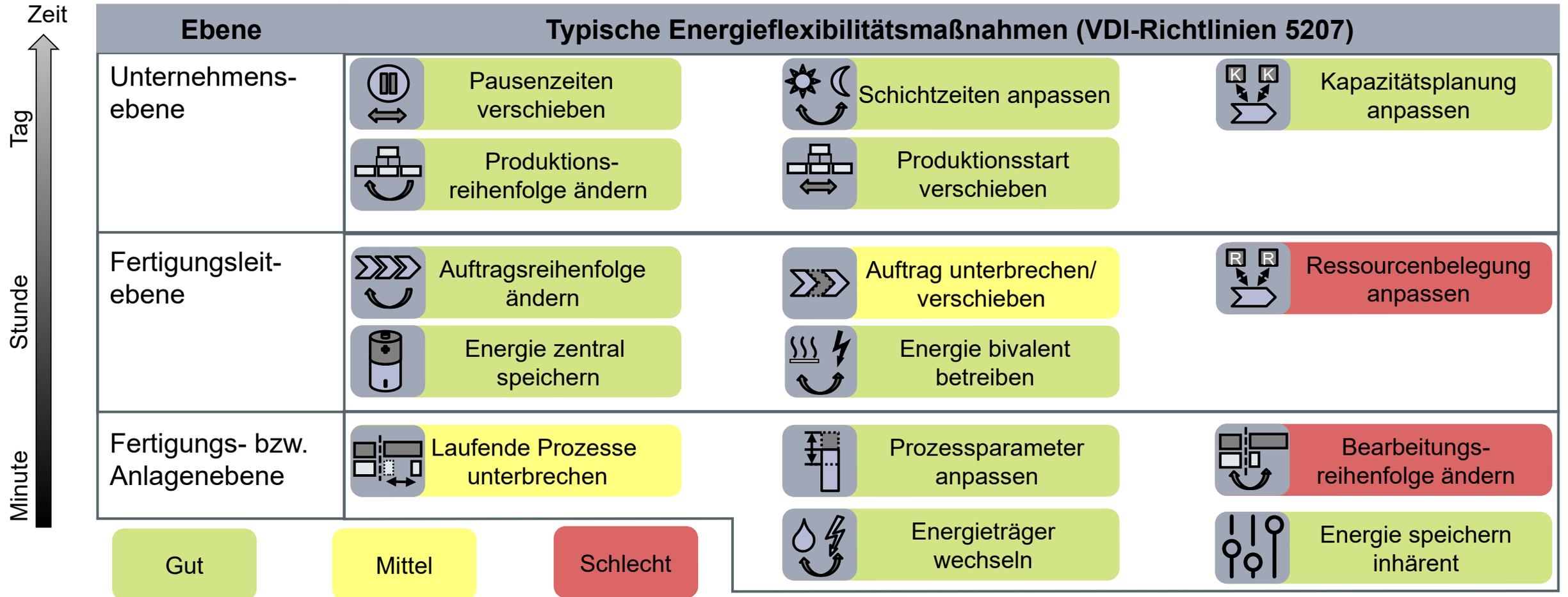
---



- Die Analyse der EFM bietet eine Perspektive für die Integration von CC-Anlagen als flexible Verbraucher in der Zementindustrie
- Zur Identifikation der energieflexiblen Integration von CC-Anlagen in die Zementindustrie werden die EFM hinsichtlich ihrer technischen Anwendbarkeit und hinsichtlich ihres wirtschaftlichen Nutzens innerhalb der Produktion bewertet
- Möglichkeiten zur **Anpassung an dynamische Energiebedingungen**, zur **Senkung der Betriebskosten** und zur **Verbesserung der Effizienz**

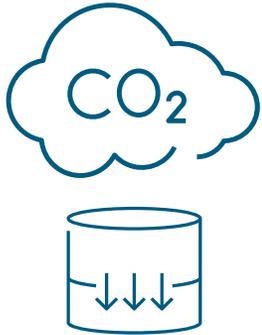
# Energieflexibilitätsmaßnahmen in der Zementindustrie

## Qualitative Bewertung



# Energieflexibilitätsmaßnahmen in der Zementindustrie

## Quantitative Bewertung



- Lastflexibilisierungspotenzial in der Zementindustrie:
  - Sauer et al. identifizierten 10% Lastflexibilisierungspotenzial pro Jahr in einem deutschen Zementwerk
  - Unter der Annahme eines zeitgleichen Betriebs von CC-Anlage und Mühlenwerk kann 87,7 kWh Energie pro Tonne Zement flexibilisiert werden
- Net-Zero-Szenario:
  - CC-Anlagen benötigen zur Abtrennung von einer Tonne CO<sub>2</sub> zwischen 130 - 400 kWh elektrischer Energie
  - Für das Net-Zero-Szenario müssen 180 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne Zement abgetrennt werden, was 23 - 72 kWh elektrische Energie erfordert
  - Durch Nutzung der flexibilisierten Energie können zwischen 216 und 684 kg CO<sub>2</sub> abgetrennt werden

→ **Net-Zero-Szenario kann erreicht werden**
- Deutschlandweites Potenzial:
  - 33 Millionen Tonnen Zement pro Jahr → 2,89 TWh elektrische Energie können flexibilisiert werden
  - Insgesamt können zwischen 7,1 und 22,6 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> abgetrennt werden

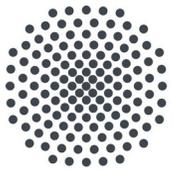
# Schlussfolgerung und Ausblick

## Wie kann Dekarbonisierung der Zementindustrie via CC-Anlagen von Energieflexibilität profitieren?

- Integration von CC-Anlagen als flexible Verbraucher für die nachhaltige Gestaltung des Energiesystems in der Zementindustrie
- CC-Technologien benötigen erhebliche Energiemengen:
  - In Zeiten niedriger Energiekosten oder hoher Verfügbarkeit erneuerbarer Energien kann die CO<sub>2</sub>-Abtrennungskapazität erhöht werden
  - In Zeiten hoher Energiekosten oder geringer Verfügbarkeit erneuerbarer Energien können Kapazitäten reduziert oder vorübergehend ausgesetzt werden
- Die Zementindustrie leistet nicht nur einen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion, sondern trägt auch zur Stabilisierung und Nachhaltigkeit des Gesamtnetzes bei

Zukunfts-  
perspektive

**CC-Anlagen als flexible Akteure in einem integrierten Energiesystem, die sich an ständig ändernde Bedingungen anpassen und zur CO<sub>2</sub>-Reduktion beitragen können.**



**Universität Stuttgart**

Institut für Energieeffizienz  
in der Produktion EEP

**Vielen Dank!**



**M.Sc.**

**Yvonne Eboumbou Ebongue**

*Wissenschaftliche Mitarbeiterin – Sektorenkoppelnde Energiesysteme*

E-Mail

yvonne.eboumbou-ebongue@eep.uni-stuttgart.de

Telefon

+49 (0) 711 970 - 3514

 [www.eep.uni-stuttgart.de](http://www.eep.uni-stuttgart.de)

 [www.ipa.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/effizienzsysteme.html](http://www.ipa.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/effizienzsysteme.html)

