



Neue Bindemittel – Wegbereiter für nachhaltiges Bauen mit Beton

Prof. Dr.-Ing Thomas Matschei

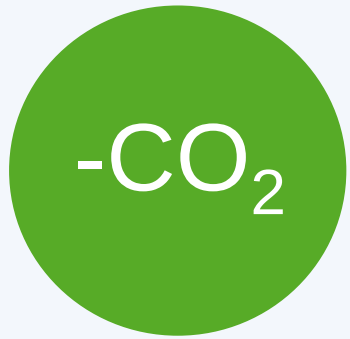
Institut für Baustoffforschung der RWTH Aachen University (ibac)

Lehr- und Forschungsgebiet Konstruktionswerkstoffe



Prinzipielle Forschungsausrichtung des Lehr- und Forschungsgebiets Konstruktionswerkstoffe

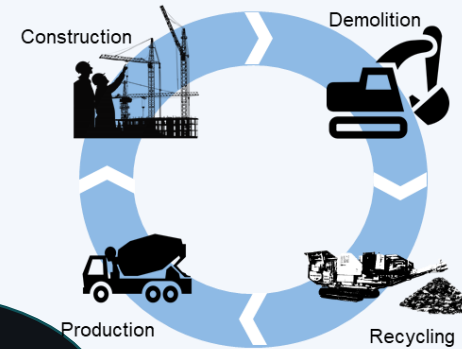
Systematische Reduzierung der CO₂-Emissionen zementärer Bindemittel und Betone



Forschung

- Neue Zusatzstoffe
- Neue Kompositzelemente (inkl. Kalkstein-calz. Tone)
- Alternative Bindemittel

Konsequente Schließung bestehender Stoffkreisläufe und Umweltverträglichkeit von Baustoffen



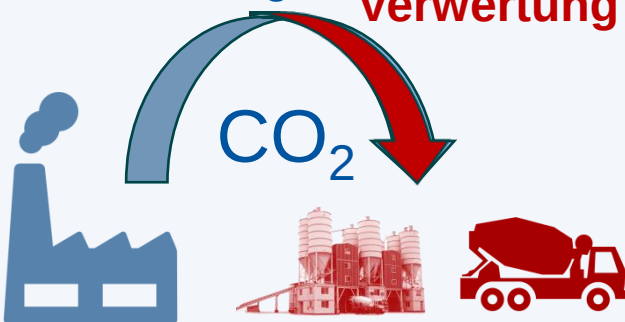
Themen

- Umweltverträglichkeit
- Wiederverwertung von Anfallstoffen
- Recycling Carbonbeton

CO₂ als Rohstoff

Abscheidung

Verwertung



Ausrichtung

- Mineralische Bindung von CO₂ durch gezielte Carbonatisierung
- Neue Funktionalitäten & Testmethoden

material.digital

Unterstützung der De-Materialisierung des Bauwesens

https://de.wikipedia.org/wiki/Heinz_Isler

Themen

- Hochleistungsbeton
- Textil- und faserbewehrter Beton
- Neue Produktionsverfahren und additive Fertigung

Unzählige Roadmaps um die Klimaneutralitätsziele zu erreichen



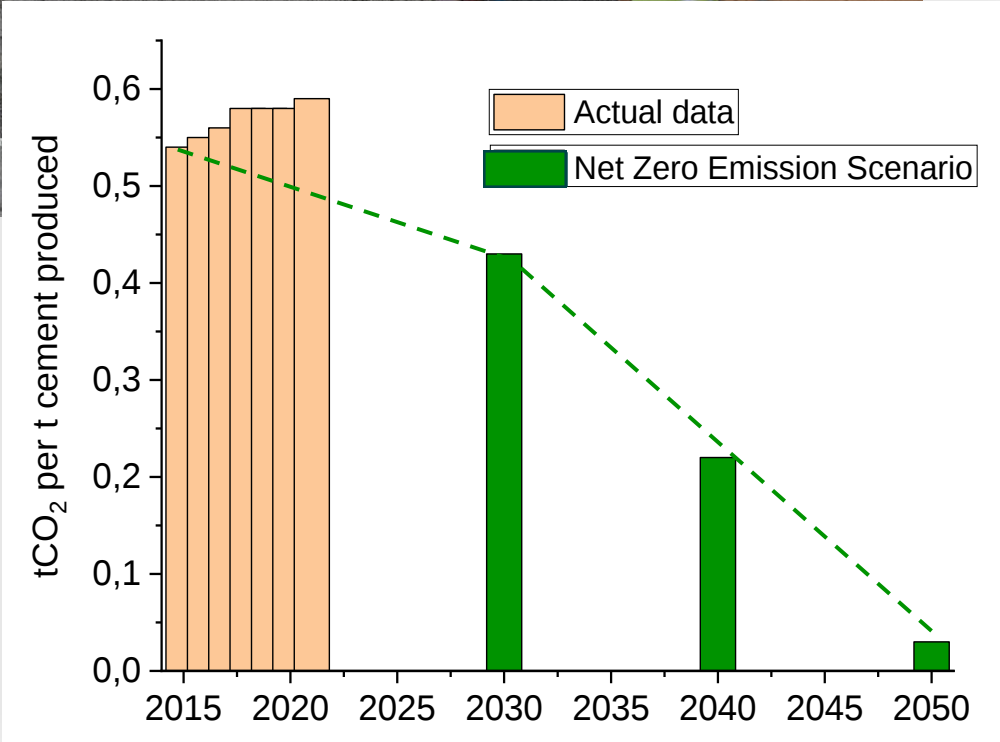
Die momentane Realität sieht aber ganz anders aus



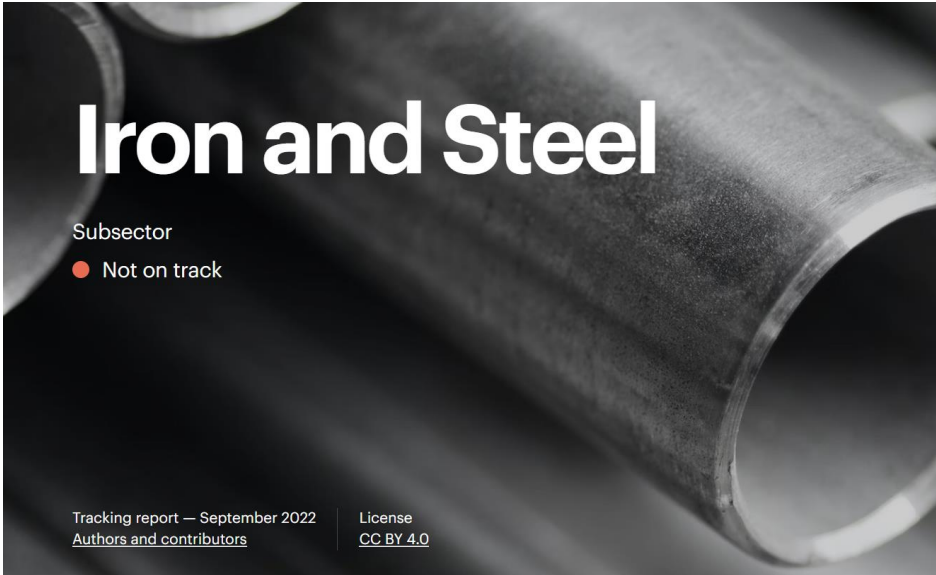
Cement

Subsector
● Not on track

Tracking report — September 2022
Authors and contributors



Quelle: IEA 2023



Iron and Steel

Subsector
● Not on track

Tracking report — September 2022
Authors and contributors

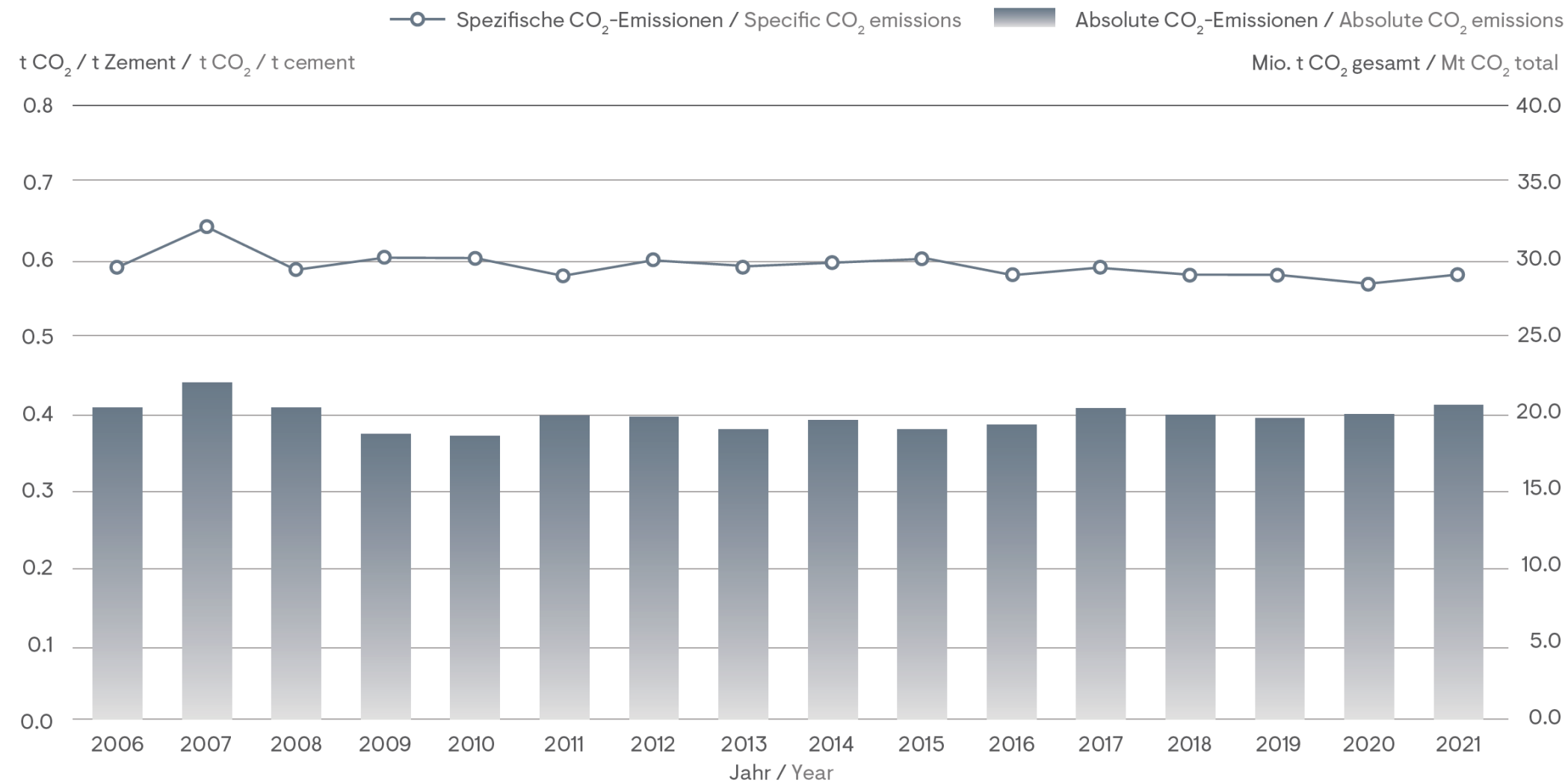
License
CC BY 4.0



Chemicals

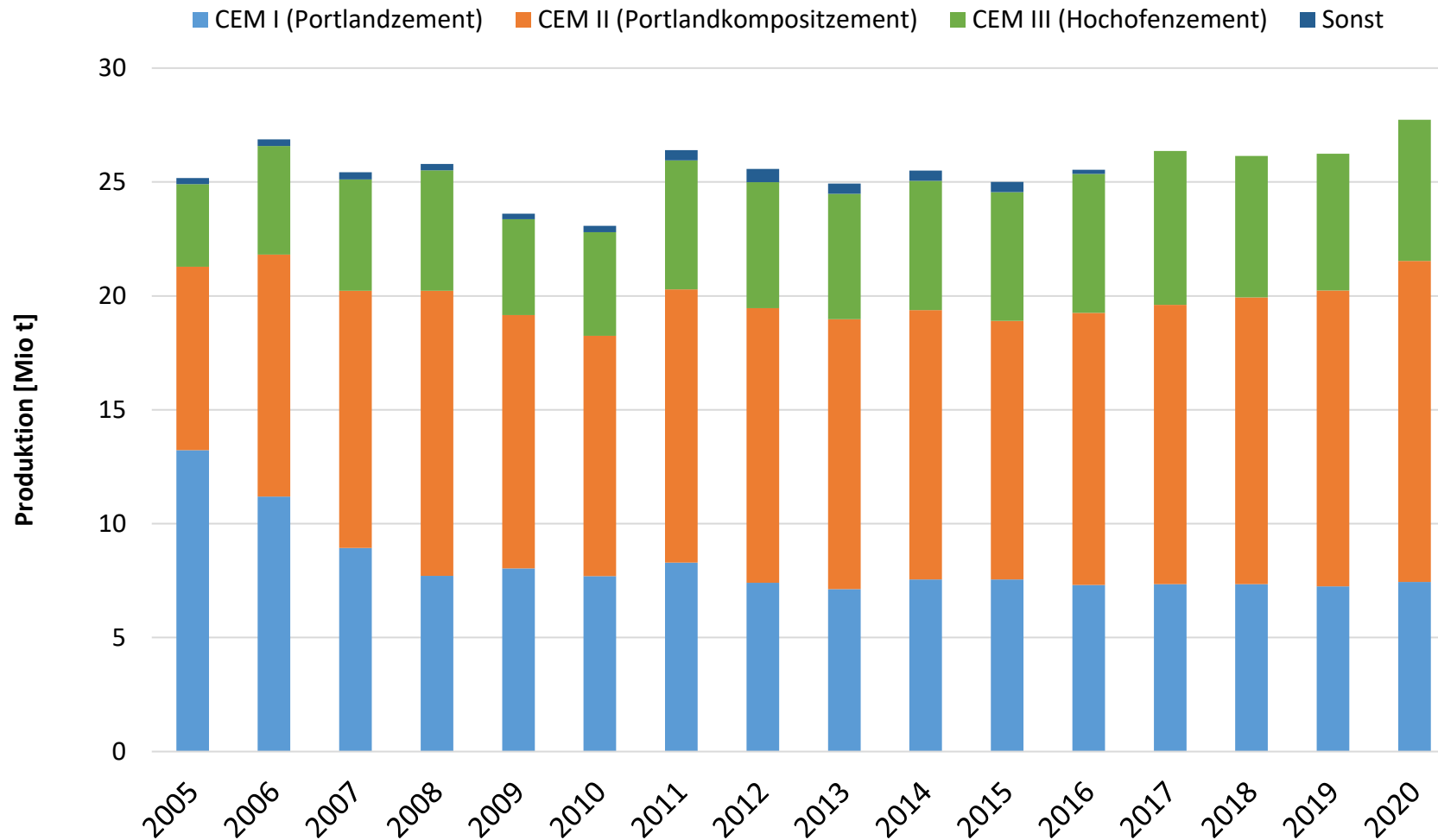
Subsector
● Not on track

Zemente in Deutschland – Ausgereizt oder Möglichkeiten zur Verbesserung?



Quelle / Source: DEHSt

Zemente in Deutschland – Ausgereizt oder Möglichkeiten zur Verbesserung?



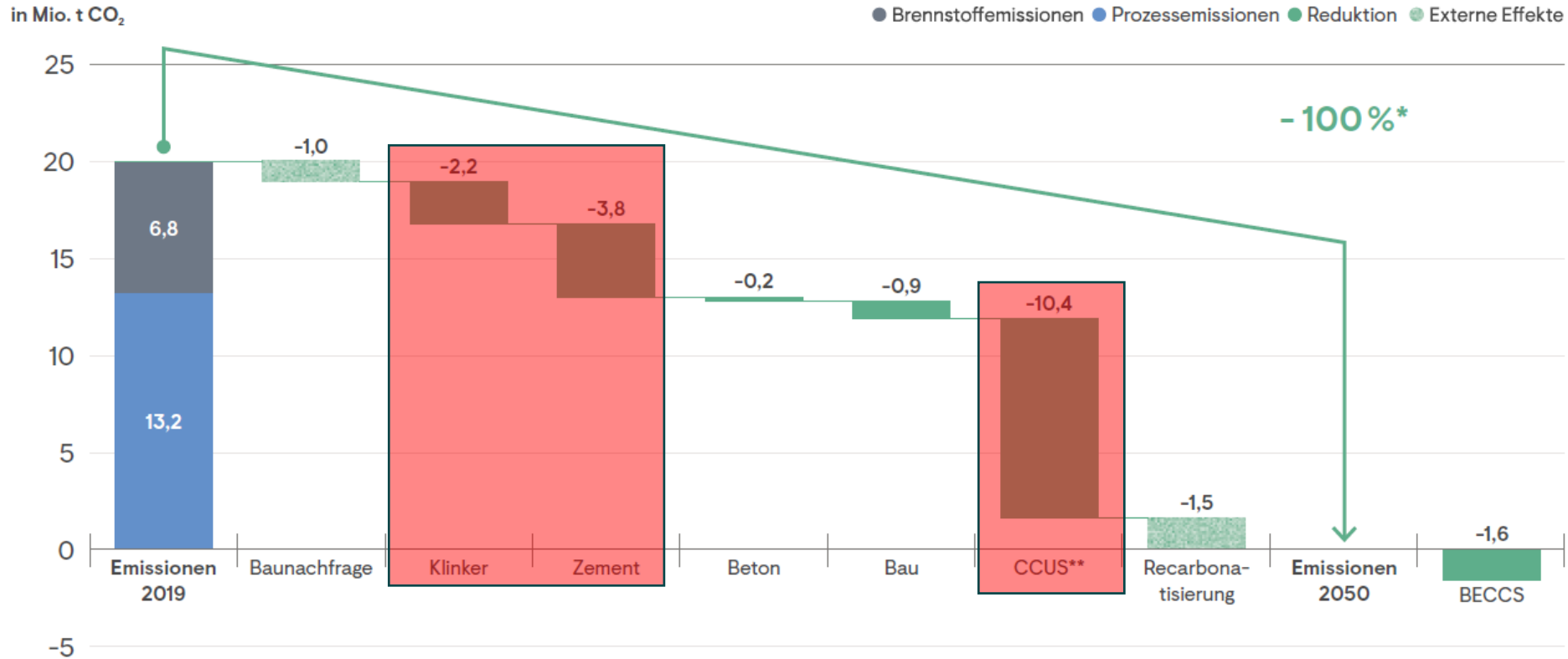
Aus VDZ Umweltdaten 2020 „Direkte CO₂-Emissionen der Zementindustrie“

Die Zukunft traditioneller Portlandklinkerbasierter Zemente

VDZ Decarbonisierungsroadmap 2050 für Zement und Beton

Inkrementelle Verbesserungen der derzeitig verwendeten Klinker und Zemente im Fokus

Szenario Klimaneutralität – CO₂-Minderung bis 2050



* Davon ca. 88 % Minderung durch Maßnahmen der Wertschöpfungskette. Die verbleibenden Emissionen werden durch den erwarteten Rückgang der Baunachfrage sowie den Beitrag der Recarbonatisierung reduziert.

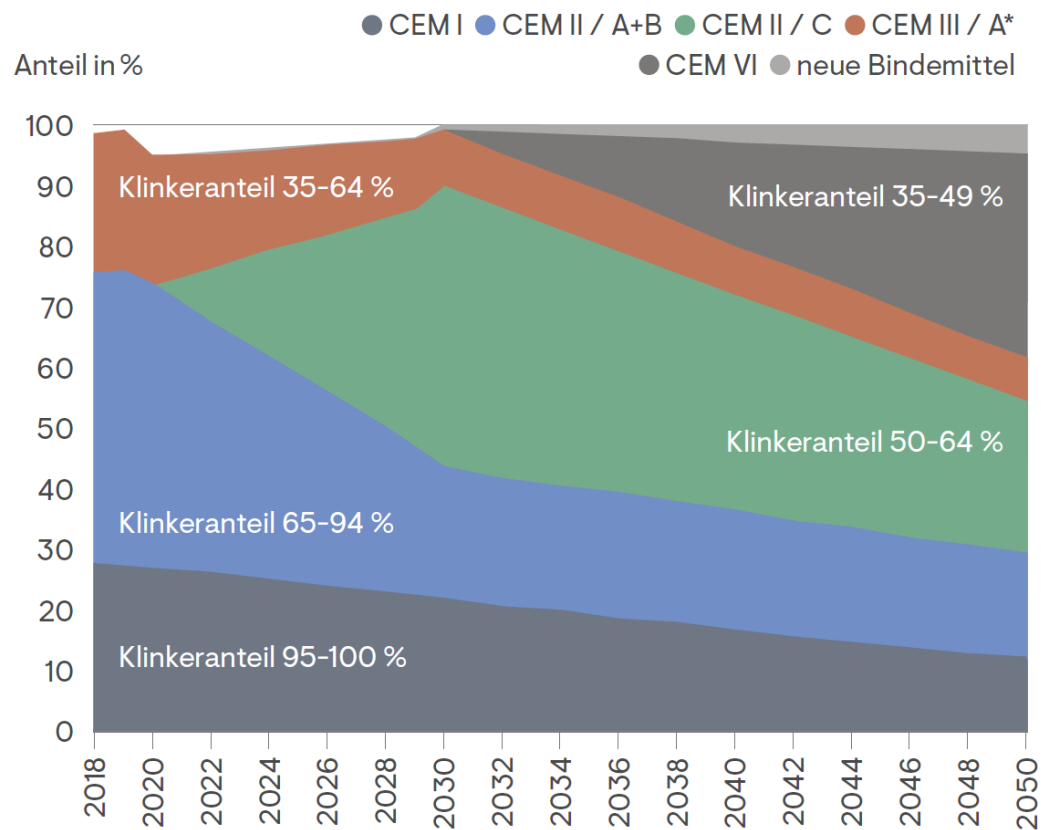
** CCUS: Carbon-Capture-Technologien mit dem Ziel der Vermeidung von CO₂-Emissionen in die Atmosphäre durch CO₂-Speicherung (CCS) und geeignete Verfahren zur CO₂-Nutzung (CCU).

Quelle: VDZ

Verein Deutscher Zementwerke, VDZ, Hrsg. Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. Düsseldorf, 2020

VDZ Decarbonisierungsroadmap 2050 für Zement und Beton

>95% der Zemente die im Jahre 2045 verkauft werden, basieren auf Portlandklinker



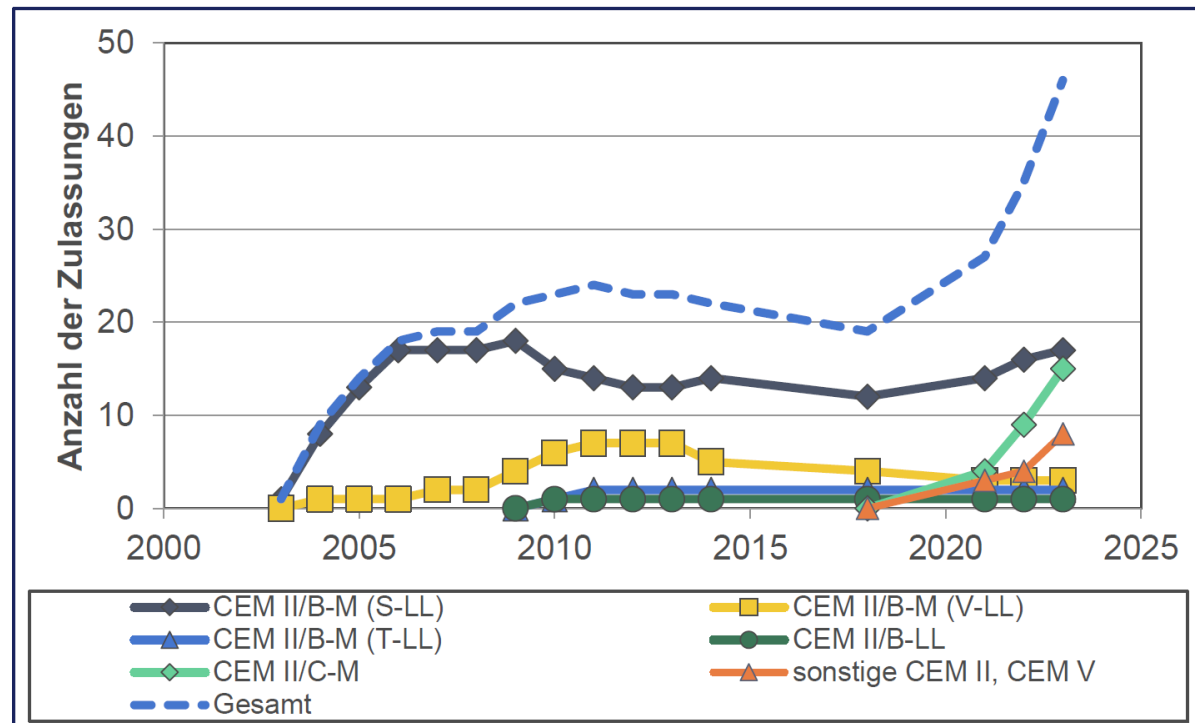
Anmerkung: Differenz zu 100 % verteilt sich auf CEM IV, CEM V und sonstige Bindemittel

* Deckt in Deutschland ca. 95 % aller CEM III-Zemente ab

Quelle: VDZ

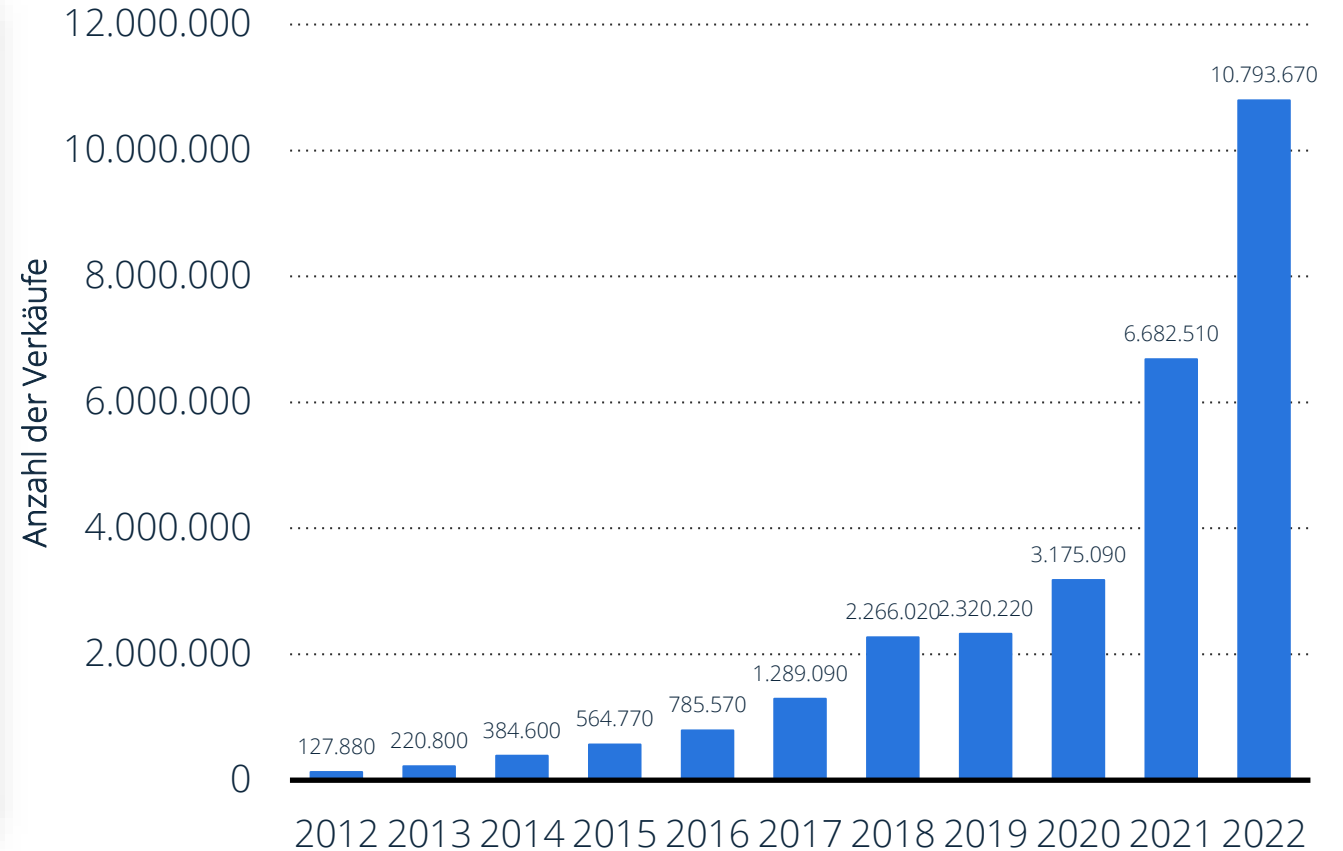


- Klinkerreduzierte Mischzemente (CEM II / C) auf dem Vormarsch (DIN EN 197-5 und DIN EN 197-6)



Quelle: Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen
Zulassungsbereich: Betontechnologie (Stand: Januar 2023)

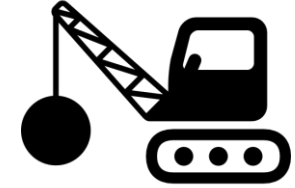
Verein Deutscher Zementwerke, VDZ, Hrsg. Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. Düsseldorf, 2020



Globale Entwicklung der Zulassungszahlen von Elektrofahrzeugen 2012-2022

[Statista]

Was muss der Zement der Zukunft können?



Entwurf,
Design &
Planung

Beschaffung

Bauen

Nutzung

Rückbau
und
Recycling

Welche
Bauweise?

Gibt es
Normen?

CO₂ und
Ressourceneffizienz /
EPD

Was ist im Markt
verfügbar?

Was kostet es?

Wie schnell?

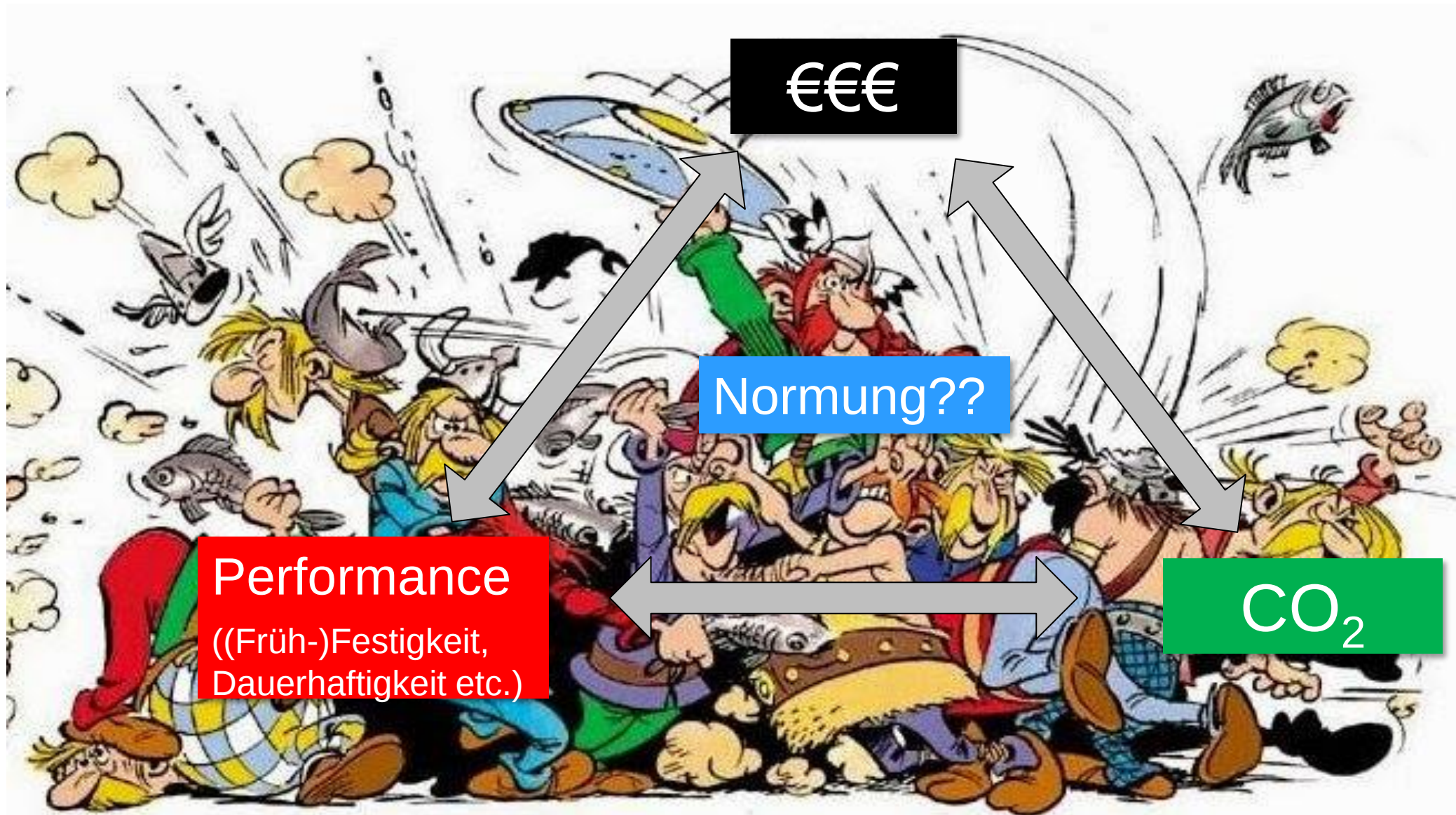
Wie robust?

Wie dauerhaft?

Materialbe-
schaffenheit?

Rezyklierbarkeit/
Umweltverträglichkeit

Viele Zielstellungen können nur mit Kompromissbereitschaft aller Beteiligten am Bauprozess erreicht werden !

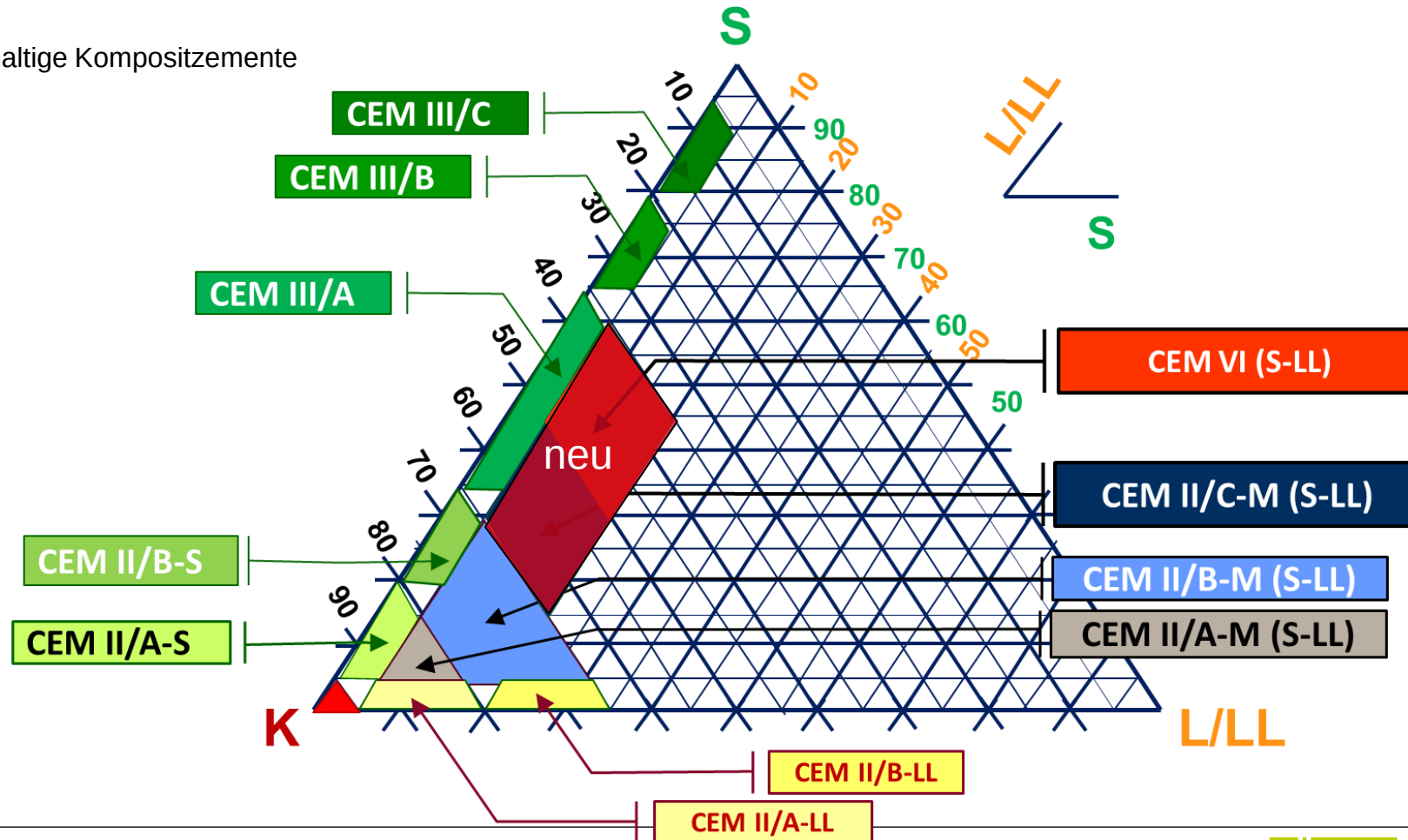


Welche neuen Bindemittelkonzepte gibt es eigentlich?

Was passiert heute? Entwicklungen in der Normung von Zementen - EN 197

Aufweitung der bestehenden Zementnorm durch Entwicklung neuer Portlandkompositzemente in DIN EN 197-5 und 197-6 (Fokus: ternäre Systeme mit Kalksteinmehl / Rezyklierte Feinststoffe)

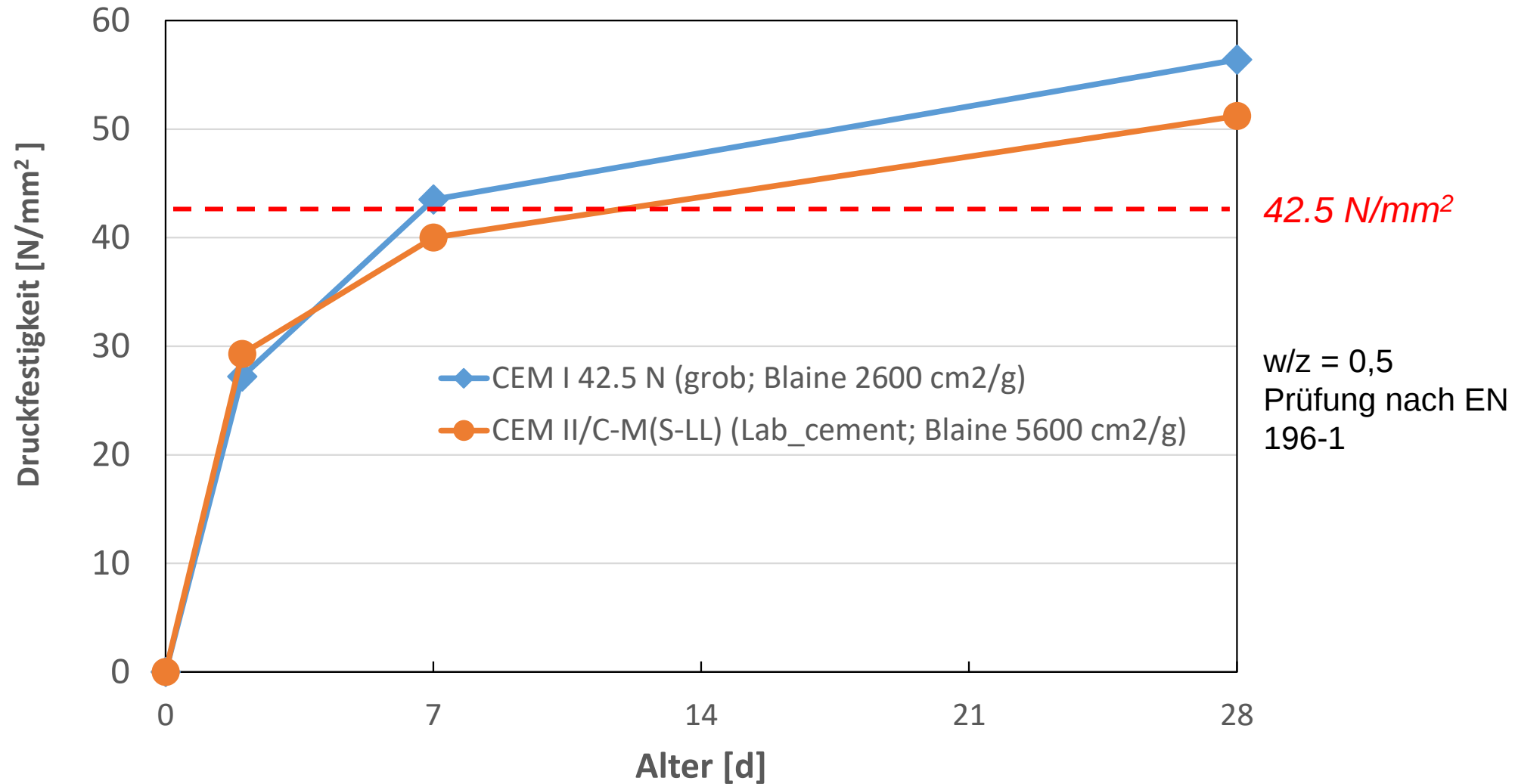
Beispiel: Hüttensandhaltige Kompositzemente



Nach Wolter

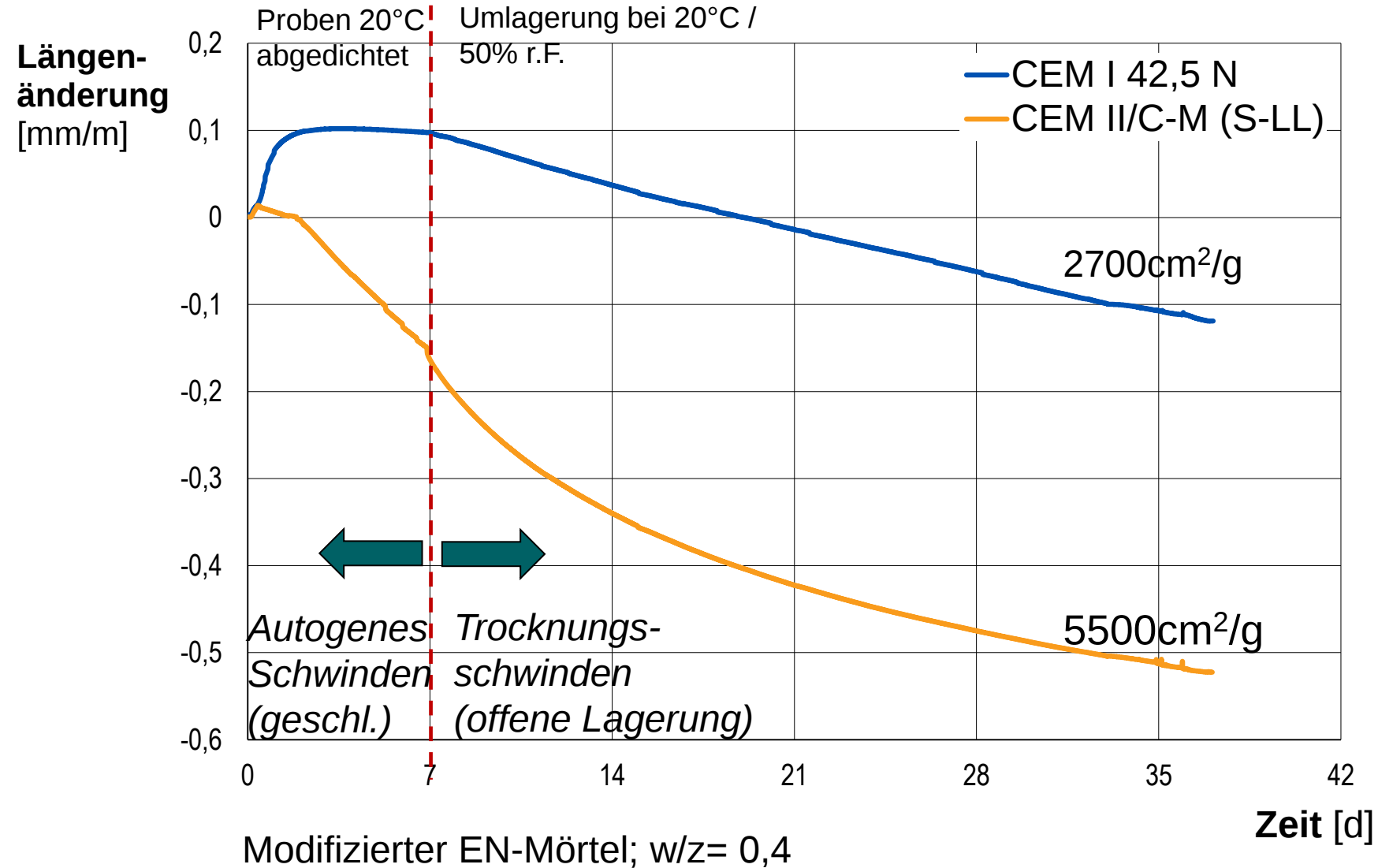
Einführung CEM II/C

Gute Festigkeiten bei entsprechenden Feinheiten möglich



Einführung CEM II/C bzw. CEM VI

Vorsicht vor neuen Herausforderungen



Herausforderung – Ressourcenknappheit

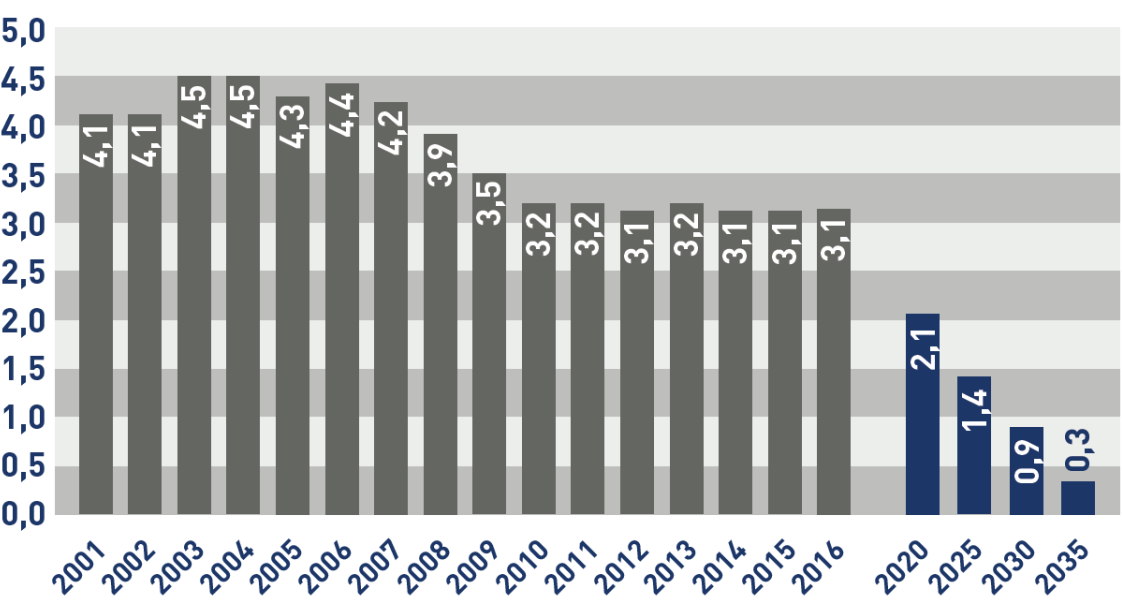
Begrenzte Verfügbarkeit durch Kohleausstieg und Umstellung der Stahlerzeugung

Tabelle 13: Installierte Kraftwerksleistung (Braun- und Steinkohle) und Bruttostromerzeugung: Ist 2016, Prognose bis 2038

	Installierte Leistung (GW)		Stromerzeugung (TWh)	
	Braunkohle	Steinkohle	Braunkohle	Steinkohle
2016	21,3	27,4	149,5	112,2
2020	17,0	18,1	130,6	70,9
2022*	15,0	15,0	115,3	58,8
2025	12,8	12,4	98,0	48,5
2030*	9,0	8,0	69,2	31,4
2035	3,4	3,0	25,9	11,8
2038*	0,0	0,0	0,0	0,0

* vorgeschlagener Zielpfad der installierten Leistung laut WSB-Kommission
Quelle: Berechnungen anhand des Abschlussberichtes der WSB-Kommission, AGEB

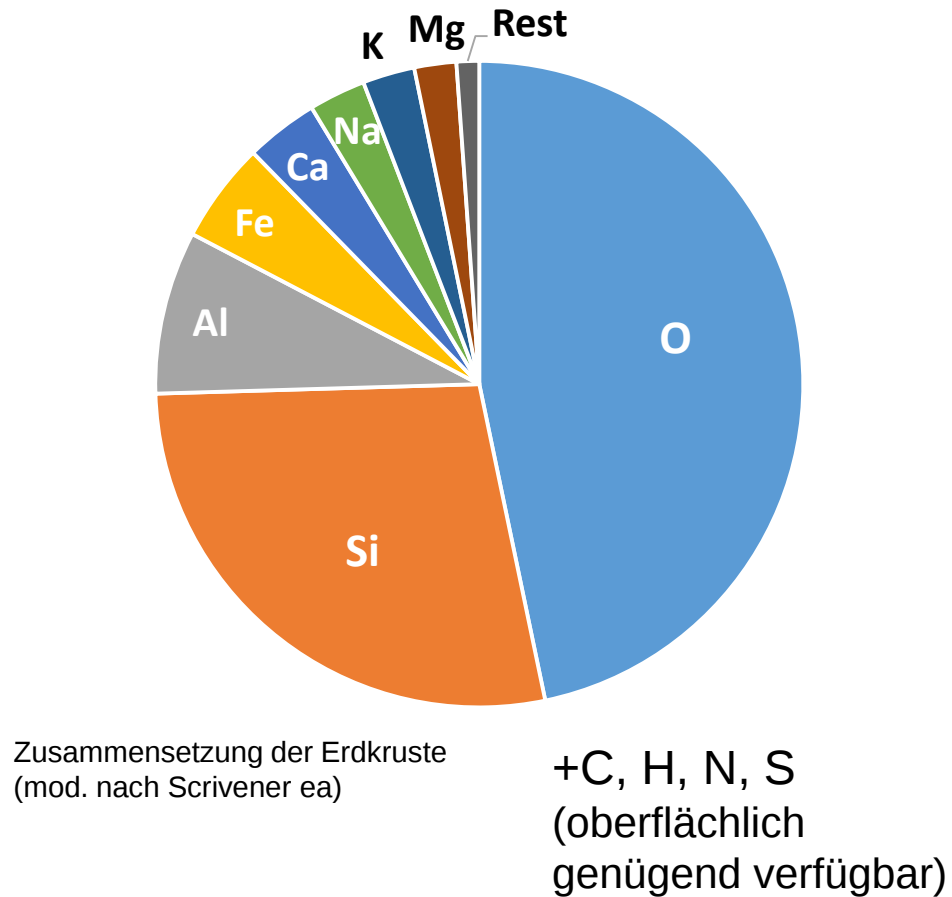
Abb. 34: Produktionsmenge von Steinkohlenflugaschen (in Mio. t)



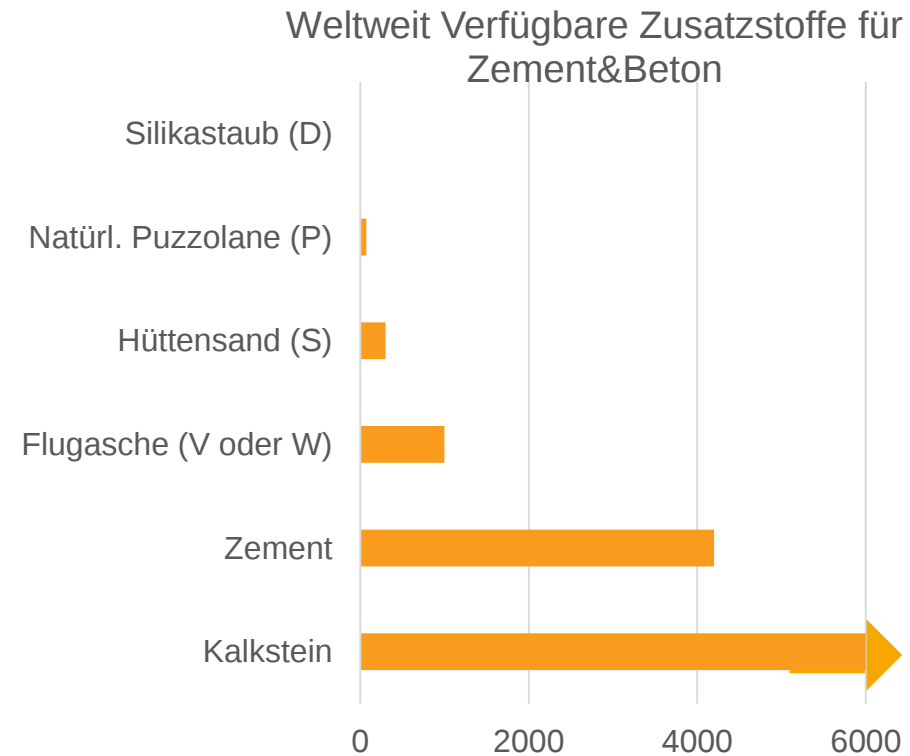
Quelle: VGB PowerTech e.V.; ab 2020: Berechnungen nach Empfehlungen WSB-Kommission

Mit jeder Neuentwicklung sind wir an lokale Materialien und Ausgangsstoffe gebunden

Natürliche Rohstoffe

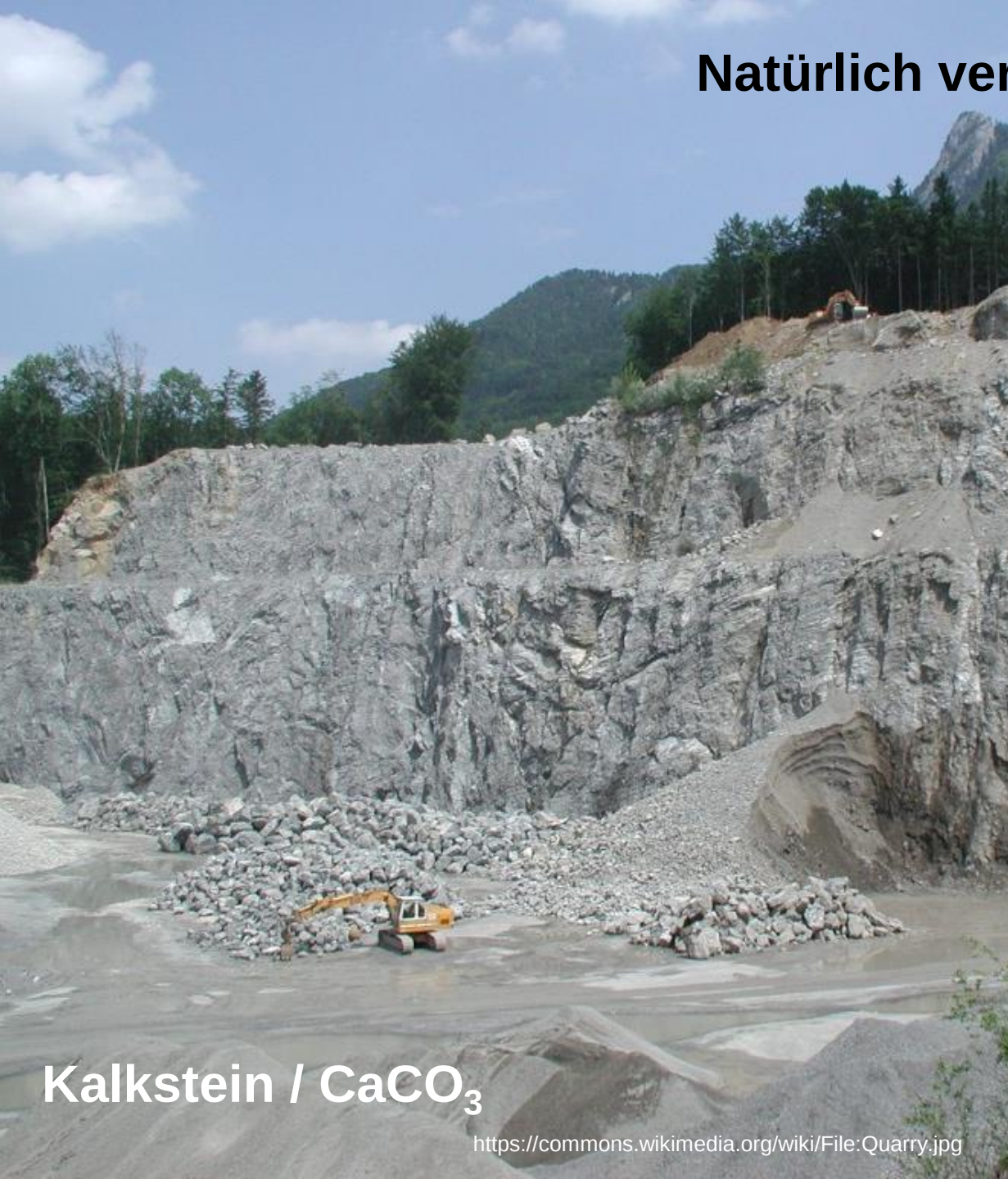


Traditionelle industrielle Zusatzstoffe



Mit derzeitig verfügbaren industriellen Zusatzstoffen lässt sich die CO₂ Bilanz nur begrenzt verbessern

Natürlich verfügbare Stoffe



Kalkstein / CaCO_3

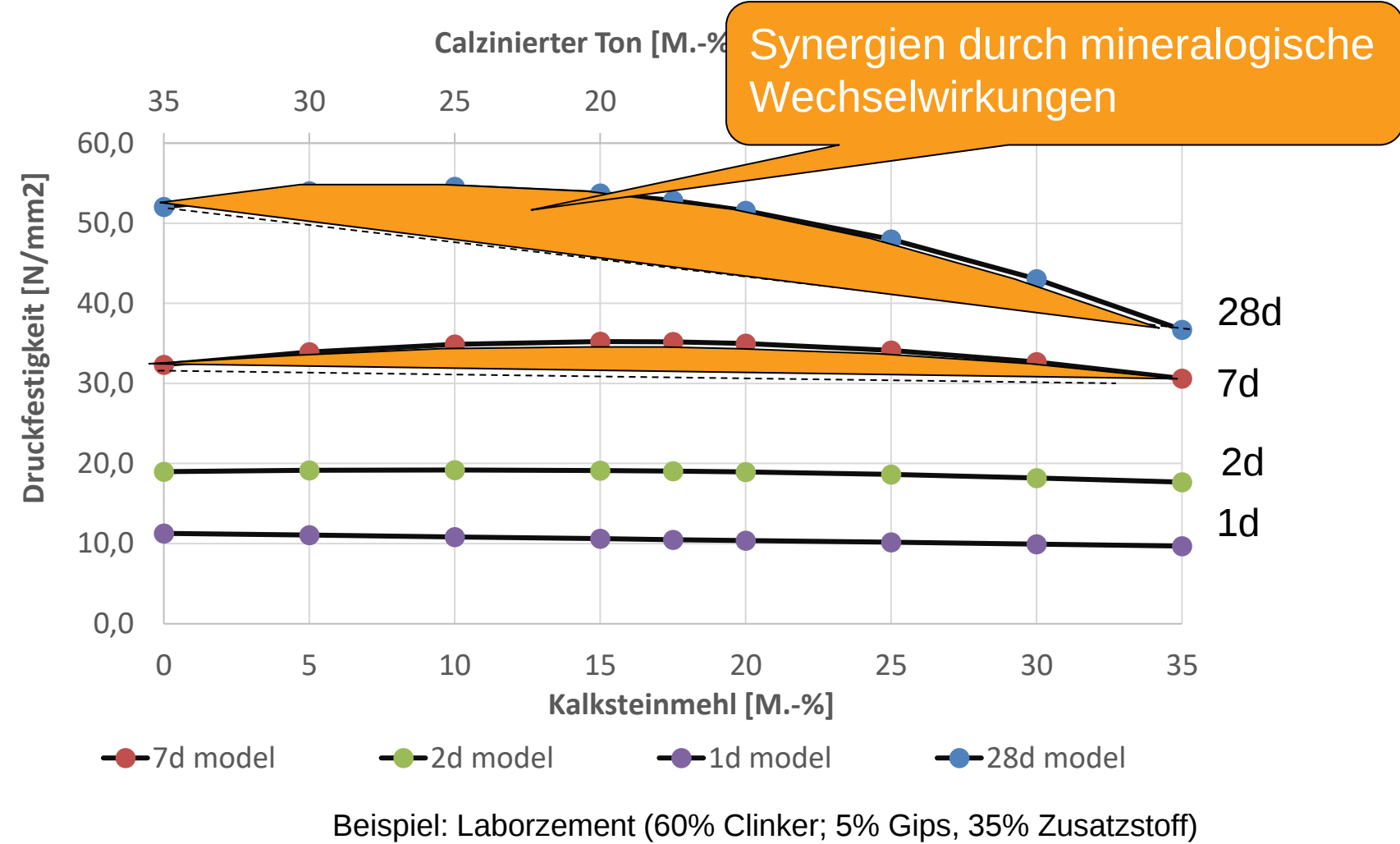
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quarry.jpg>



Ton & spätere Calcinierung

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skourta_clay_pit_27.JPG

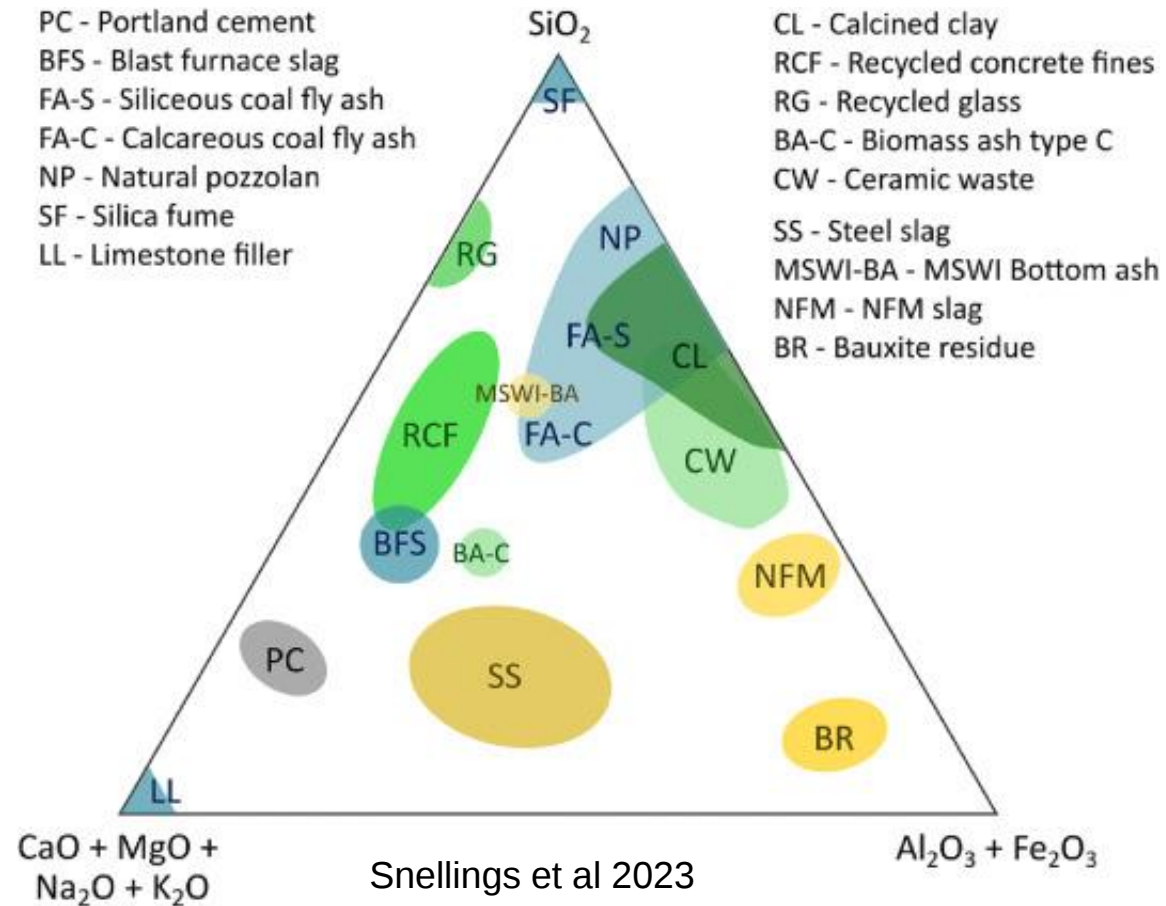
Warum calcinierter Ton & Kalkstein?



Herausforderung:
optimale Verarbeitbarkeit



Waste2Product Technologien



Haldenaufbereitung



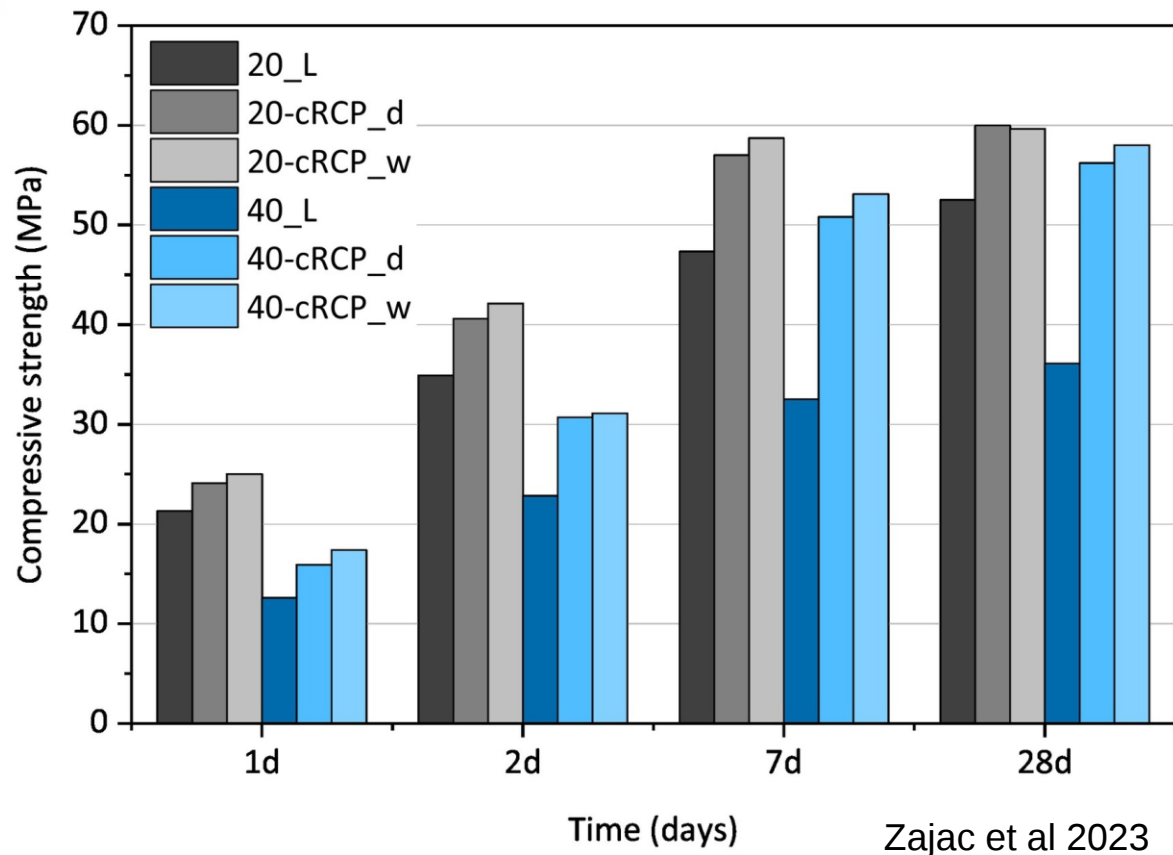
Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Bergehalden_Noppenberg_und_Nordstern

CO₂ als Rohstoff für neue Bindemittel – kann das funktionieren?

CO₂

CO₂ als Rohstoff für neue Bindemittel – kann das funktionieren?

Recycled Carbonated Fines



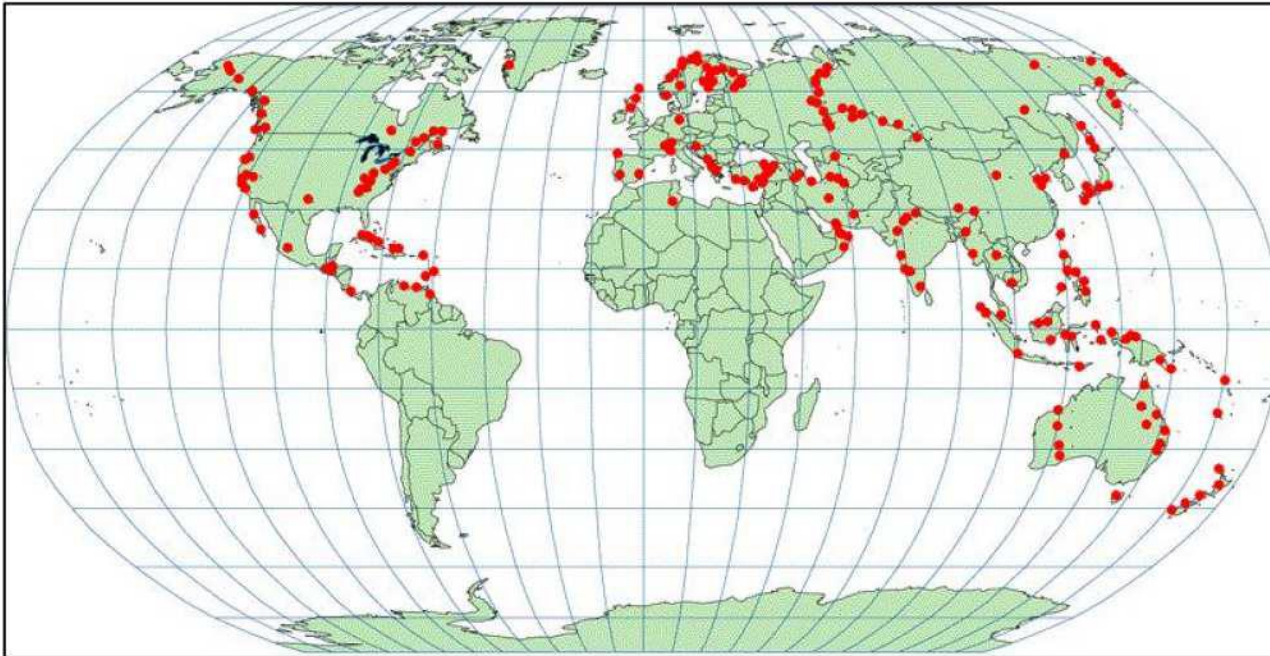
CO₂ Erhärtung als Chance für die Fertigteilindustrie



Wang et al 2023

Erschliessung neuer Rohstoffvorkommen – Beispiel Magnesiumsilikatbasierte Zemente

Viele Milliarden Tonnen Magnesiumsilikat weltweit verfügbar



Gartner et al 2014

Regionen mit höchster Bevölkerungsdichte 2050



<https://worldpopulationhistory.org/map/2050>

„Altbekannte“ alternative Bindemittel

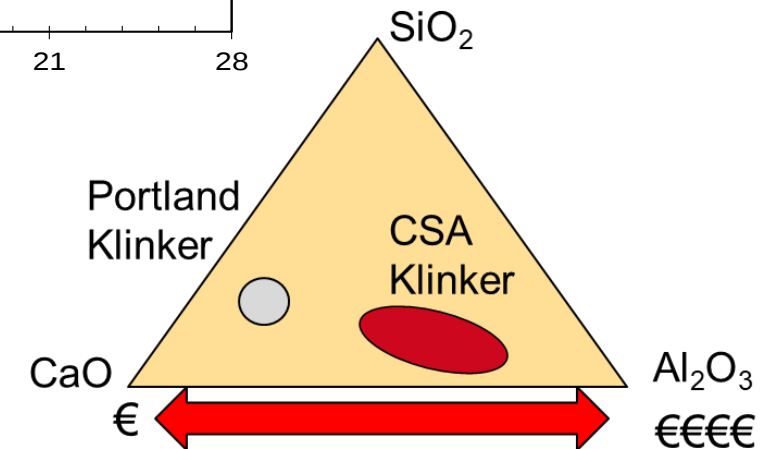
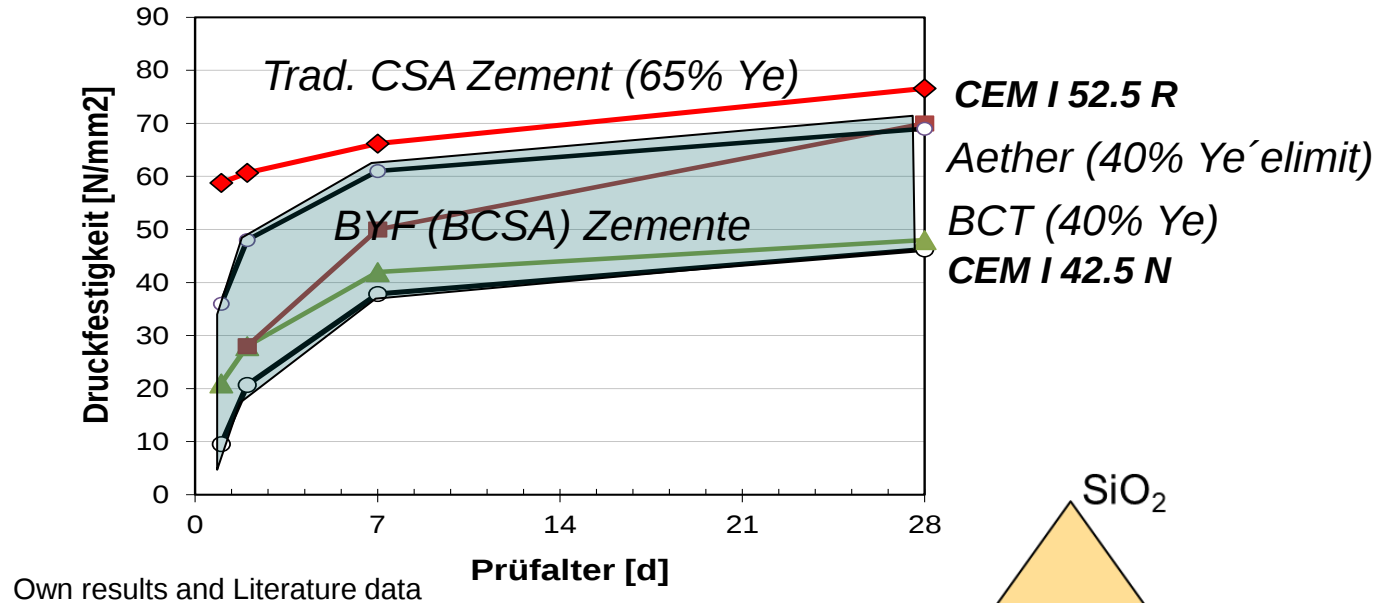
Geopolymere/ Alkalisch aktivierte Bindemittel



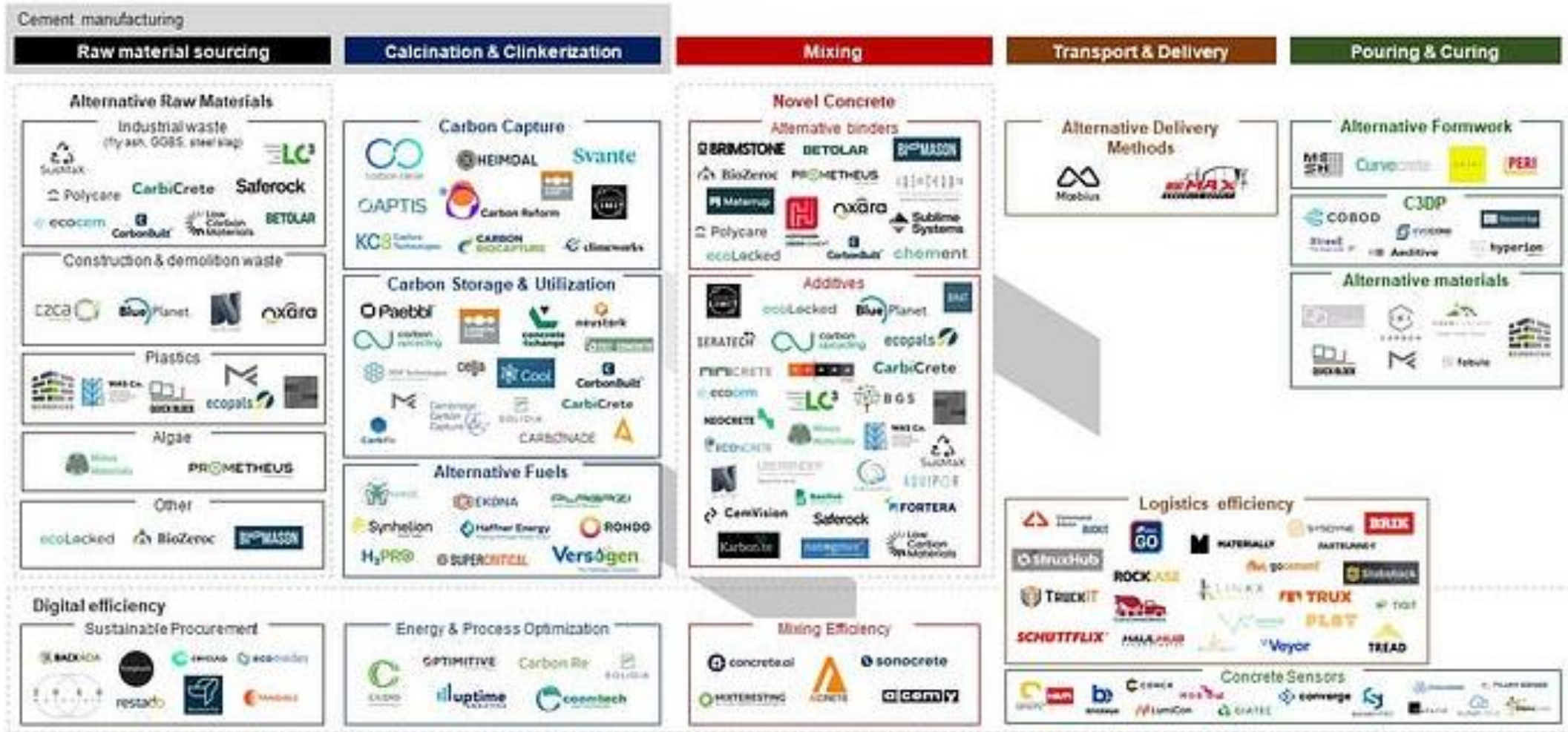
Aus Alkali Activated cements; edt by Shi , Krivenko und Della Roy 2006

24-stöckiges Gebäude aus alkaliaktiviertem Bindemittel in Lipezk, Russland, 1994

Calciumsulfoaluminatzemente



Auf der Suche nach dem Baustoff-Tesla?



Notes: (1) Non-exhaustive startup market map; (2) Some technologies apply to different categories, so the logos are repeated.
Sources: Logos from company websites

[Zacura ventures]

Wie geht's weiter ?

Zusammenfassende Schlussfolgerungen

- Es wird **keine *one-fits-all* Lösung** im Bindemittelbereich geben
- Die Bindemittel der Zukunft werden vorerst weiterhin auf **Portlandklinker** basieren, jedoch deutlich **komplexere Zusammensetzungen** aufweisen
 - Der **Klinkerfaktor muss deutlich sinken**: Dies geht einher mit niedrigeren Frühfestigkeiten und längeren Nachbehandlungsdauern, etc.
 - **Neue Zusatzstoffe** z.B. calcinierte Tone, Rezyklierte Feinststoffe werden eine entscheidende Rolle spielen
- Alternative Bindemittel und die Erschliessung bislang ungenutzter Ressourcen ermöglichen **Differenzierung für massgeschneiderte Anwendungen**.
- **Angepasste flexiblere Zulassungsverfahren** erweitern die Möglichkeiten zur beschleunigten Markteinführung neuer Bindemittel