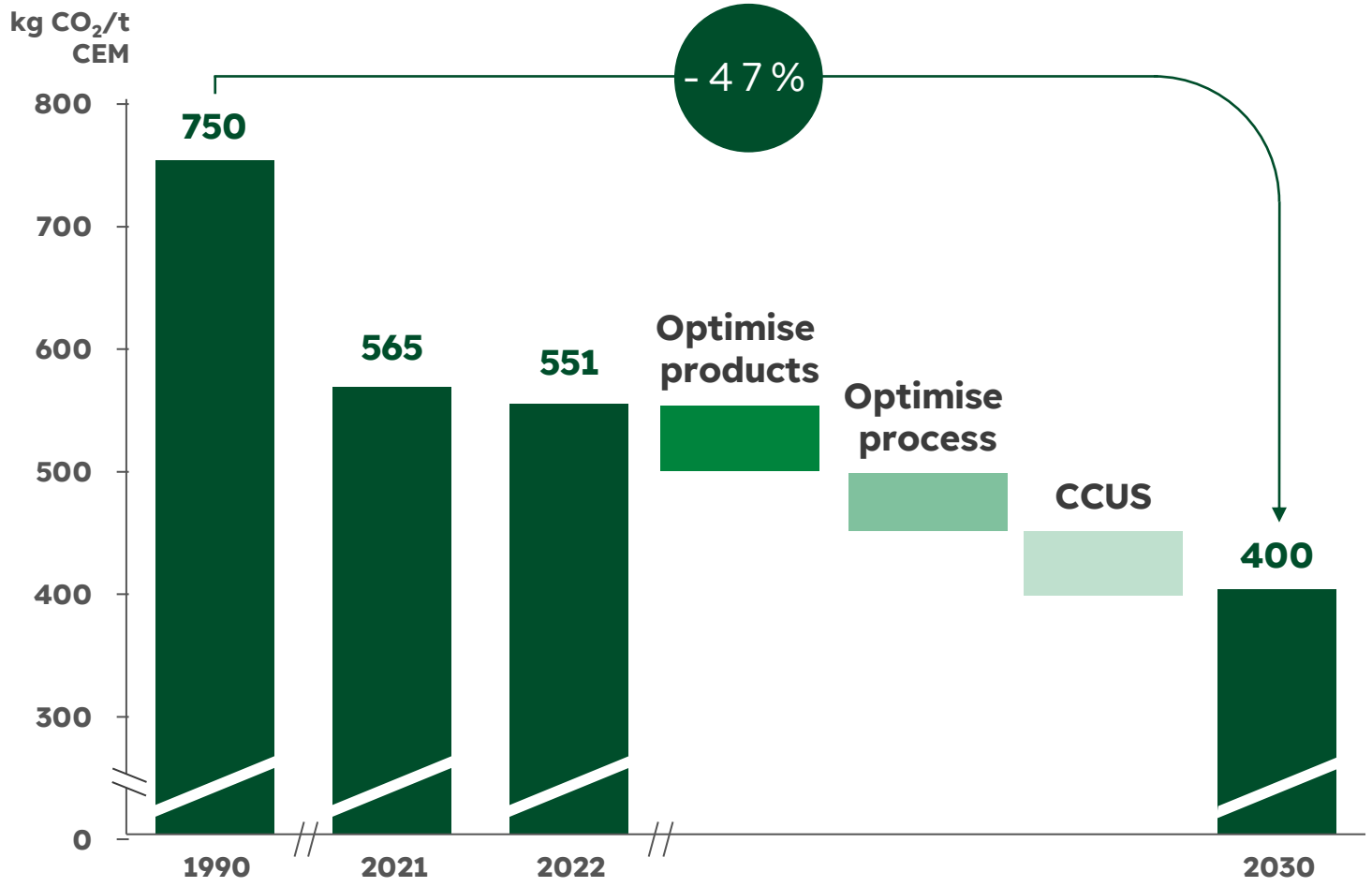
K⁴ - Kohlendioxidreduktion durch kalkarme Klinker und Karbonatisierungshärtung

KlimPro-Abschlusskonferenz | Sophia Villmow | 24.02.2026

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
DLR
Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Ziel 2030: Fast 50 % weniger CO_2-Emissionen im Vergleich zu 1990



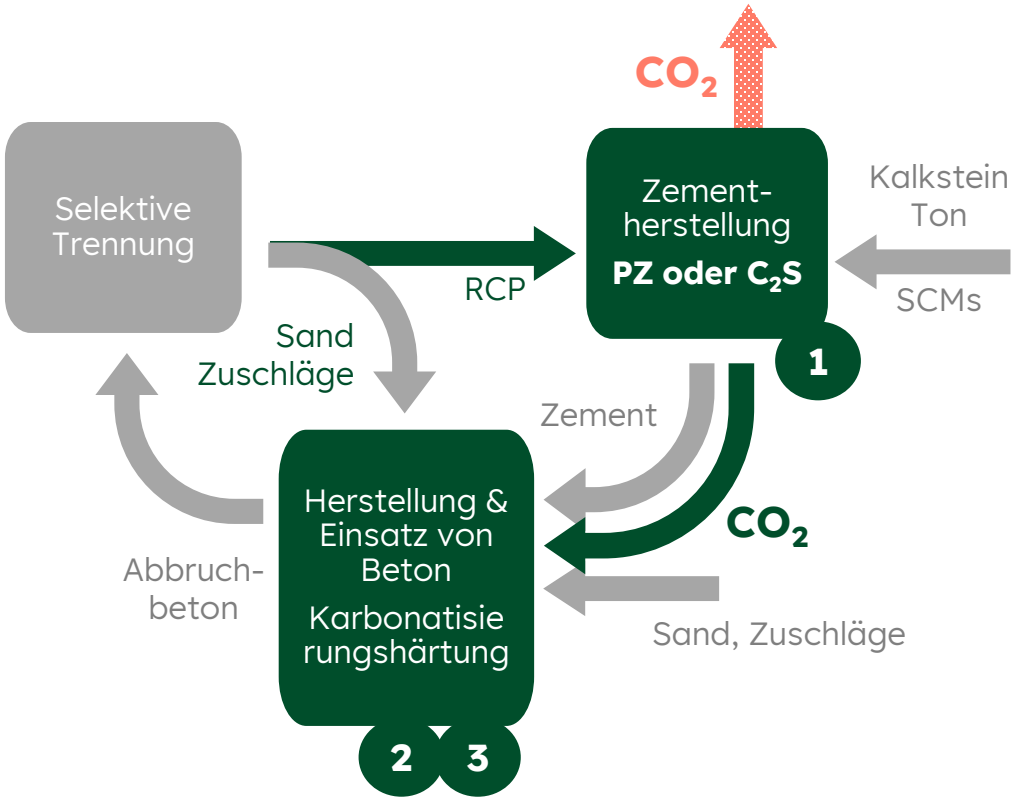
Carbon Capture Utilization and Storage

CO_2-Mineralisierung als CCUS-Methode

$$CaO + CO_2 \rightarrow CaCO_3$$

Karbonatisierungshärtung = Gefügeverfestigung durch CO_2-Mineralisierung

Konzept der Karbonatisierungshärtung bei Portland- und Belit-Zement



1 **Portland- und belitischer Zement**
auf Basis von recycelter Betonfeinfraktion (RCP)

2 **Verständnis der Karbonatisierungsreaktion**
Gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen gezielte Prozessoptimierung

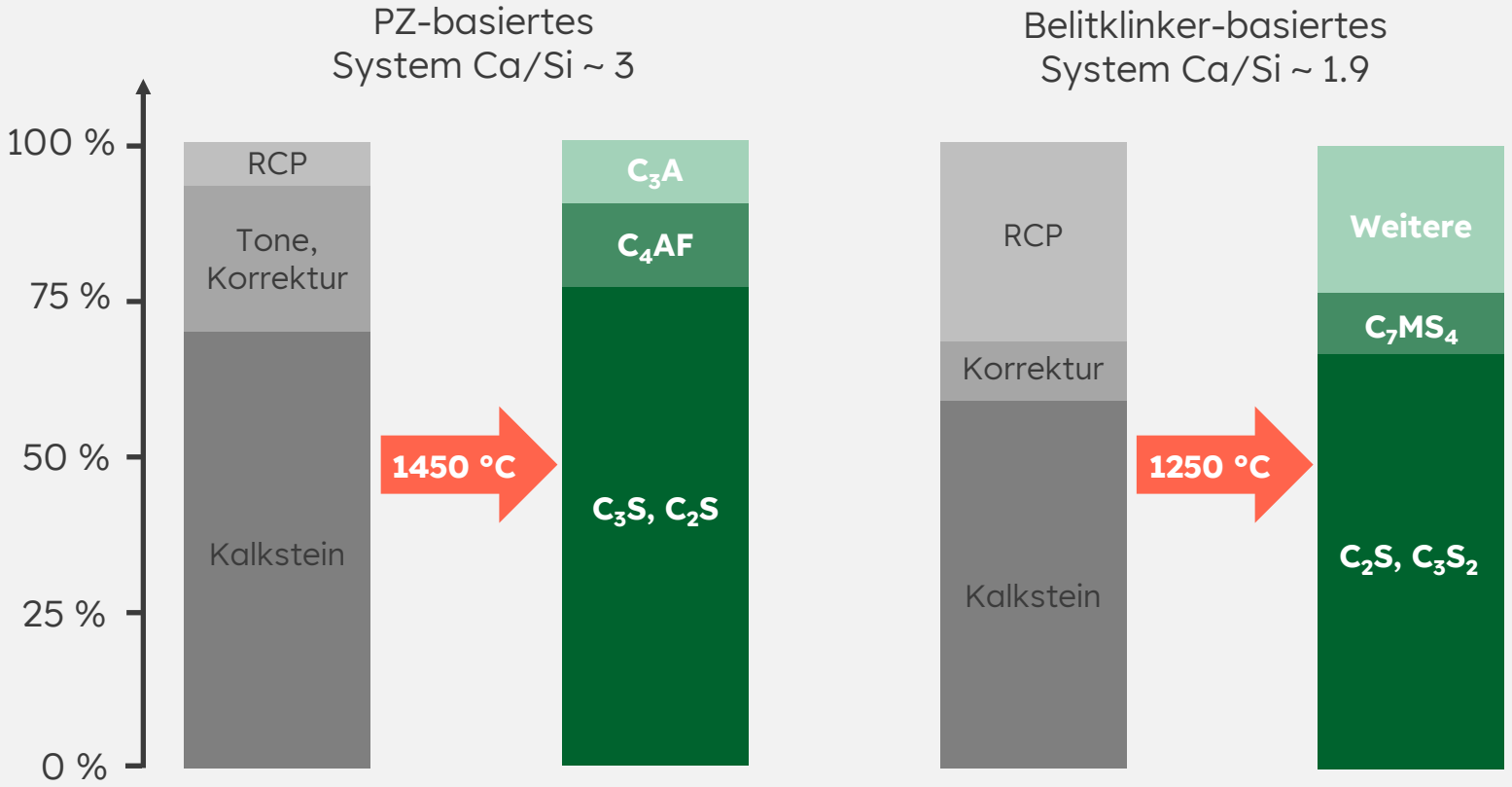
3 **Industrielle Anwendung**
Entwicklung der Betontechnologie und einer optimierten Karbonatisierungskammer

1

Zementproduktion

Die Produktion belitischer Zementklinker aus RCP kann mit der etablierten PZ-Technologie durchgeführt werden

Zusammensetzung der Ausgangsstoffe und resultierenden Zemente

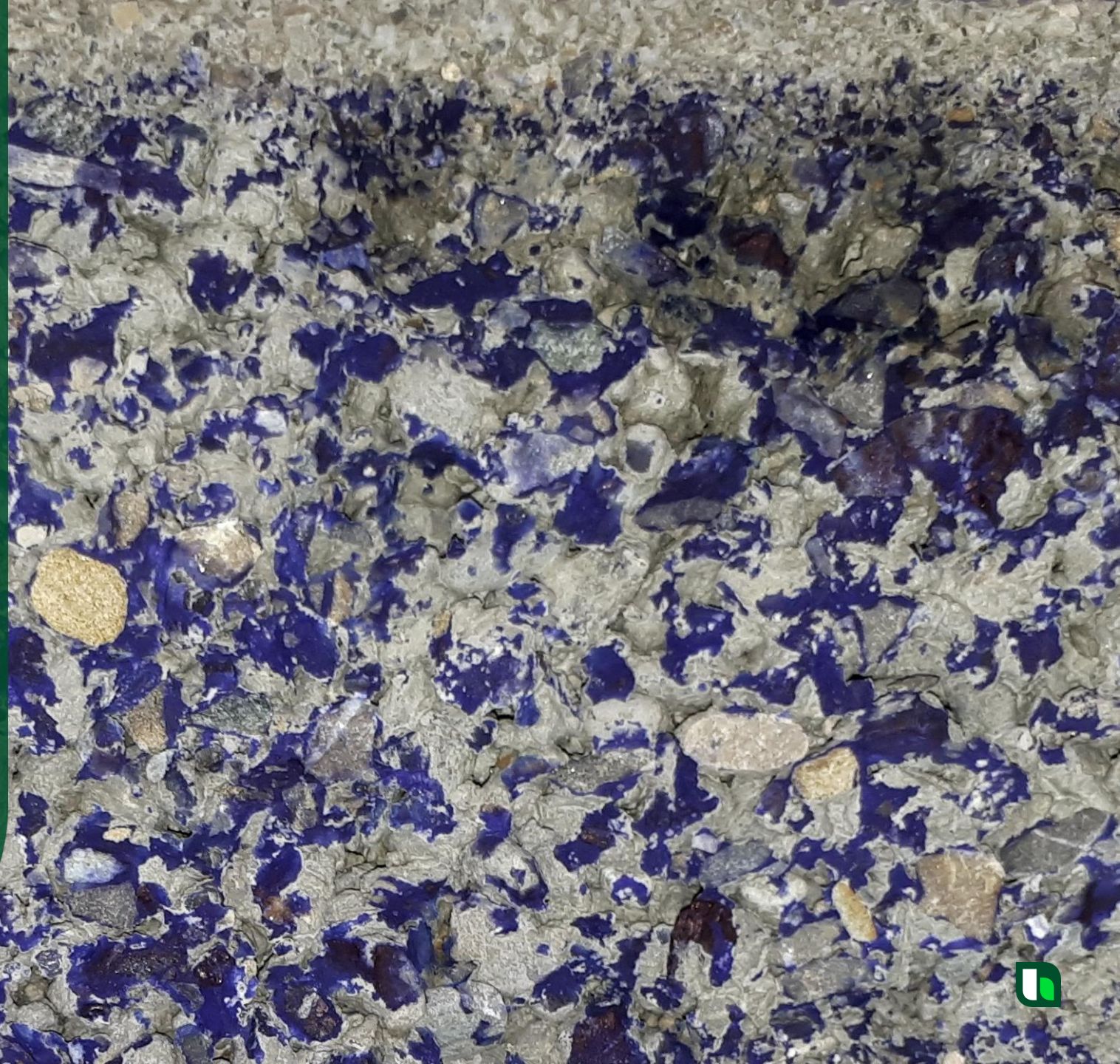


Weitere sind C_3A, C_4AF, Ye'elimit, Melilith, Merwinit, CaO, MgO…

2

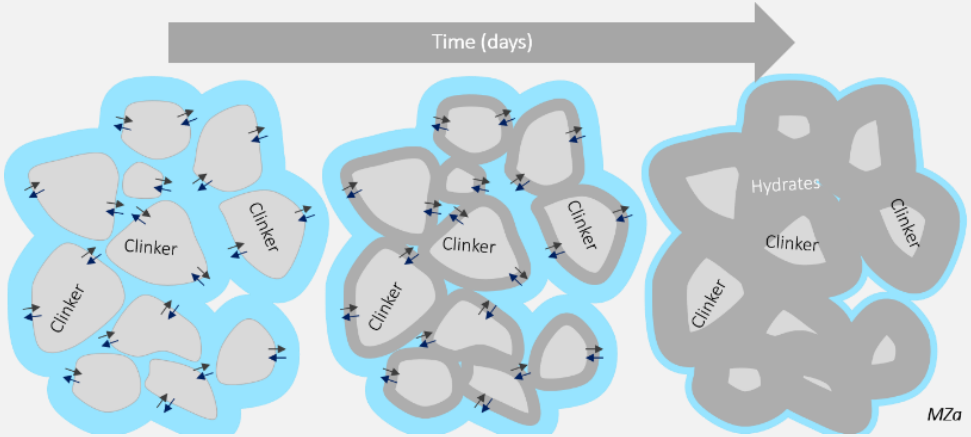
Reaktionsmechanismen

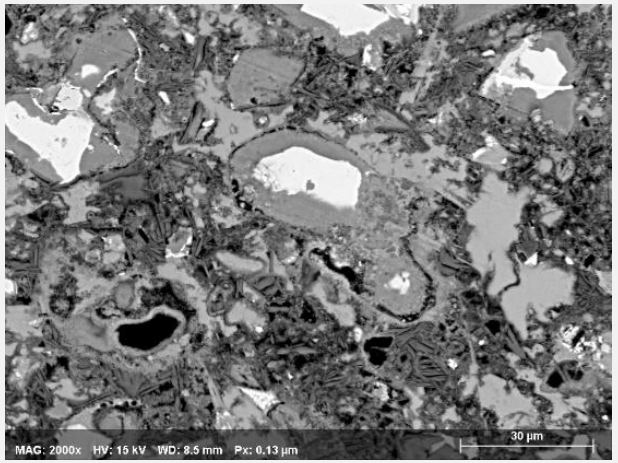
Die Reaktionen werden – abhängig von den Ausgangsmaterialien und den Prozessbedingungen – durch Karbonatisierung oder Hydratation dominiert



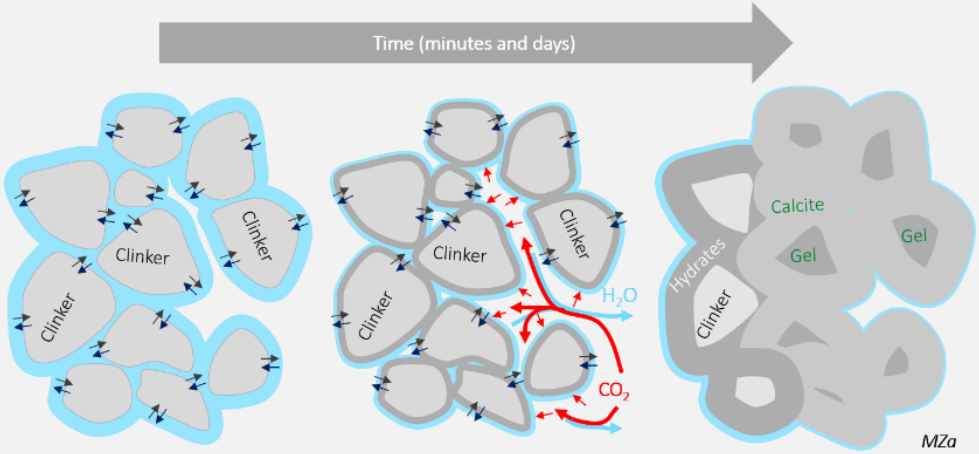
Karbonisierungshärtung vs. traditionelle Hydratationshärtung

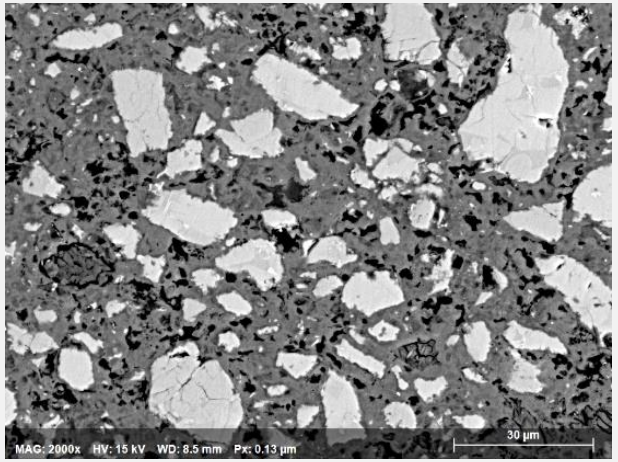
Hydraulische Bindemittel härten aus, indem sie Wasser chemisch binden und dabei feste Hydratphasen bilden.





Die Karbonatisierungshärtung umfasst die dauerhafte Bindung von CO_2 in feste, karbonatische Reaktionsprodukte





3

Untersuchungen am Beton

Laboruntersuchungen sowie industrielle Tests am Beton zeigen eine hohe Leistungsentwicklung

Karbonatisierungshärtung und Betontechnologie

Traditionelle Betontechnologie ist anwendbar – jedoch mit notwendigen Anpassungen:

Betonmischung
- Niedrigerer w/z im Vergleich zu Standardbetonen
- Veränderte Sieblinie (< Feinanteil)

Formgebung und Vorlagerung
- Grünstandfestigkeit (Druck-Vibrationsmaschine)
- Vorhydratation und Trocknung des Betons

Karbonatisierung
- Karbonatisierungshärtung
- Entwicklung der mechanischen Leistungsfähigkeit

Nachbehandlung
- Weitere Hydratationsreaktionen möglich
- Ausbildung der finalen mechanischen Leistungs-fähigkeit und Dauerhaftigkeit

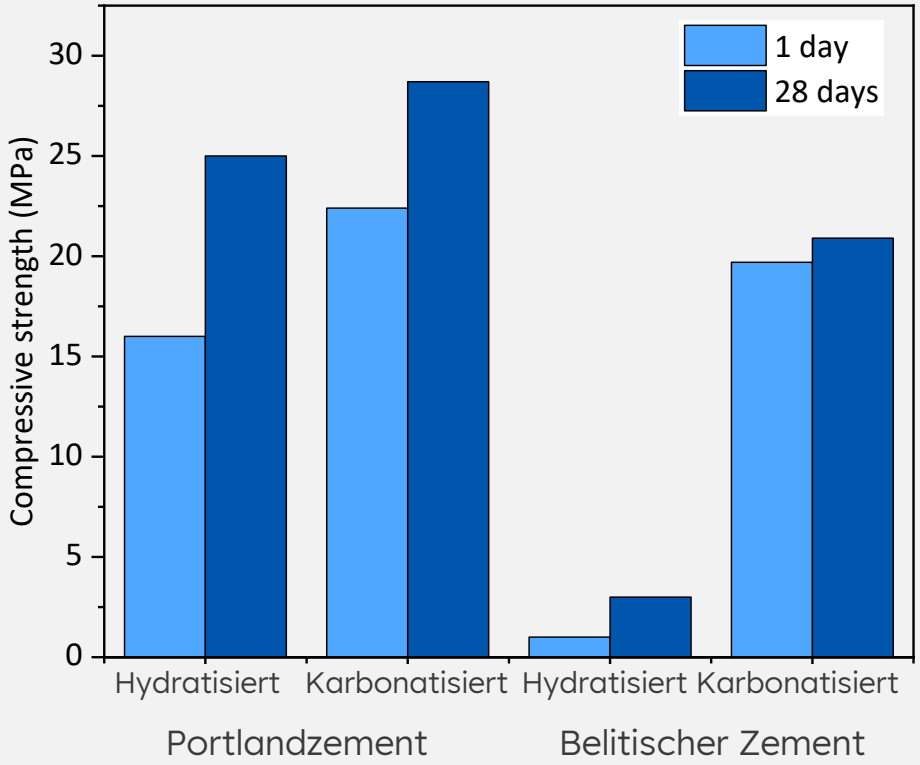
Laborprüfungen auf Betonebene bestätigen eine gute Performance

Optimierte Betontechnologie ermöglicht eine vollständige CO_2-Durchdringung der Probekörper

Hydratisierter Portland-zement @ 1 Tag

Karbonatisierter Portlandzement @ 1 Tag

20°C, 50% rF und 50% CO_2



Karbonatisierungshärtung von industriell hergestellten Betonsteinen.

Die Versuche wurden in Zusammenarbeit mit den Unternehmen Lithon+ und Kraft Curing in Deutschland durchgeführt.

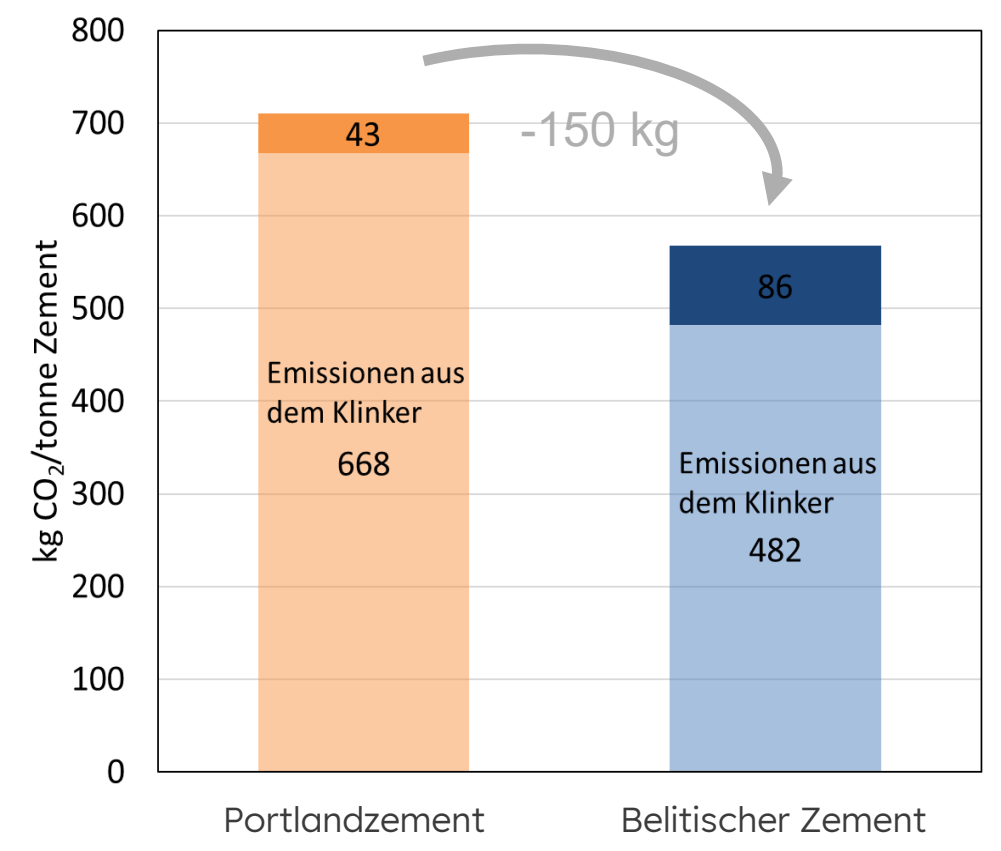
Praxistests zur Karbonatisierungshärtung im Betonwerk

4

Lebenszyklusanalyse

Durchführung der LCA auf Material- und Produktebene

Lebenszyklusanalyse auf Materialebene



- Transportwege und Verarbeitung der Rohstoffe sind in den Emissionsdaten enthalten
- Belitischer Zement reduziert die Gesamt-emissionen signifikant gegenüber Portlandzement

  ca. 20% CO_2-Einsparung

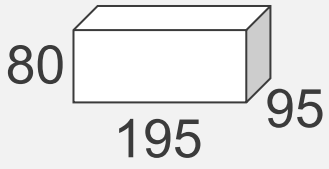
Daten und Berechnungen bereitgestellt durch die TU München.

Lebenszyklusanalyse auf Material- und Produktebene

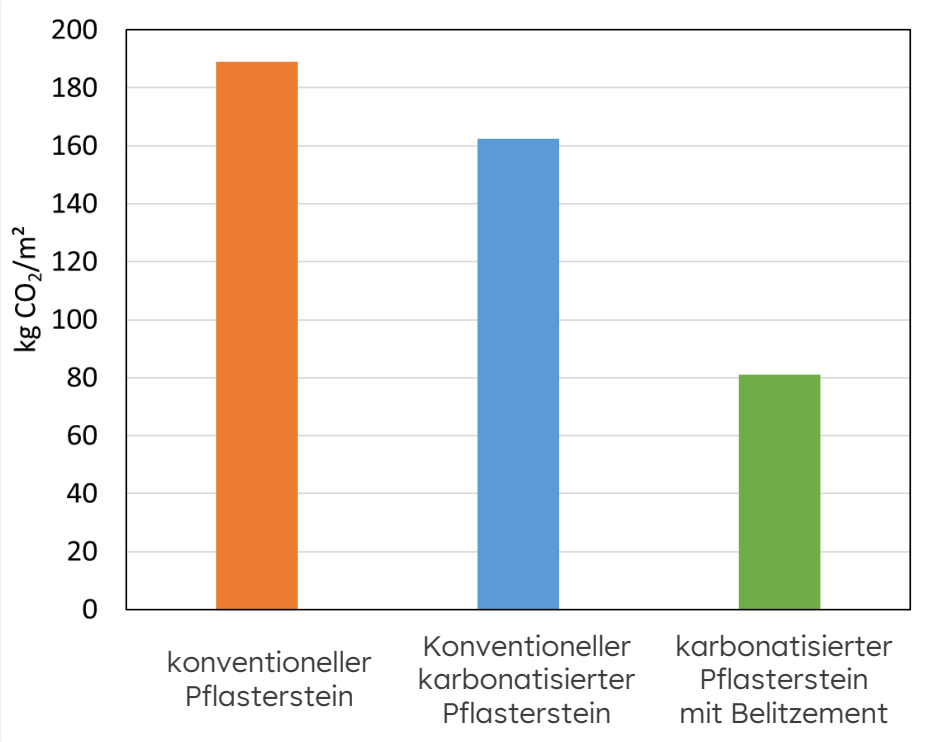
- Zementgehalt Pflasterstein 230 kg/m³
- Flächengewicht: 184 kg/m²
- DOC (Pflasterstein 1m²)

  PZ = 20%

  Belitzement = 38%



Pflasterstein Typ	Material- & Energiedaten Pflasterstein [kg/m²]	CO_2 Aufnahme Karbonatisierung [kg/m²]
Konventionell	188,9	-
Konventionell karbonatisiert	188,9	-26
Karbonatisiert mit Belitzement	129,6	-49



Daten und Berechnungen bereitgestellt durch die TU München.

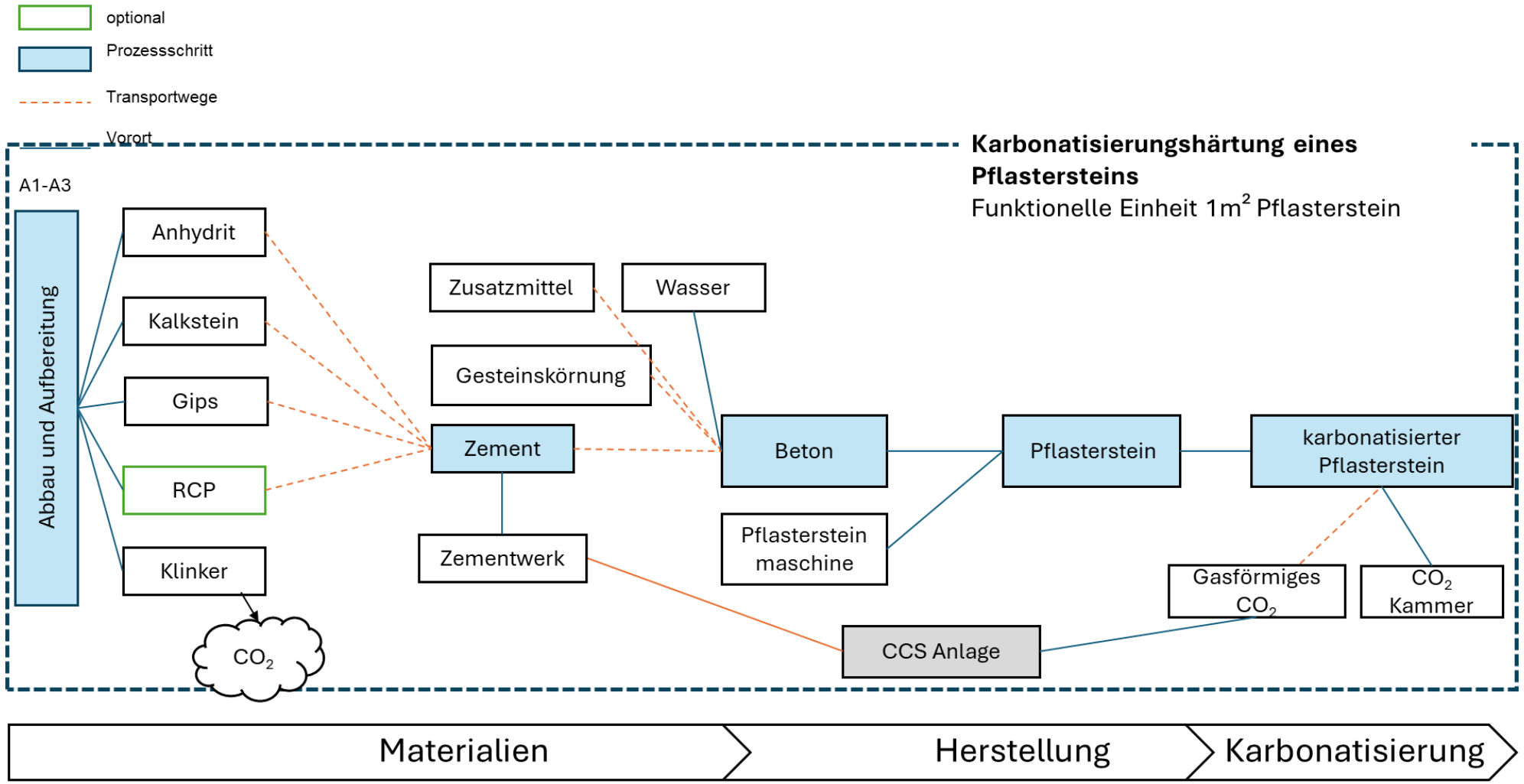
Technical University of Munich

Abschließende Bewertung

- Die Karbonatisierungshärtung bindet CO_2 dauerhaft in stabilen Karbonaten und beschleunigt die Entwicklung der mechanischen Festigkeit.
- Kalkarmer Klinker kann aus RCP hergestellt werden
- Das Eindringen von CO_2 in den Betonkörper kann sowohl durch betontechnologische Maßnahmen als auch durch einen optimierten, mehrstufigen Karbonatisierungshärtungsprozess gesteuert werden.
- Die Technologie ist bereit für den industriellen Einsatz; die Dauerhaftigkeitseigenschaften müssen noch umfassend nachgewiesen werden.
- LCA zeigt eine signifikante CO_2-Reduzierung und Aufnahme auf Material- und Produktebene

Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

Vielen Dank.

Anhang – Untersuchungsrahmen (LCA)