Kolloquium
Forschung & Entwicklung für Zement und Beton 2026

Minderung von CO_2-Emissionen – Fortschritte bei der VÖZ-Roadmap

Klinker neu denken: der Weg vom Labor zur CO_2-reduzierten Zementproduktion

Wolfram Waldl
Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Montanuniversität Leoben

acr austrian cooperative research
TU WIEN smartminerals
VÖZ

Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung

Montanuniversität Leoben

Klinker neu denken: der Weg vom Labor zur CO_2-reduzierten Zementproduktion

VÖZ Kolloquium 2026 „Neue Zement Klinker“

Wolfram Waldl[1] und Helmut Flachberger[1]

[1]Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung, Department Mineral Resources Engineering, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

VÖZ

FFG Forschung wirkt.

Inhalt

Rückblick und status quo des Projektes:

- Hintergrund & Rückblick
- Vom Labor zum großtechnischen Versuch
  - Alternative Rohstoffe (ARM)
  - **Laborversuche „100 g“**
  - **Pilotversuche „100 kg/h“**
  - **Großtechnische Versuche „100 t/h“**
- Ausblick in das finale Forschungsjahr
  - Industrielle Anwendung
  - Zusammenfassung

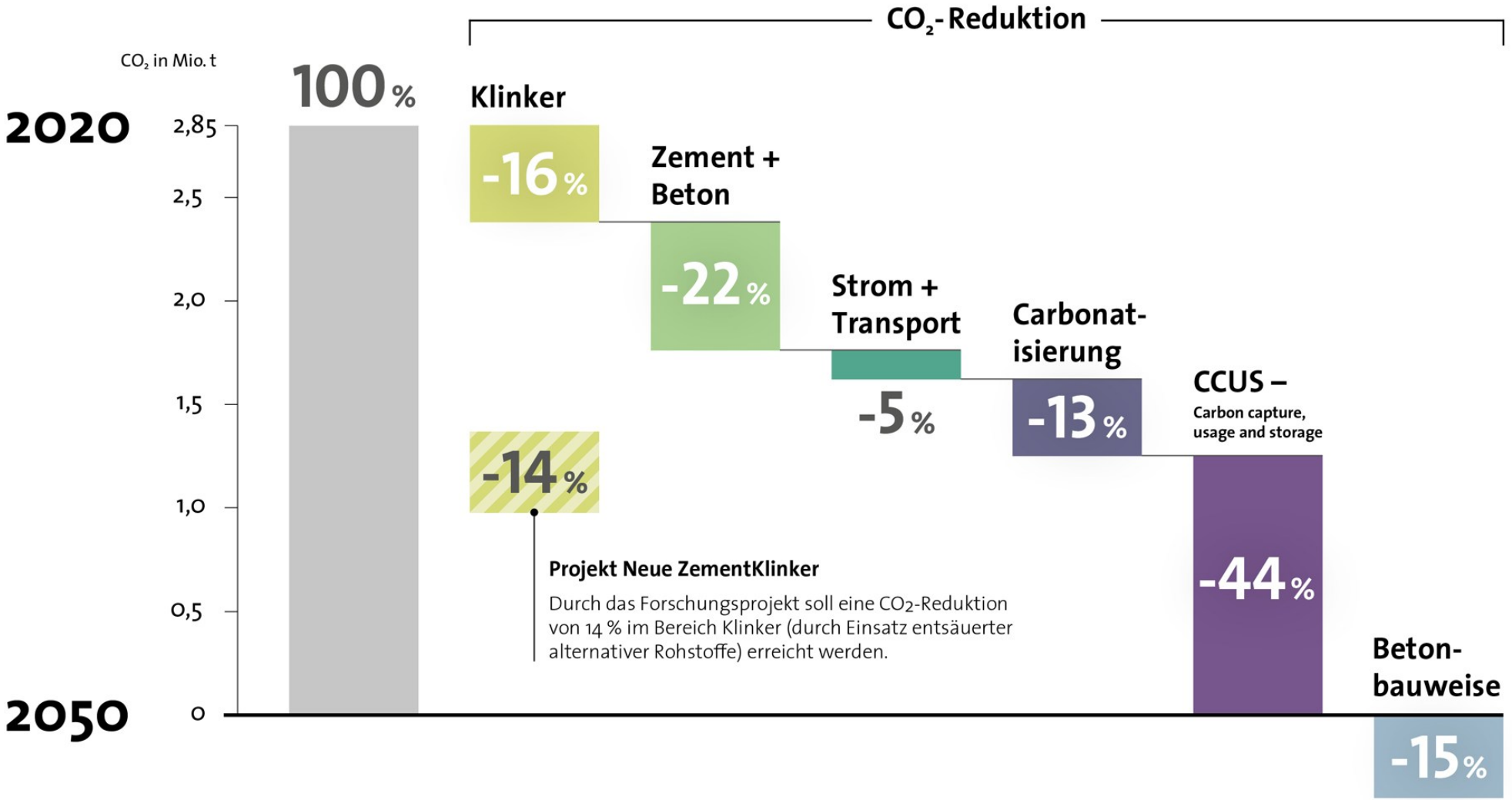


Hintergrund

- Im Jahr 2019 stammten rund **4,5 %** der **weltweiten anthropogenen CO_2-Emissionen** aus der Zementproduktion
- **60–65 %** der CO_2-Emissionen sind **rohstoffbedingt**
- **Roadmap 2050** für eine CO_2-neutrale Zementproduktion
- Österreichische Zementindustrie (**VÖZ**)

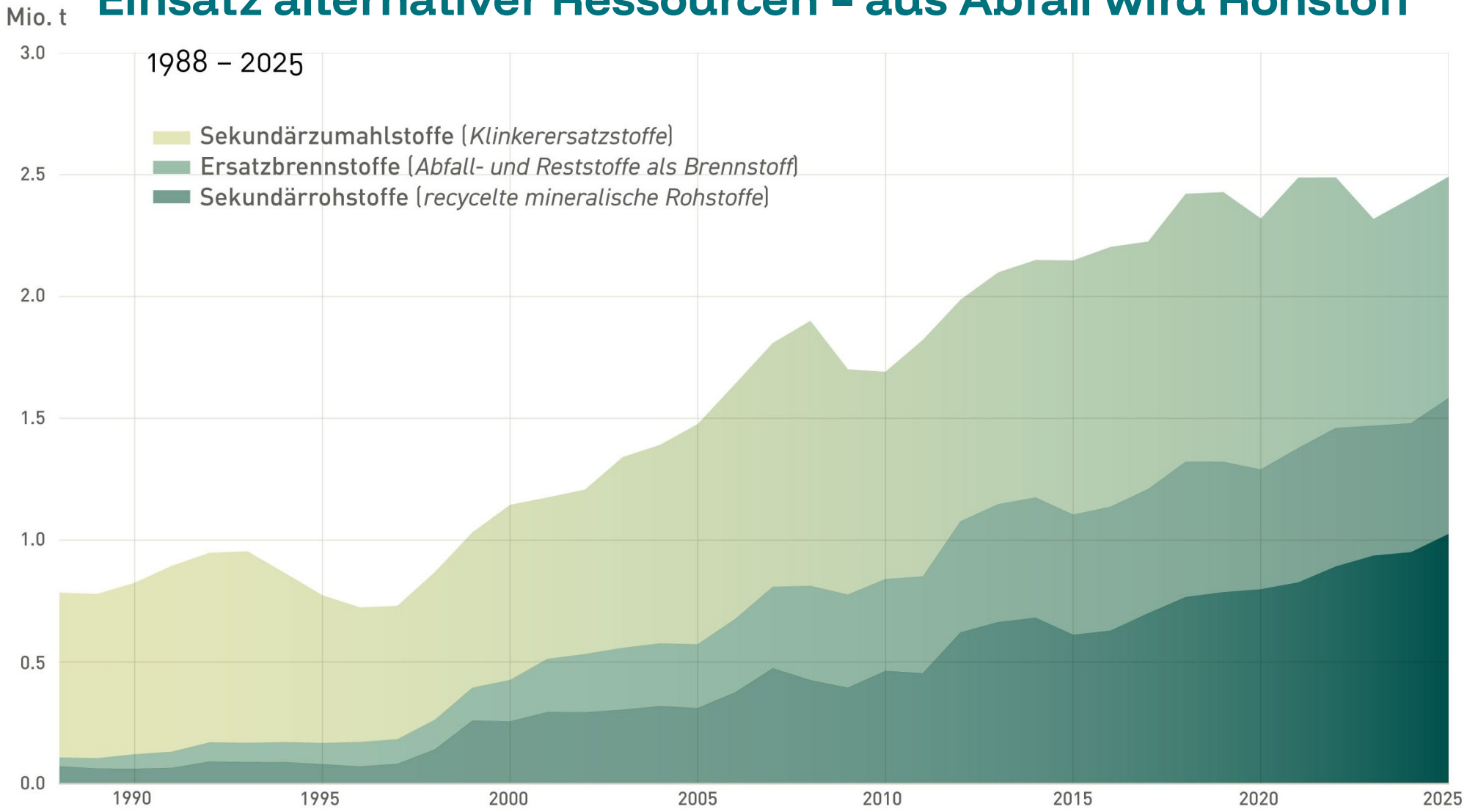
$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \uparrow$$

Hintergrund



Österreichische Zementindustrie

Einsatz alternativer Ressourcen – aus Abfall wird Rohstoff



Source: Eigendarstellung auf Basis der Emissionsberichte, von Prof. Mauschitz/TU Wien

Rückblick

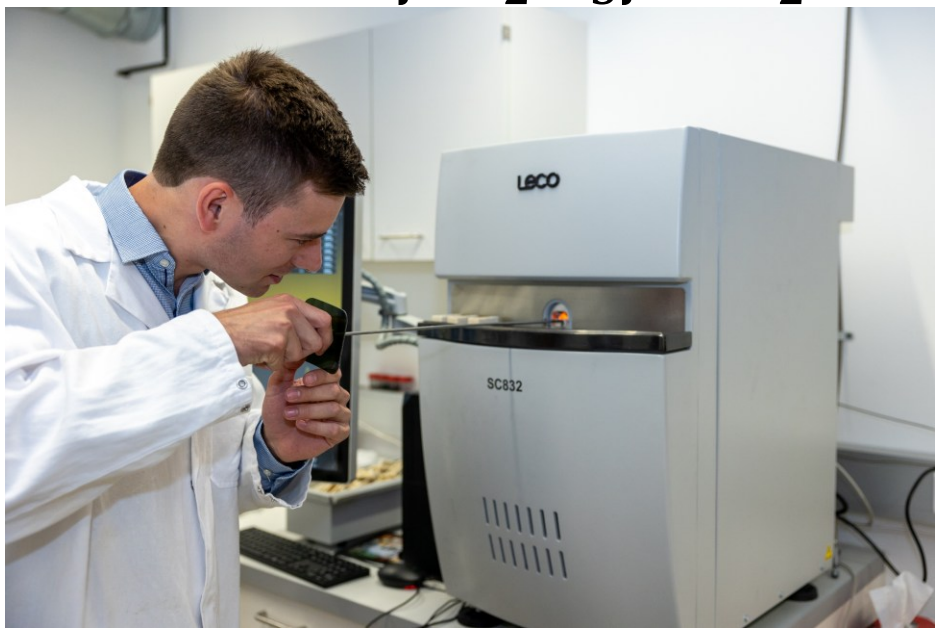
- Ermittlung des Standes der Technik
  - Derzeit eingesetzte ARM
  - Zukünftiger Einsatz von ARM
  - Aufbereitungsstechnische Charakterisierung

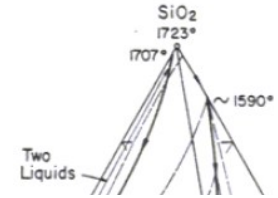


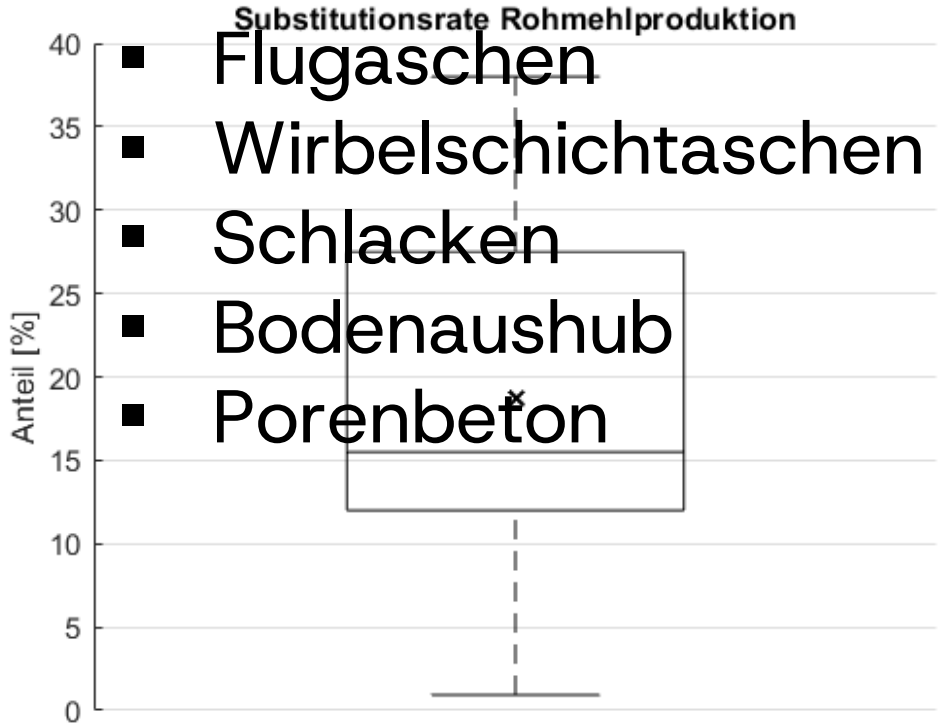
Aufbereitungsstechnische Charakterisierung

Mehrkomponentensysteme

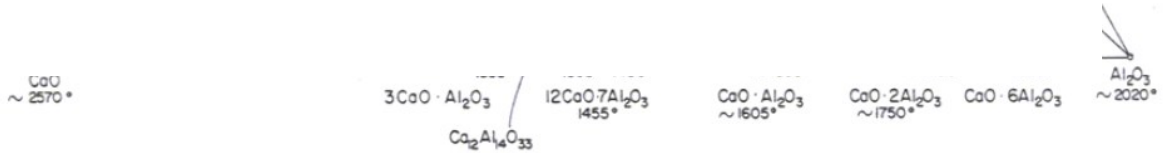
CAS CaO, Al_2O_3, SiO_2





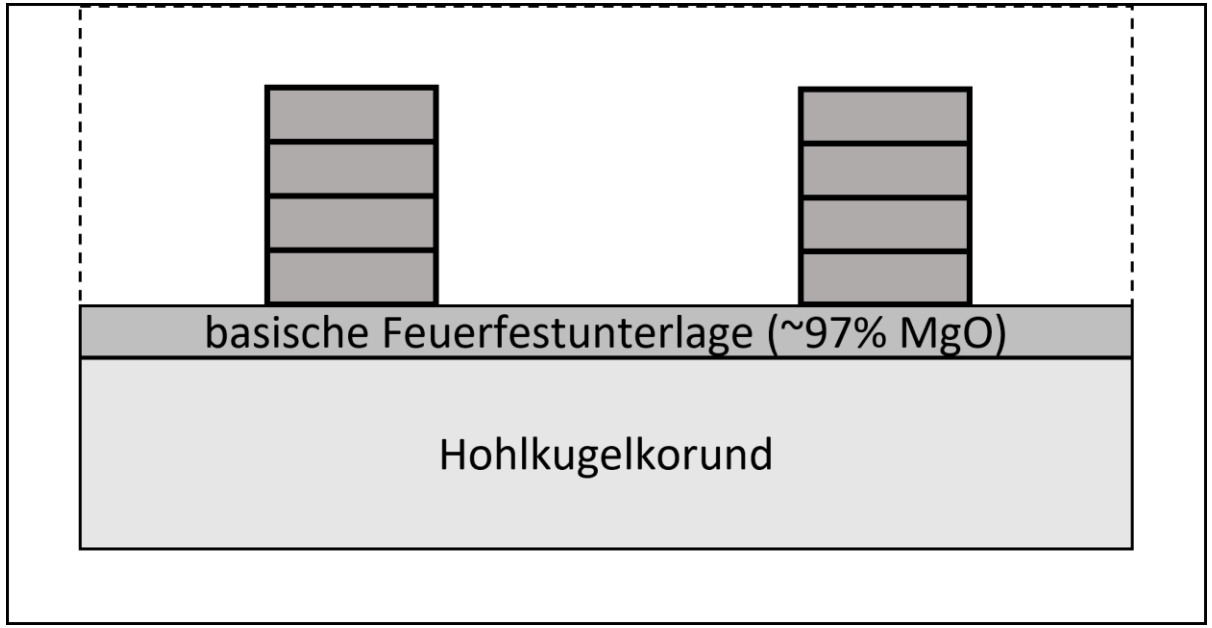


- Flugaschen
- Wirbelschichtaschen
- Schlacken
- Bodenaushub
- Porenbeton



Laborversuche



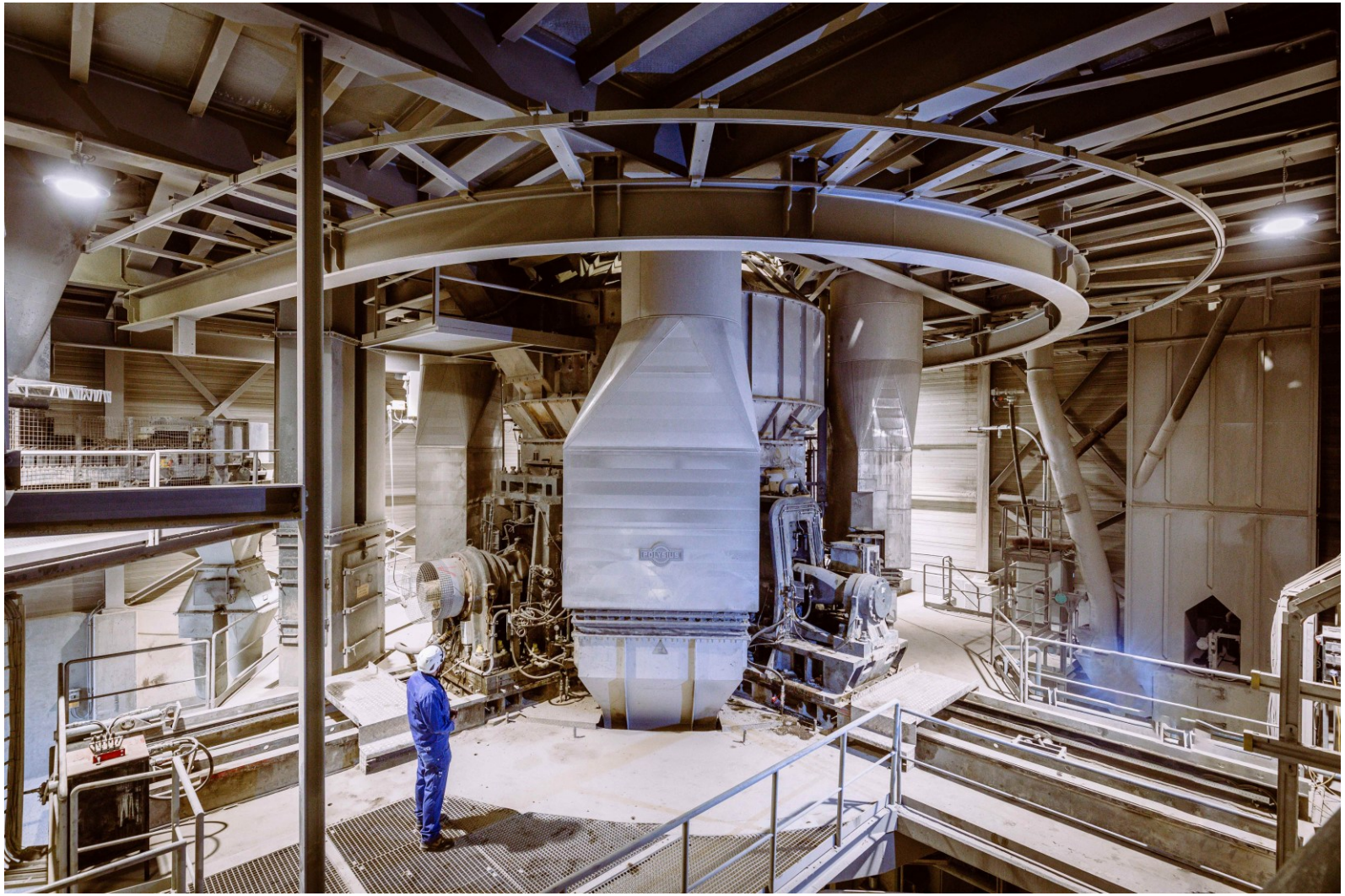




Rohmehlmixtur

Rohstoff	Massenanteil (feucht) an der Mischung [%]
Kalkstein	58,2
Aschen (diverse Verbrennungsrückstande)	26,7
Schlacken und metallurgische Nebenprodukte	14,2

Großtechnischer Mahlversuch



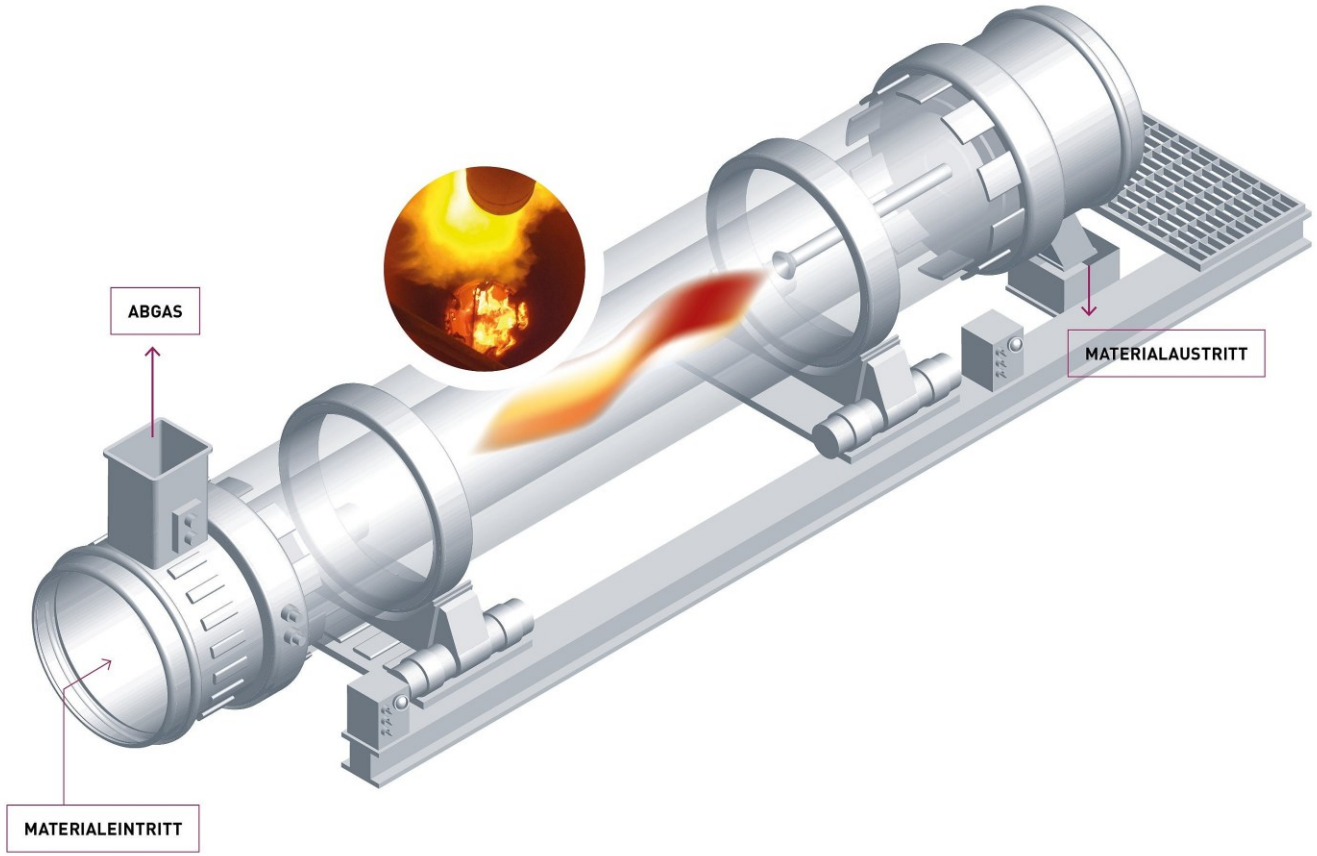
Großtechnischer Mahlversuch







Pilotversuch





Quelle: IBU-tec advanced materials AG. (2025.10.07). https://www.ibu-tec.de/anlagen/drehrohrofen/

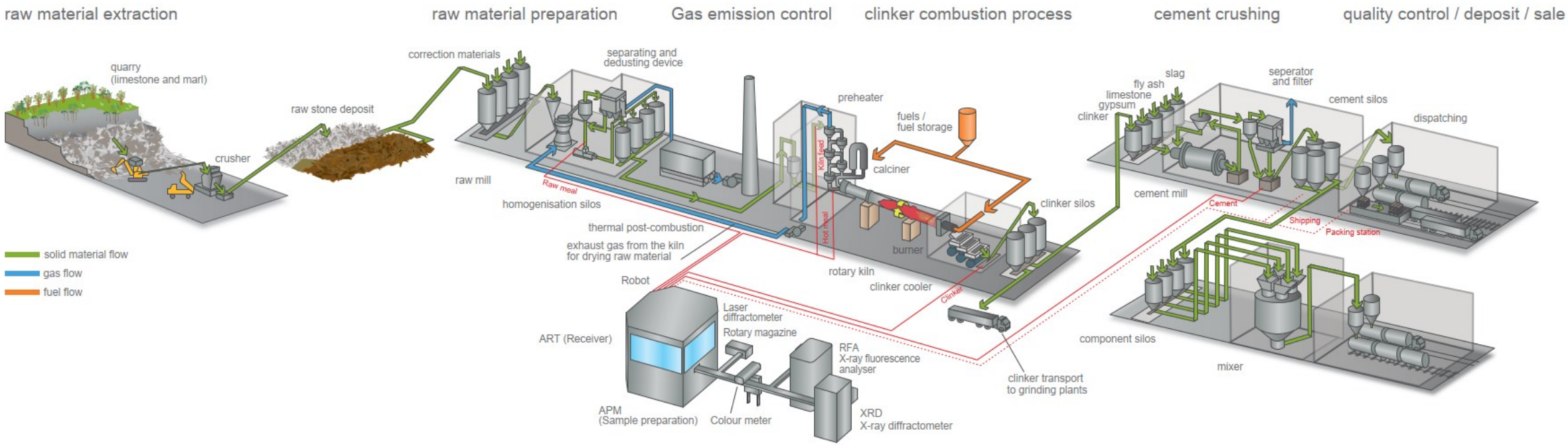
Pilotversuch



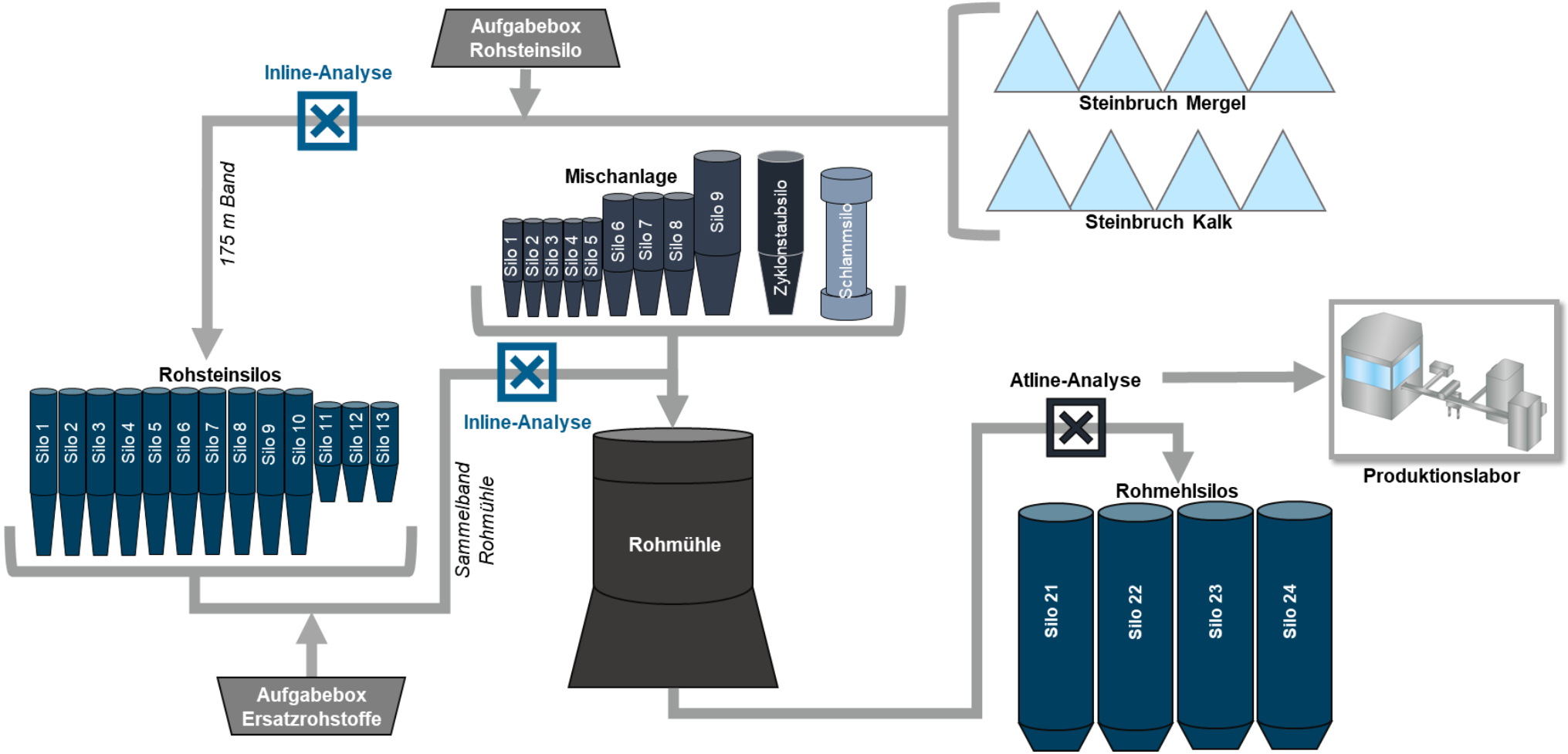




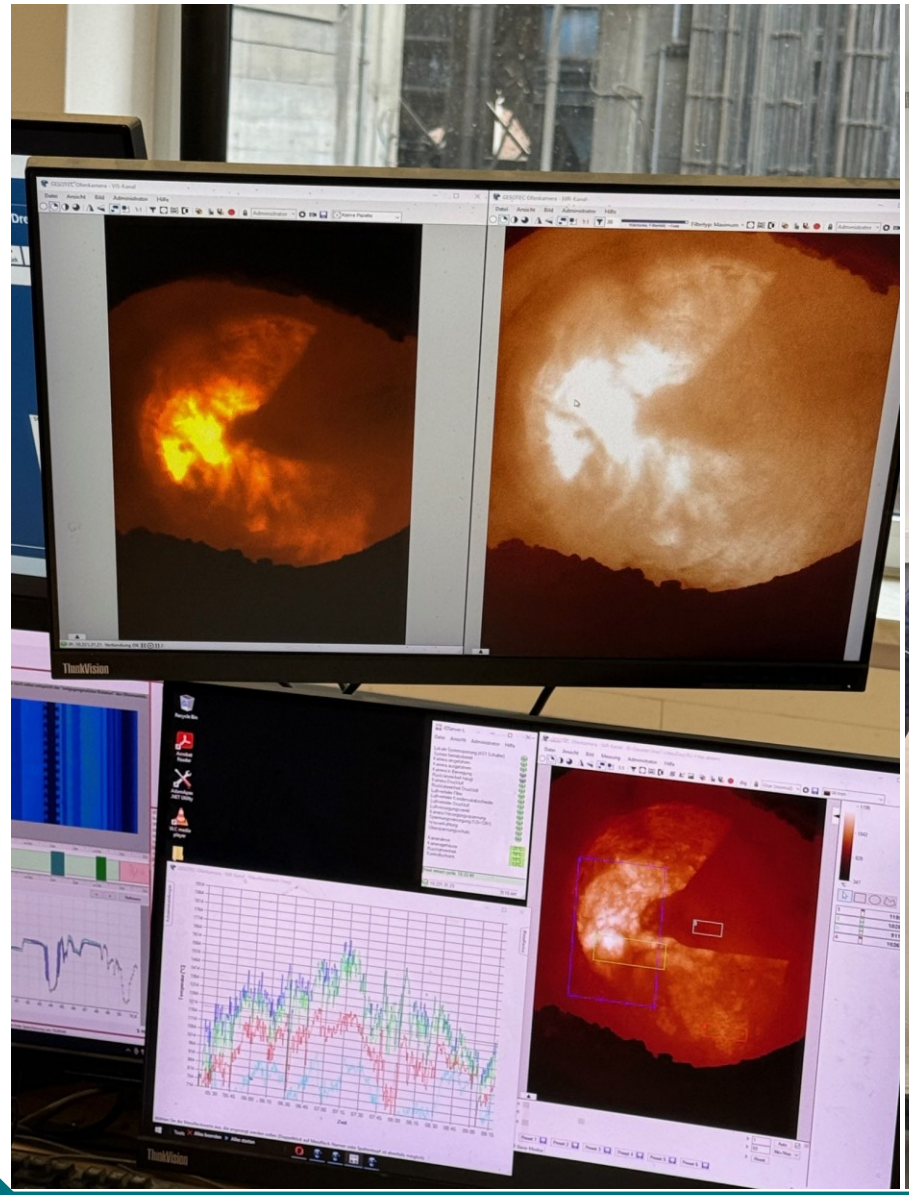
Industrieversuch | Alpacem



Industrieversuch | Alpacem



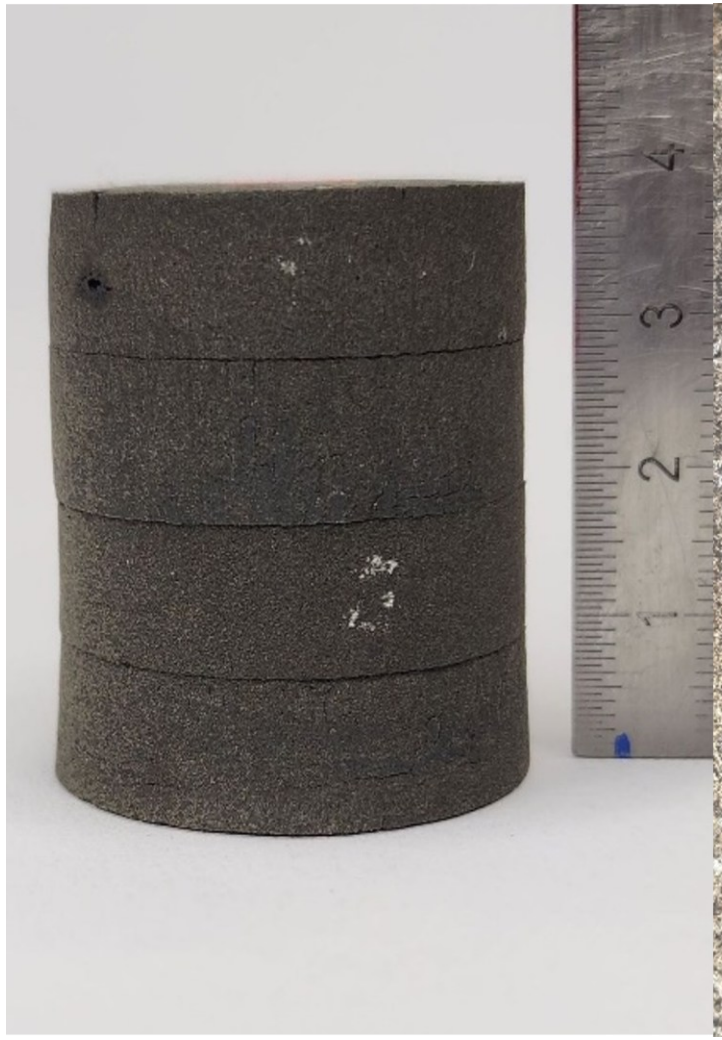
Industrieversuch







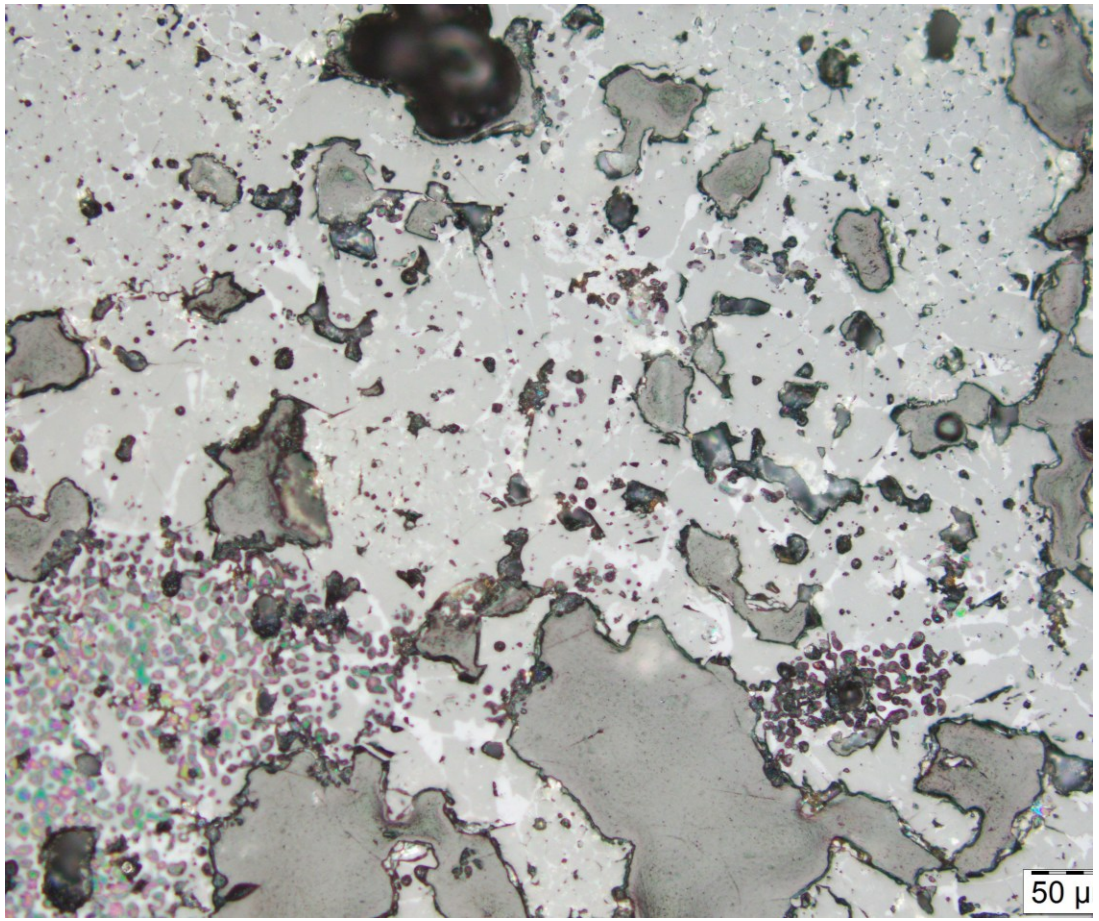
Vergleich Labor-, Pilot- u. Industrieklinker



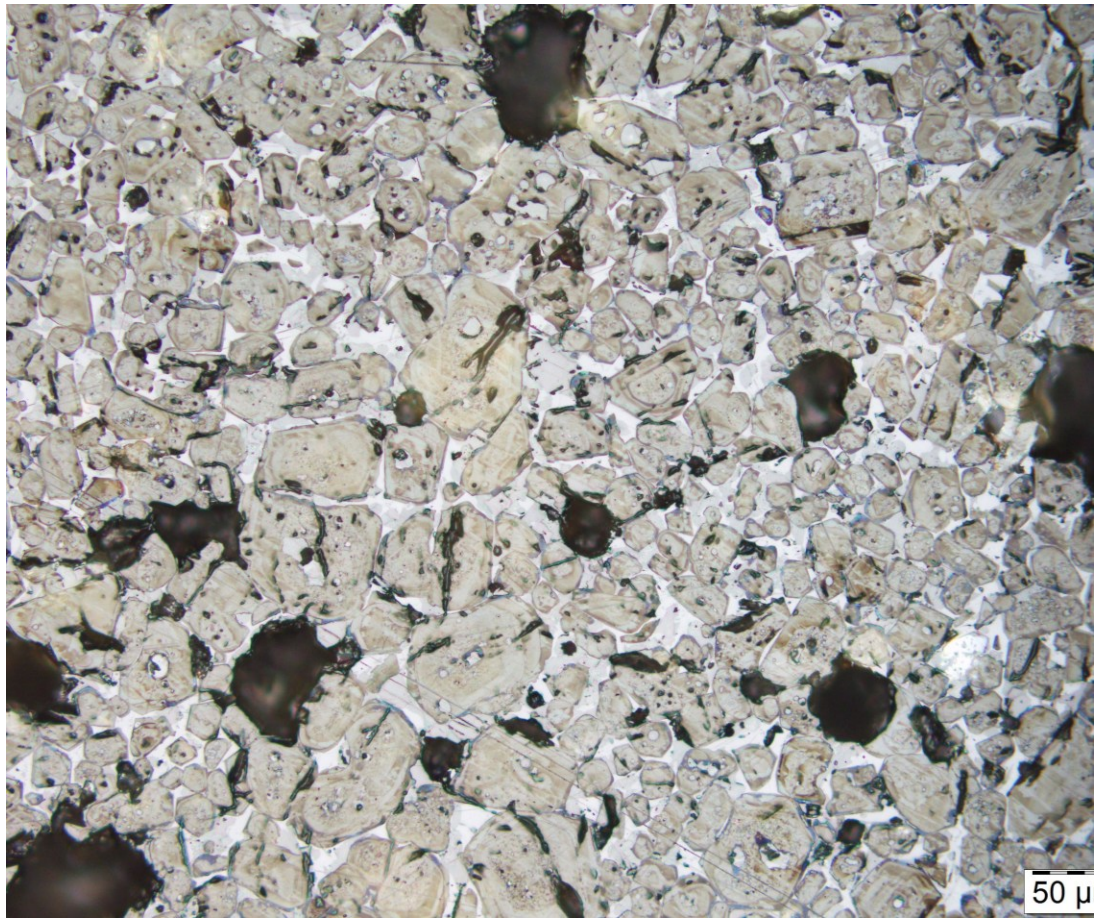




Vergleich Labor-, Pilot- u. Industrieklinker



Klinker aus der Pilotanlage



Klinker aus dem Zementwerk

Vergleich Labor-, Pilot- u. Industrieklinker

Phase	Labor	Pilot	Industrie
Belit (C2S)	13,59	37,99	15,86
Aluminat (C3A)	1,77	5,69	3,16
Freier Kalk	1,59	1,95	1,01
Alit (C3S)	65,71	35,86	63,75
Brownmillerit (C4AF)	13,27	13,01	11,20
MgO	4,07	3,62	3,70
Sum	100	98,12	98,86

Ergebnisse des 1. Industrieversuches

„spezifischen fossilen prozessbedingten CO_2-Emissionen“

355

kg CO_2-fossil/t Klinker

Industrie Versuch

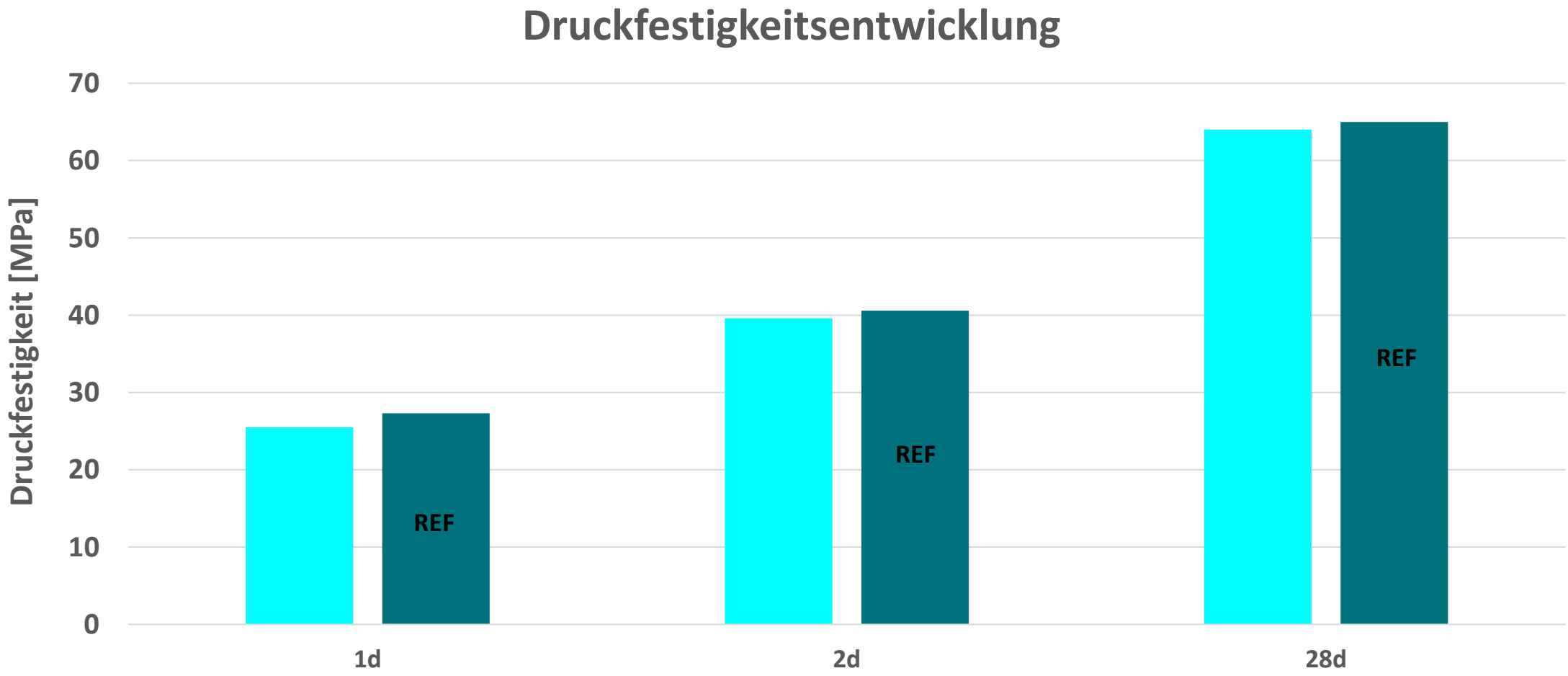
493

kg CO_2-fossil/t Klinker

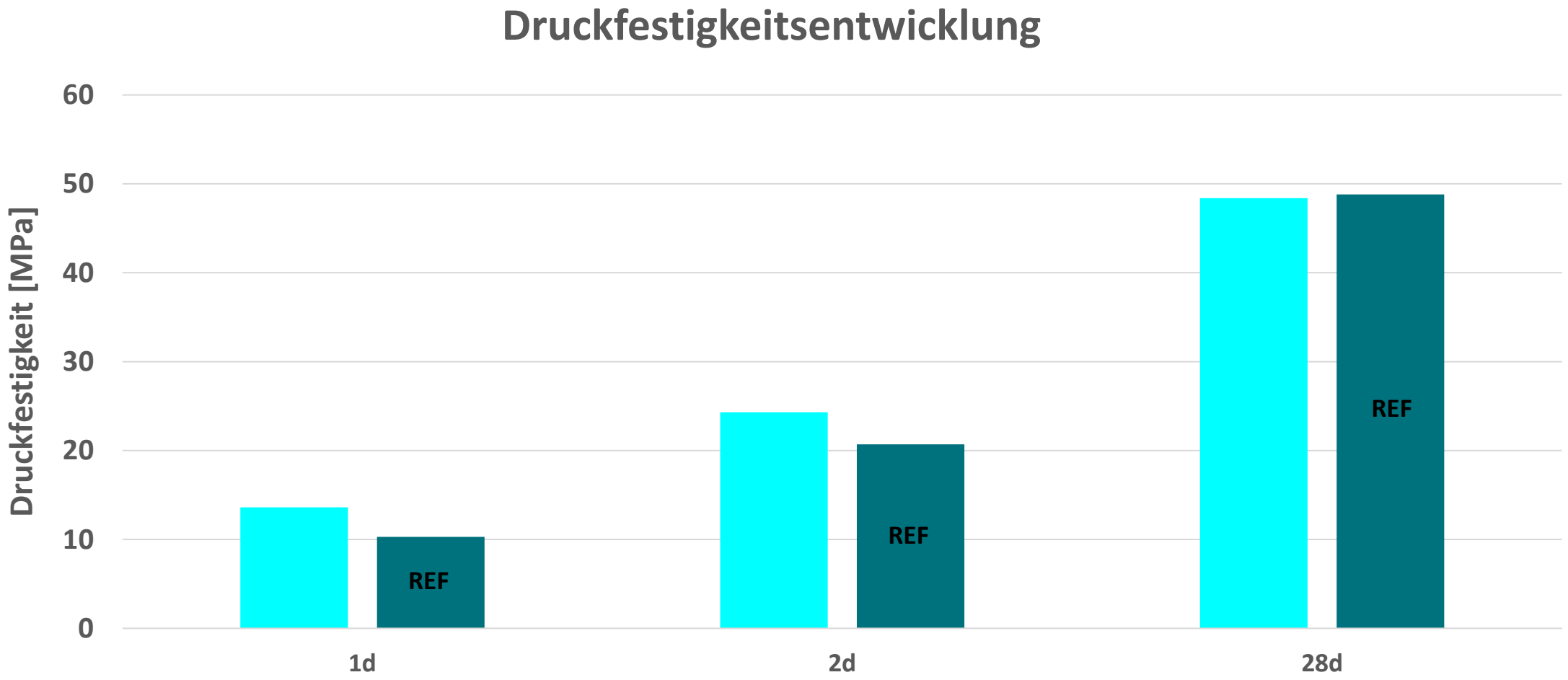
öster. Durchschnitt (2024)

≈ 30% Reduzierung

CEM I (~95% Klinker)



CEM II/C (50-64% Klinker)



2. Industrieversuch

SULFAT-BESTÄNDIGER KLINKER

33%

Ersatzrohstoffanteil

0%

Vergleich im „Versuchswerk“

Umwandlung eisenreicher LD-Konverterschlacken sowie anderer Schlacken und Aschen in wertvolle Klinkerrohstoffe

Ausblick in das finale Forschungsjahr

- Analyse und Auswertung der bisherigen Industrieversuche sowie Bewertung der Übertragbarkeit auf den Gesamtprozess
- Weiterentwicklung der **Labor- und Betonversuche** zur Optimierung und Validierung der entwickelten Bindemittel
- Untersuchung zusätzlicher Ersatzrohstoffe zur **Erweiterung** des **Rohstoffportfolios** für CO_2-reduzierte Zemente
- **Dritter Großindustrieversuch** und Optimierung der Scale-up-Strategien zur Verbesserung der **Prozessstabilität** und **Skalierbarkeit**

Zusammenfassung

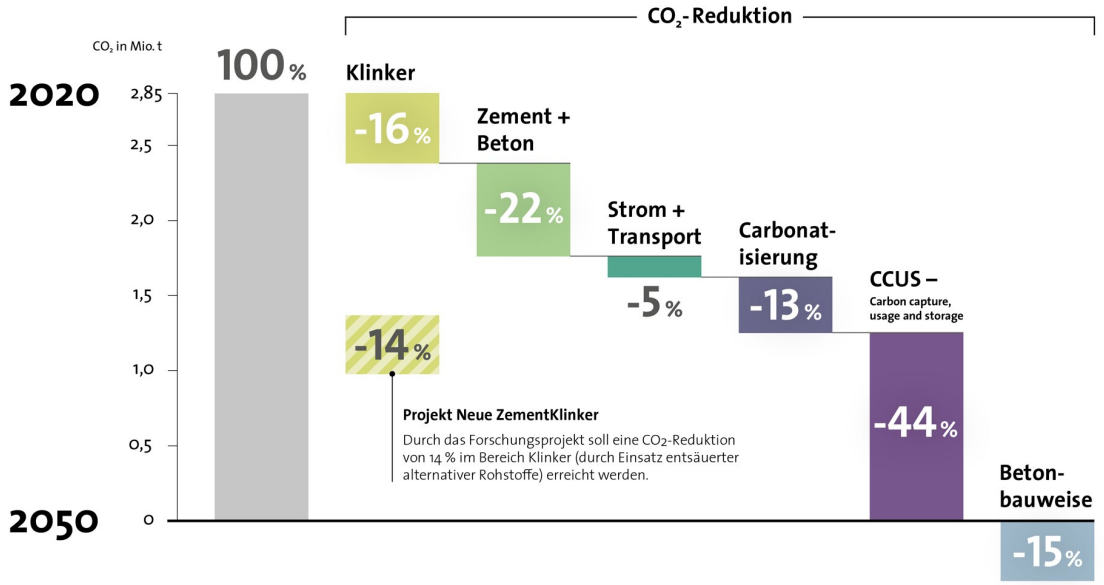
DI Wolfram Waldl

Projekt: 10/2023 – 09/2027

Partner: VÖZ

Themenschwerpunkte:

- Zementklinker aus alternativen Rohstoffen, mit einem deutlich geringeren CO_2–Fußabdruck
- Entwicklung im **Labormaßstab**, Prüfung im **Pilotmaßstab**, Erzeugung im **Industriemaßstab**
- Lösung der Prozessherausforderungen und optimierte Betoneigenschaften





Alpacem, Baumit, Kirchdorfer Zementwerk Hofmann, Danucem A CRH Company, Holcim, Leube, Rohrdorfer Gruppe, Schretter & Cie

Literaturverzeichnis:

Alpacem GmbH Österreich

IBU-tec advanced materials AG. (2025.10.07). https://www.ibu-tec.de/anlagen/drehrohrofen/

Waldl, G., Papsch, F. Roadmap zur CO2-Neutralität der österreichischen Zementindustrie bis 2050. Berg Huettenmaenn Monatsh 167, 342–348 (2022)

Hoenig V., Seiler C., Bodendiek N., Hoppe H., 2015. VDZ: Einsatz alternativer Rohstoffe im Zementherstellungsprozess – Hintergrundwissen, technische Möglichkeiten und Handlungsempfehlungen, Bericht A-2015/0117-2, VDZ gGmbH. Düsseldorf

Eurofer Steel Association (2026.05.20) https://www.eurofer.eu/

B. E. Schiele und L. W. Berens, 1972 Kalk, Herstellung-Eigenschaften-Verwendung, Verlag Stahleisen M.B.H., Düsseldorf

BMLFUW: Technische Grundlagen für den Einsatz von Ersatzrohstoffen in Anlagen zur Zementerzeugung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2. Auflage. Wien, 2017

Mauschitz G., (2024) Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie, Jährliche Ausgabe. Aktuelle Ausgabe Berichtsjahr 2023. Wien

Waldl, W., Bauer, C. & Flachberger, H.: Ressourcen- und CO2-optimierte Herstellung innovativer Zementklinker. Berg Huettenmaenn Monatsh 170, 323–329 (2025)

Waldl, W., Bauer, C., Gomernik, F. & Flachberger, H.: Ressourcen- und CO2-optimierte Herstellung innovativer Zementklinker – Zwischenbericht zum von der FFG geförderten Branchenprojekt der österreichischen Zementindustrie. Berg Huettenmaenn Monatsh 171, 330-337 (2026)

wolfram.waldl@unileoben.ac.at

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit. Glück auf!

wolfram.waldl@unileoben.ac.at