

Advanced Materials matching the needs of the European Union: Akademisch-industrielle Forschung zur Dekarbonisierung von Zement



Sophie Schmid

Sophie Schmid¹, Alexandre Ouzia², Bernhard Pichler¹

Kontakt: Bernhard.Pichler@tuwien.ac.at

¹ Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen (IMWS), TU Wien, Österreich

² Heidelberg Technologie Zentrum, Heidelberg Materials, Leimen, Deutschland



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement N° 101091687



Wozu Zementforschung ?

Motivation

globale Beton-Produktion $> 10 \text{ km}^3$ pro Jahr

Portlandzement-Produktion ≈ 4 Milliarden Tonnen pro Jahr

$\approx 8 \%$ der anthropogenen CO_2 Emissionen

Maßnahmen

- Reduktion des Anteils an Portlandzement im Zementsack
- Ersatz von Portlandzement durch hydraulisch wirksame Zusatzstoffe



Tunnel



Gebäude



Brücken



Autobahnen

Kompositemente: ein zentraler Forschungsschwerpunkt der GCCA



Global Cement and Concrete
Association

INNOVANDI

Global Cement and Concrete Research Network

- weltweit führende Industrieunternehmen
- 43 universitäre Partner aus 5 Kontinenten, darunter:



- präkompetitive Grundlagenforschung
- Wert der Forschung > 10 Millionen € pro Jahr

Horizon Europe Projekt



Ziele

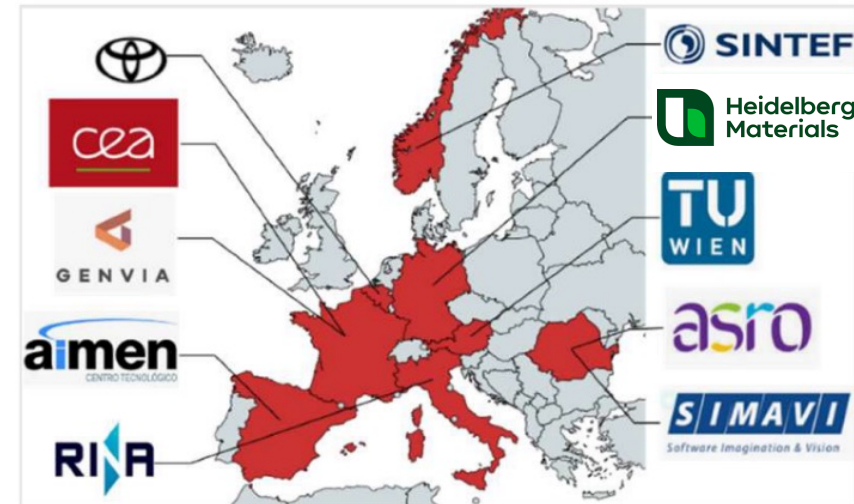
- Beschleunigung der Entwicklung moderner Materialien mittels *Physik*- und *Daten-basierter* Materialforschung
- Materialcharakterisierung – Modellierung – Validierung

3 Materialtypen für unterschiedliche Anwendungsfälle

- CO₂-Ausstoß-reduzierende Kompositzemente aus Zement, Kalkstein und wärmebehandelten Tonen # Bauwesen
- Festoxid-Brennstoffzellen/Elektrolysezellen # Energie
- Protonen-Austausch-Membran-Brennstoffzellen # Mobilität

10 Projektpartner

in akademisch/industrieller Kooperation



MatCHMaker-Anwendungsfall: Kompositzemente

Fokus auf Zementstein

- Zementleim = Zement + Wasser
- Zementstein = erhärteter Zementleim



Experimente zur Frühzeit-Charakterisierung

- Festigkeitsentwicklung
 - Festigkeit = Widerstand gegen Versagen
- Steifigkeitsentwicklung
 - Steifigkeit = Widerstand gegen Verformung

Heidelberg
Materials

Mehrskalen-Materialmodellierung

- Frühzeit-Festigkeitsentwicklung

Materialien und Methoden

Zemente

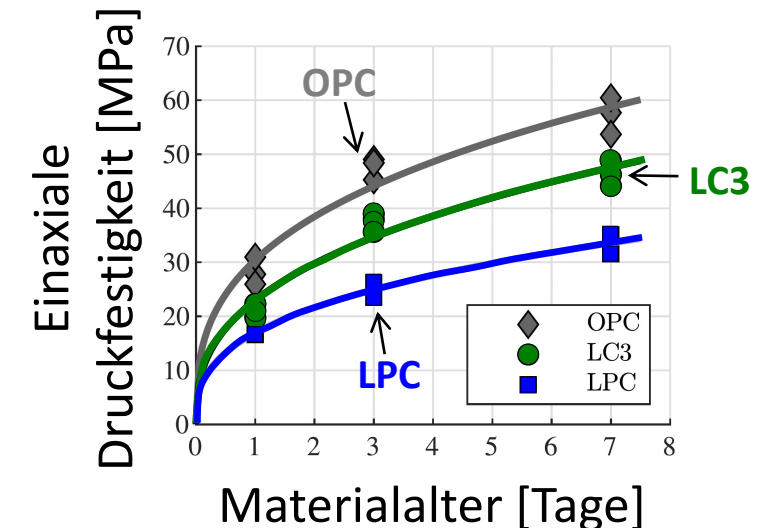
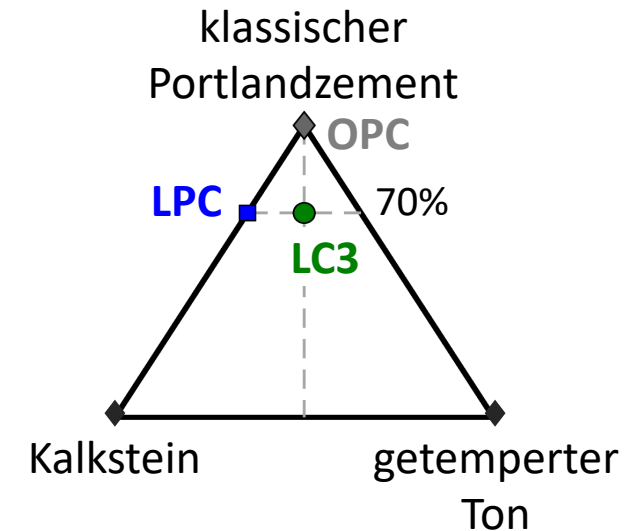
- 100% klassischer Portlandzement (OPC)
- 70% OPC + 30% Kalkstein (LPC)
- 70% OPC + 15% Kalkstein + 15% wärmebehandelter Ton (LC3)

Zementsteine

- anfängliches Wasser-zu-Zement Massenverhältnis = 0.45
- Aushärtetemperatur = 25°C

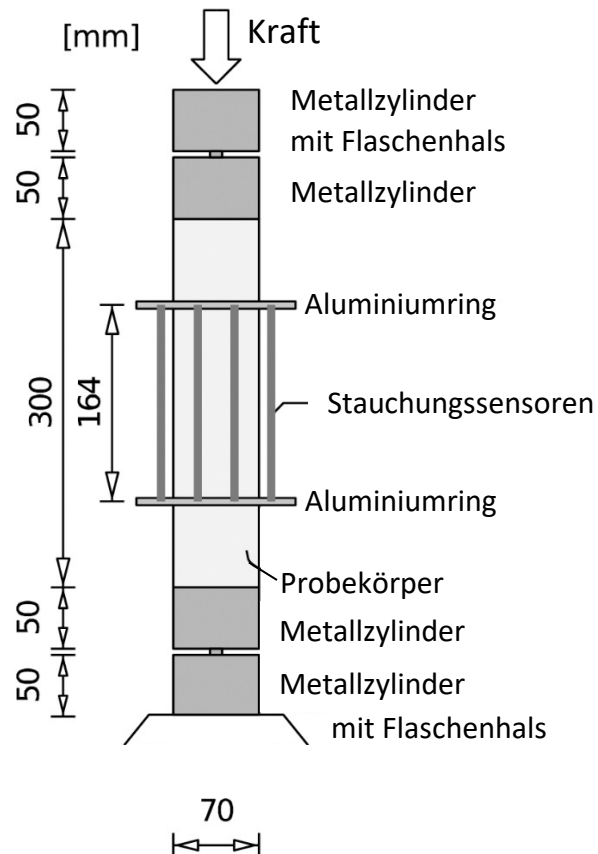
Prüfmethoden

- Einaxiale Druckversuche
- Stündliche 3-Minuten Kriechtests



Stündliche 3-Minuten Kriechtests

Aufbau



Probekörper: Zylinder mit

- Durchmesser = 7 cm
- Höhe = 30 cm

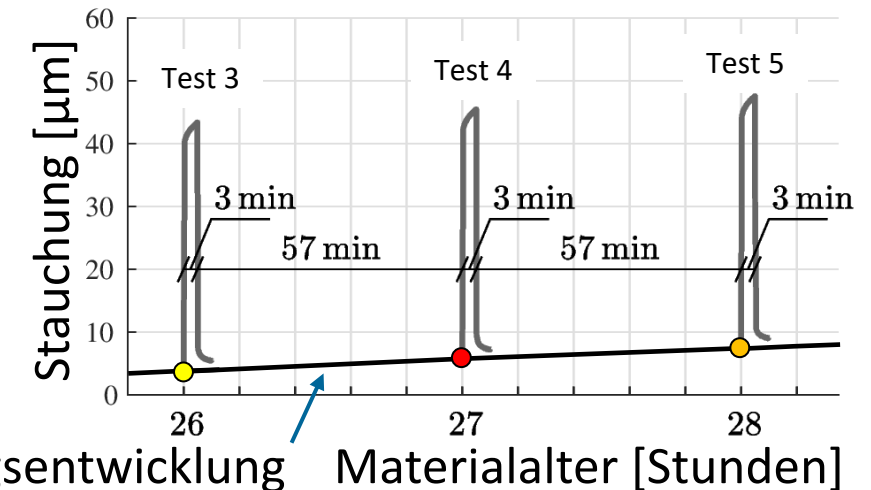
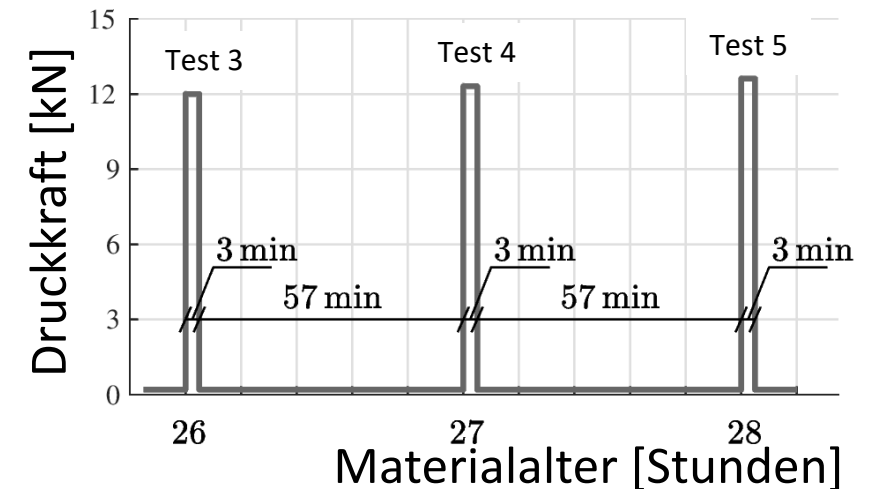
Testprotokoll

- Stündliche 3-min Kriechtests
- Materialalter: 1 bis 7 Tage
- Serie von 145 Tests je Probekörper

Individuelle 3-Minuten Kriechtests

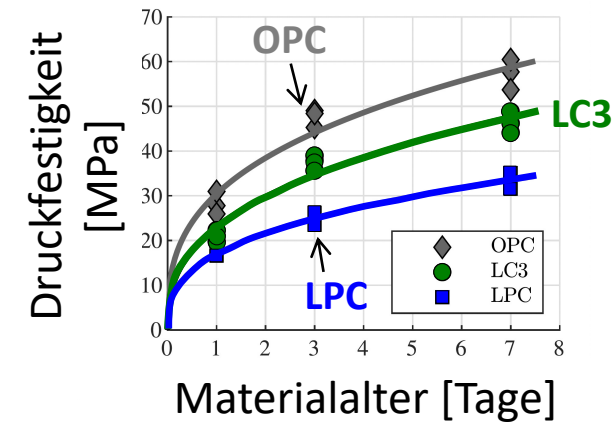
- Belastung auf 15% der Festigkeit
- Konstante Belastung für 3 Minuten
- Entlastung

[Irfan-ul-Hassan et al., CemConRes, 2016]

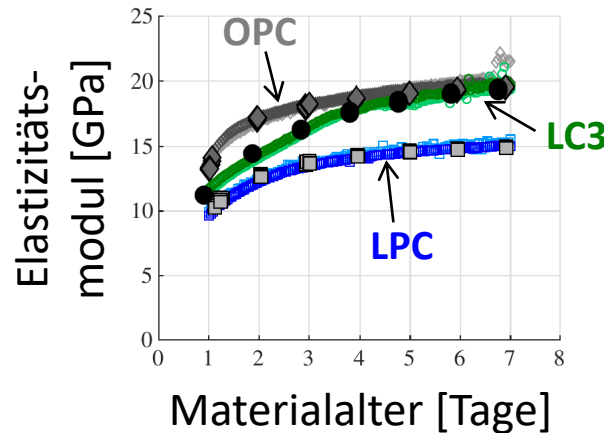


Ergebnisse der Materialcharakterisierung

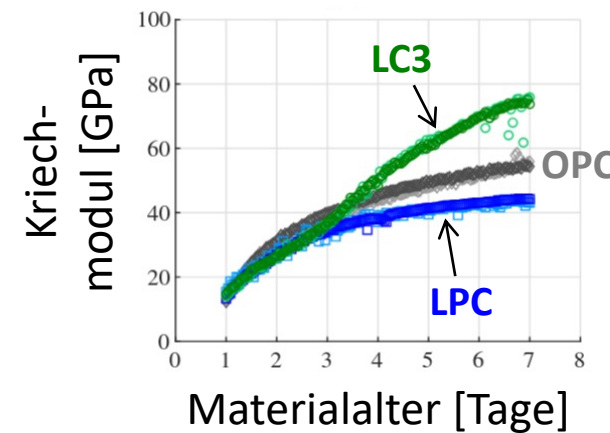
Druckfestigkeit



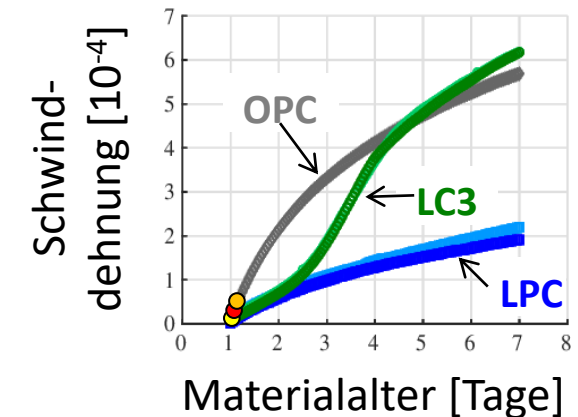
Elastische Steifigkeit



Kriechen



Schwinden



Zement-Teilersatz durch Kalkstein: LPC

- ähnliches Verhalten wie Portlandzement: OPC
- geringere Festigkeit
- mehr Nachgiebigkeit

Zement-Teilersatz durch Kalkstein und wärmebehandelten kaolinitischen Ton: LC3

- weniger zeitabhängige Verformung
- S-förmiger Verlauf der Schwindens

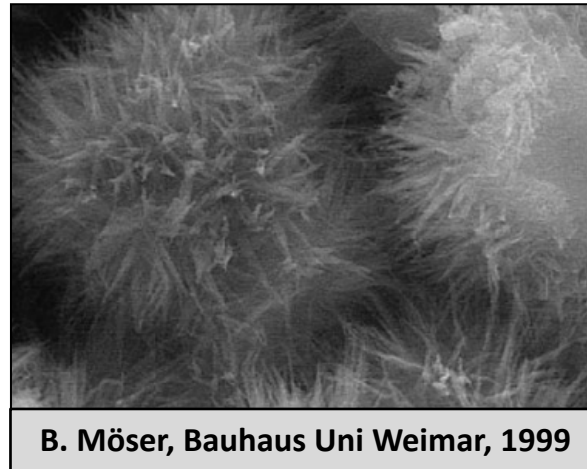
Mehrskalen Festigkeitsmodellierung

Zementstein =

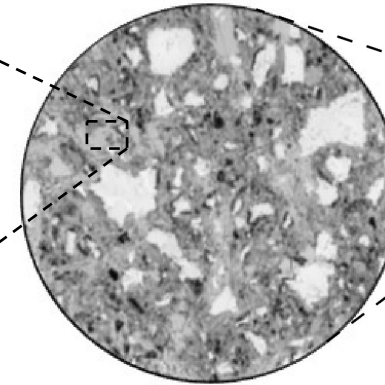
Zementkörner in
Hydratschaummatrix

Hydratschaum =

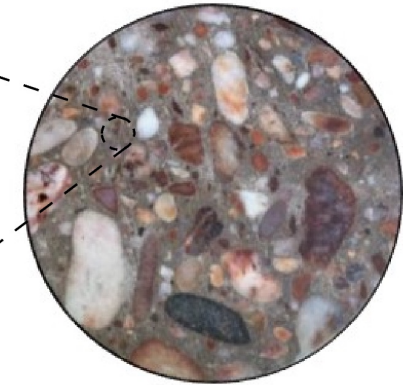
Hydratgeladeln in
direkter Interaktion mit Kapillarporen



Hydratschaum



Zementstein



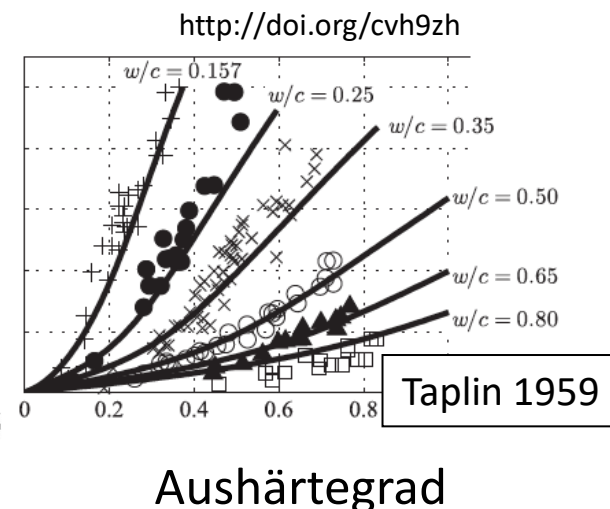
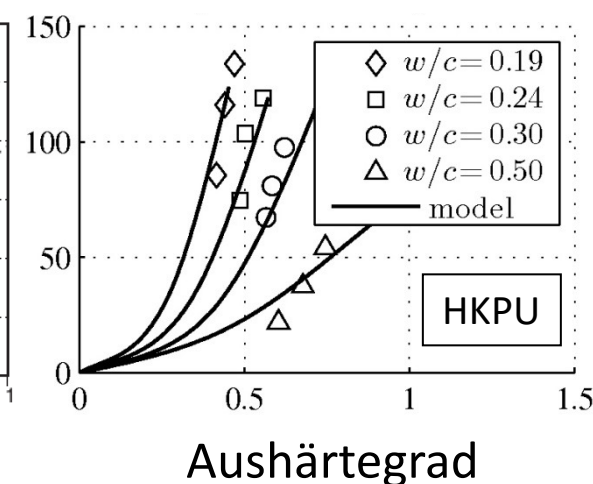
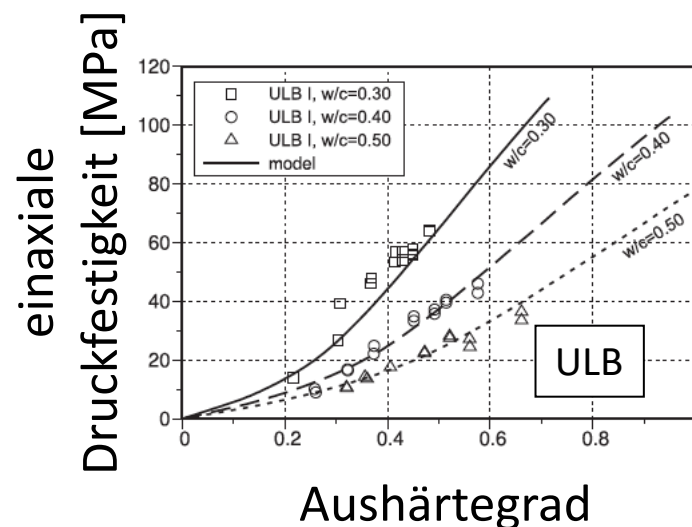
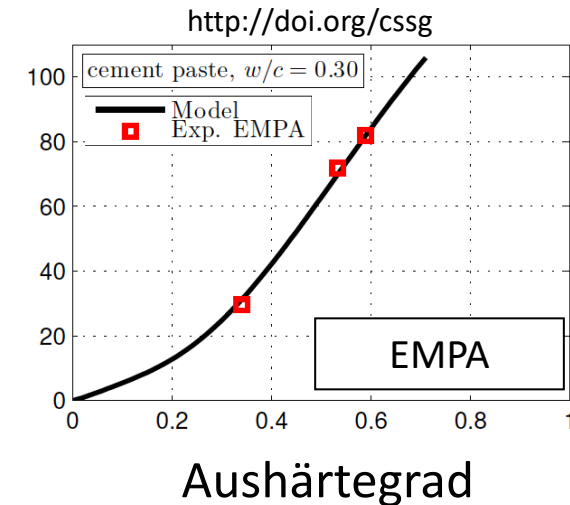
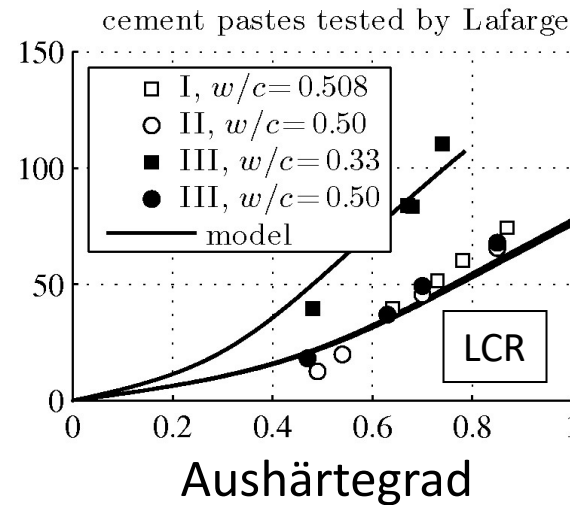
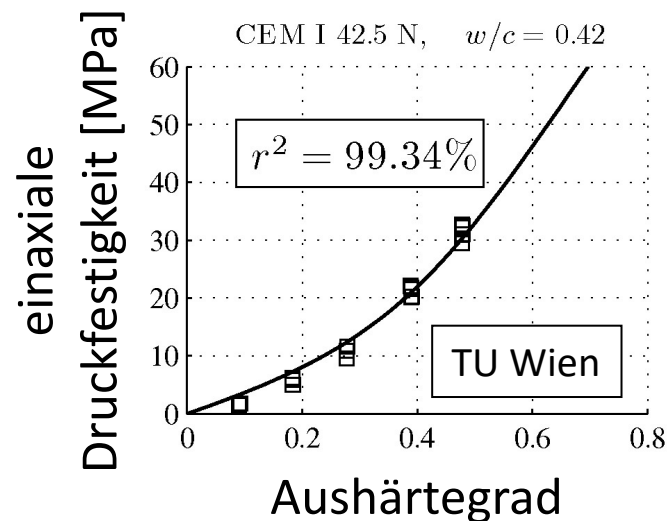
Beton

Festigkeitsmodellierung

- Hydratgeladeln = schwächster Bestandteil der Mikrostruktur, mit bekannter und konstanter Festigkeit
- Volumenanteile der Materialbestandteile verändern sich während des Aushärtens
 - Zement und Porenwasser werden konsumiert
 - Hydratgeladeln werden produziert

Festigkeits- Vorhersage

für Zementsteine
aus Portlandzement



Fazit

- Globale Minimierung der CO₂-Emissionen = zentrale Aufgabe des 21. Jahrhunderts
- Akademisch-industrielle Zusammenarbeit ist der Schlüssel
- Bauingenieurwesen = Studium für alle, die unsere Zukunft verantwortungsvoll gestalten wollen



<https://www.tuwien.at/cee>