

Beton gegen den Klimawandel?

**Gezielte Karbonatisierung von rezyklierten
Zuschlägen aus Beton**

Dipl.-Ing. Marko Seidemann

Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller

Fachtagung Recycling R´10

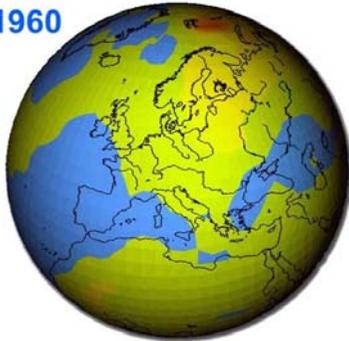
Weimar, 22. / 23.09.2010



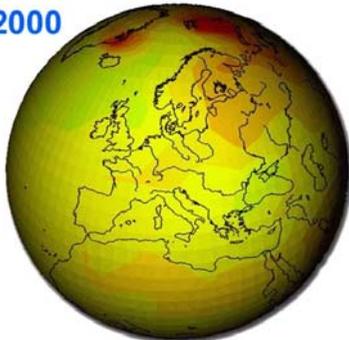
Gliederung

- Einleitung
- Problem- und Zielstellung
- Karbonatisierungsvorgang
- Karbonatisierungsprodukte
- Modell zur Gefügeveränderung
- Versuchsapparatur
- Versuche und Ergebnisse
- Ausblick

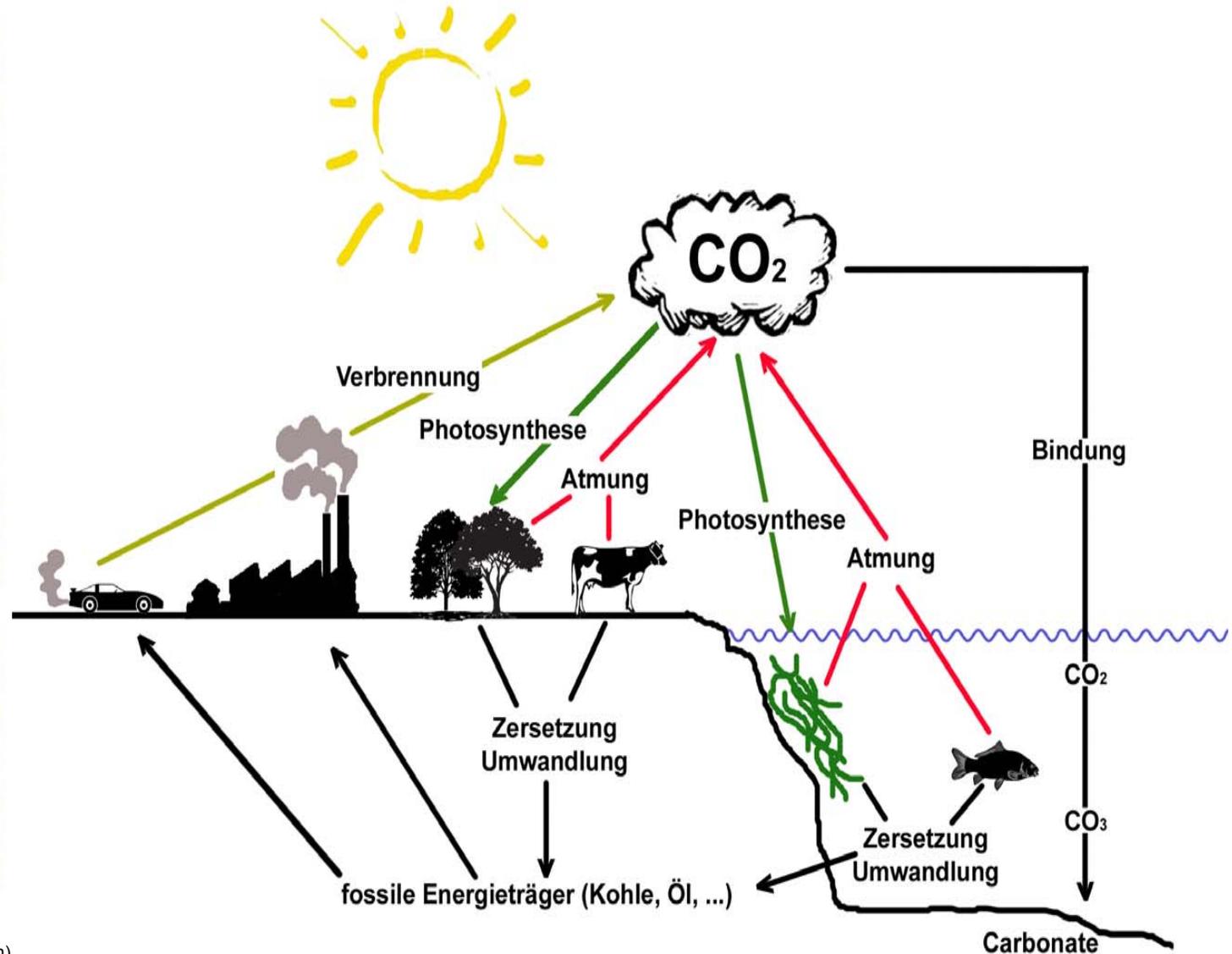
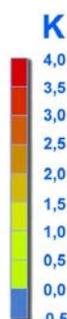
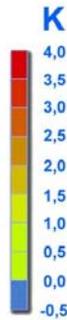
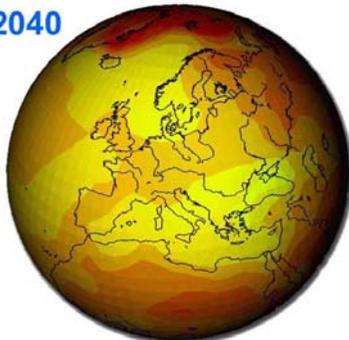
1960



2000

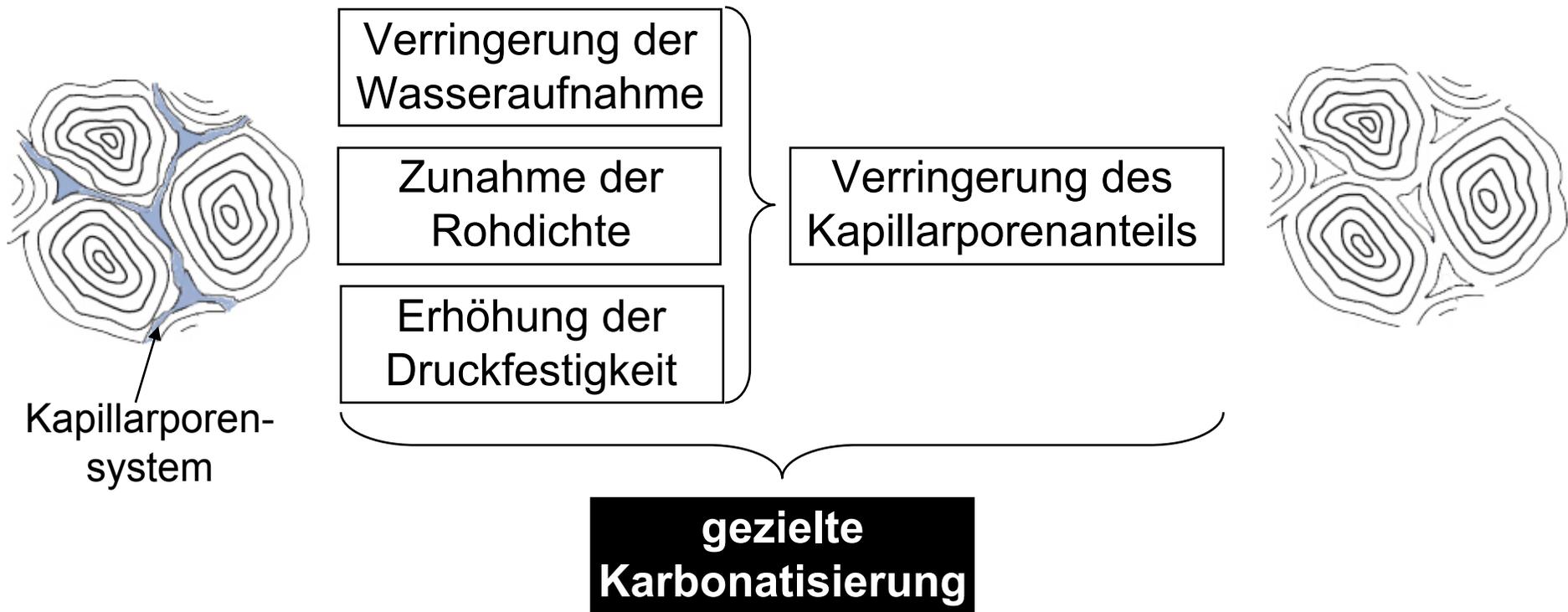


2040



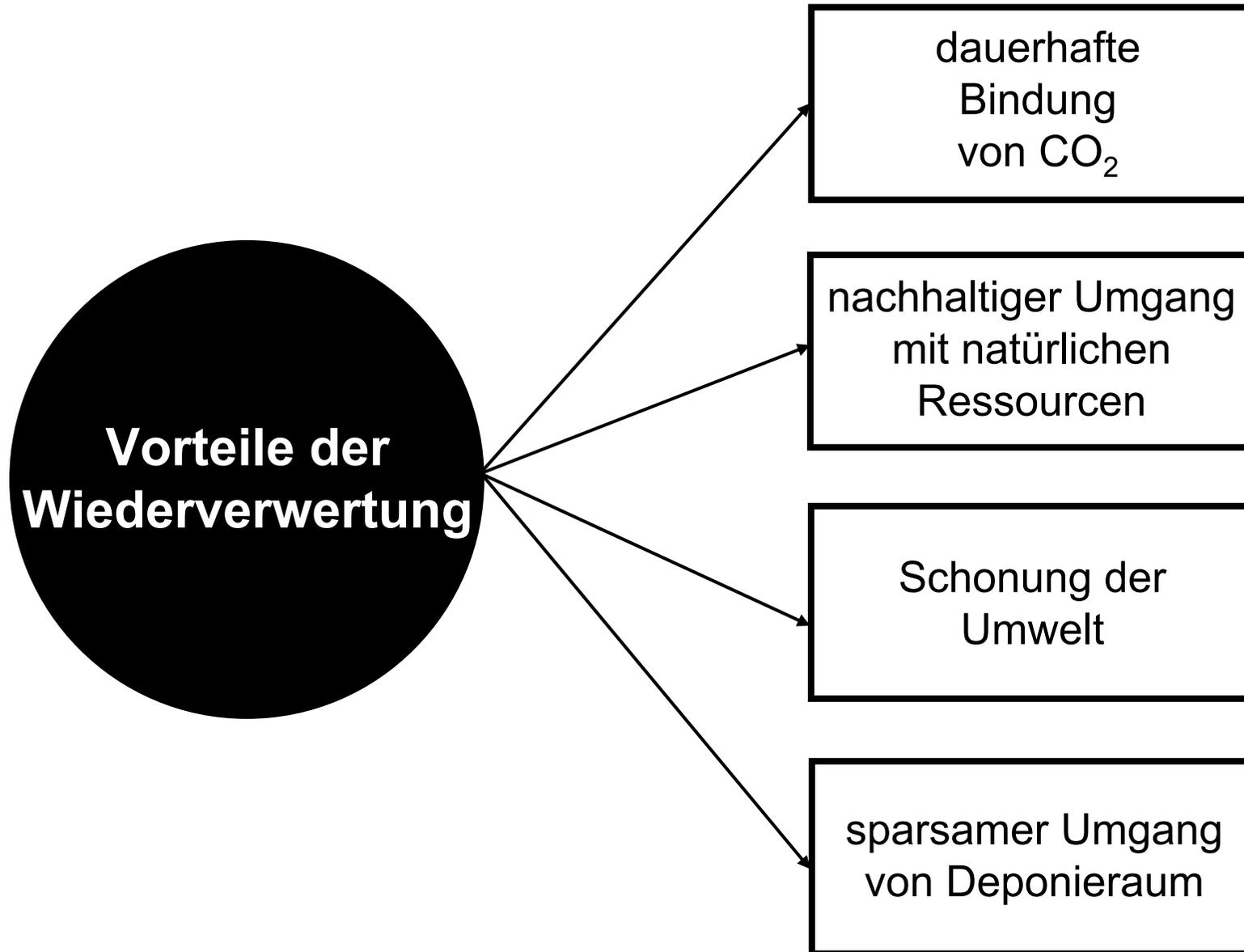
Ziele:

- Kohlendioxid im Beton dauerhaft binden
- Eigenschaften der rezyklierten Gesteinskörnung verändern



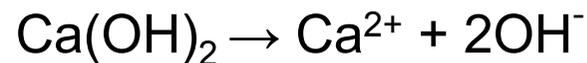
- rezyklierte Gesteinskörnung aus Betonbruch in den Bauprozess wieder einbinden (z.B. als Betonzuschlag)

Problem- und Zielstellung



Hauptphasen der Karbonatisierung:

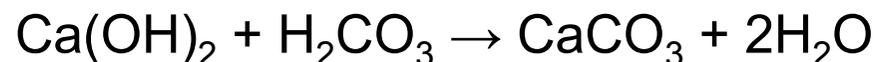
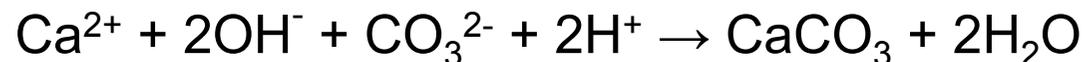
1.Phase: Eindiffundieren des CO_2 in die Kapillarporen
gleichzeitig löst sich das kristalline Calciumhydroxid
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ im Porenwasser



2.Phase: Lösen des Kohlendioxids CO_2 Porenwasser



3.Phase: Reaktion zu Calciumcarbonat und Wasser



- 11 %-ige Volumenzunahme bei der Umsetzung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zu CaCO_3

Karbonatisierungsvorgang

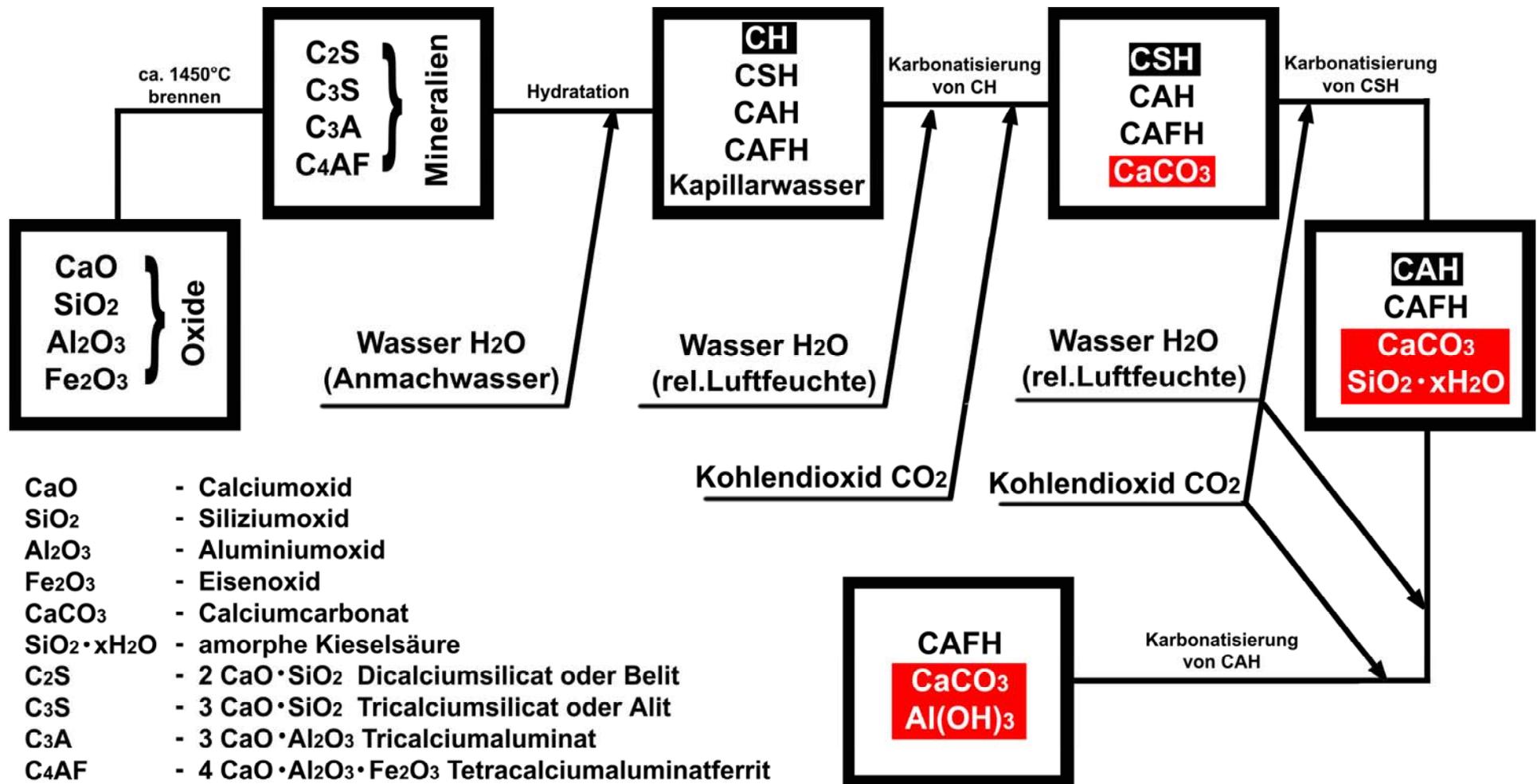
natürliche Atmosphäre		Laboratmosphäre
0,038 Vol.-% CO ₂	} Karbonatisierung beschleunigen	0 bis 100 Vol.-% CO ₂
stark schwankende relative Luftfeuchtigkeit		60 bis 80 % relative Luftfeuchtigkeit
-20 °C bis 40 °C		20°C
große Betonbauteile		kleine Partikelgrößen

- Wurzel – Zeit – Gesetz beschreibt den zeitlichen Verlauf der Karbonatisierung

$$y = \underbrace{\sqrt{\frac{2D(c_0 - c)}{m_0}}}_{\text{Karbonatisierungs-
koeffizient } -k} \cdot \sqrt{t} = k \cdot \sqrt{t}$$



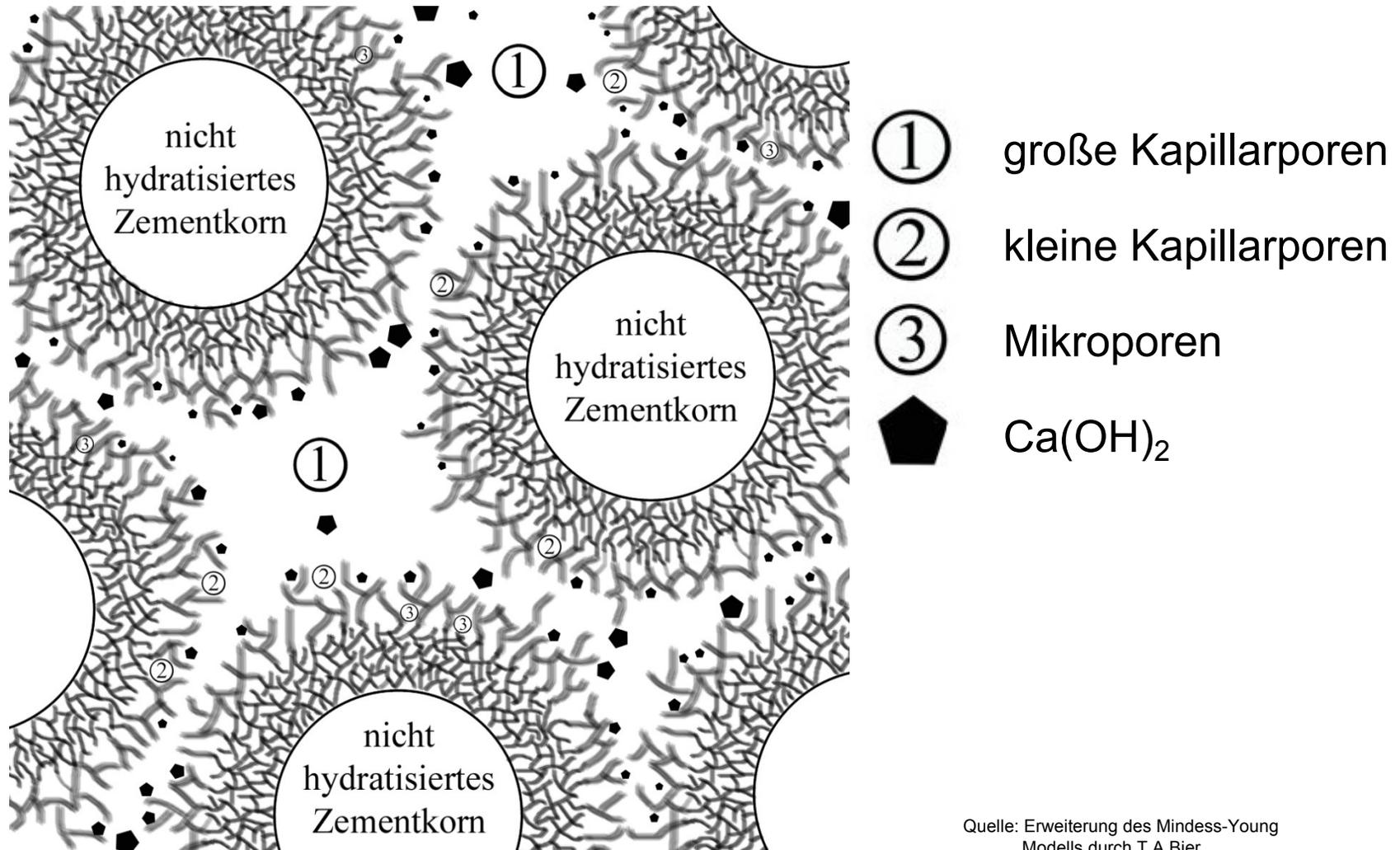
Karbonatisierungsprodukte



- CaO - Calciumoxid
- SiO₂ - Siliziumoxid
- Al₂O₃ - Aluminiumoxid
- Fe₂O₃ - Eisenoxid
- CaCO₃ - Calciumcarbonat
- SiO₂·xH₂O - amorphe Kieselsäure
- C₂S - 2 CaO·SiO₂ Dicalciumsilicat oder Belit
- C₃S - 3 CaO·SiO₂ Tricalciumsilicat oder Alit
- C₃A - 3 CaO·Al₂O₃ Tricalciumaluminat
- C₄AF - 4 CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃ Tetracalciumaluminatferrit
- CH - Ca(OH)₂ Calciumhydroxid (Portlandit)
- CSH - Calciumsilicathydrate (C-S-H Phasen) mit variabler chemischer Zusammensetzung
- CAH - Calciumaluminatthydrate (C-A-H Phasen) mit variabler chemischer Zusammensetzung
- CAFH - Calciumaluminatferrithydrate (C-AF-H Phasen) mit variabler chemischer Zusammensetzung

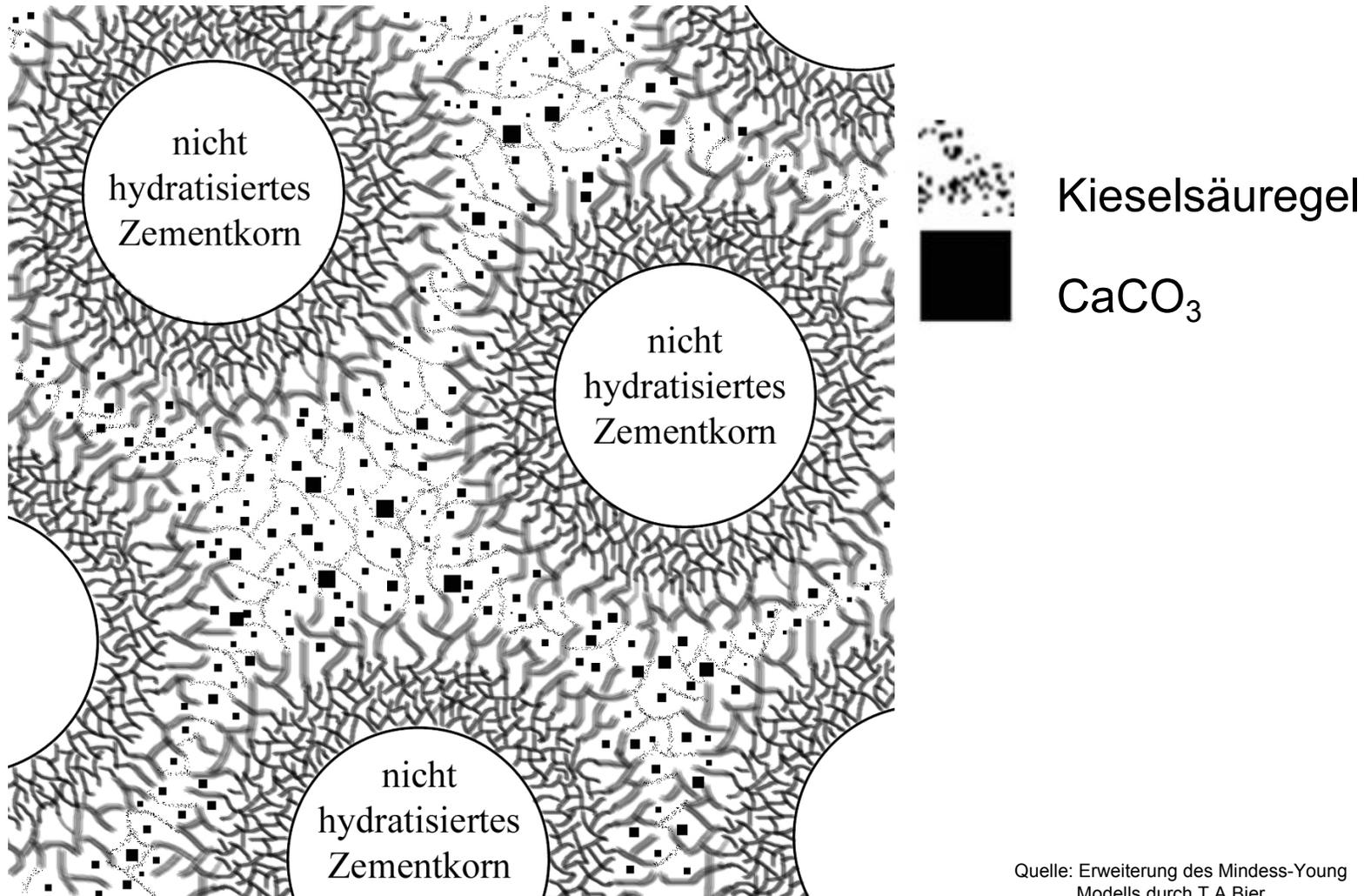
Modell zur Gefügeveränderung

o Gefügedarstellung von einem hydratisierten und nicht karbonatisierten Portlandzementstein



Quelle: Erweiterung des Mindess-Young Modells durch T.A.Bier

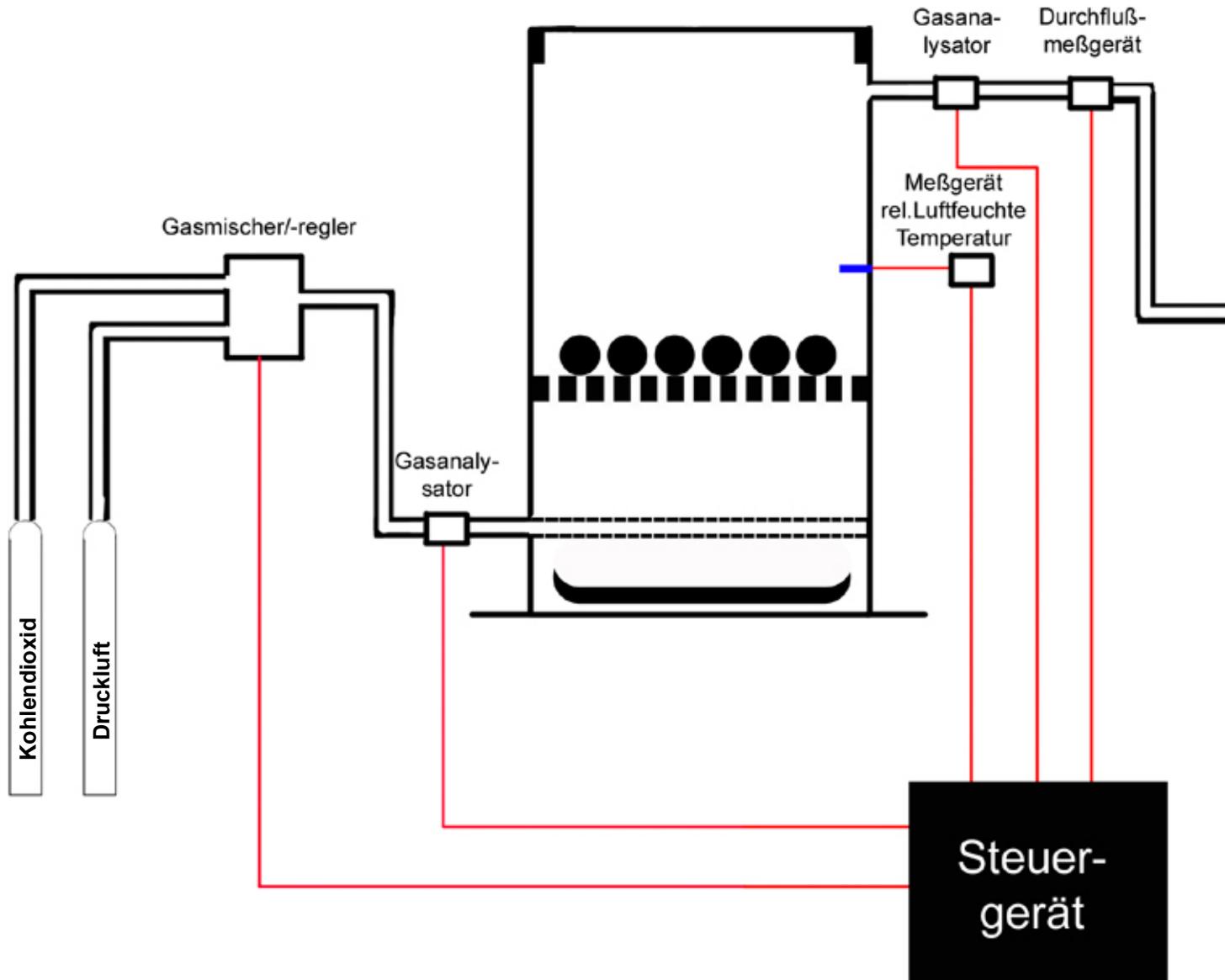
o **Gefügedarstellung von einem hydratisierten und karbonatisierten Portlandzementstein**



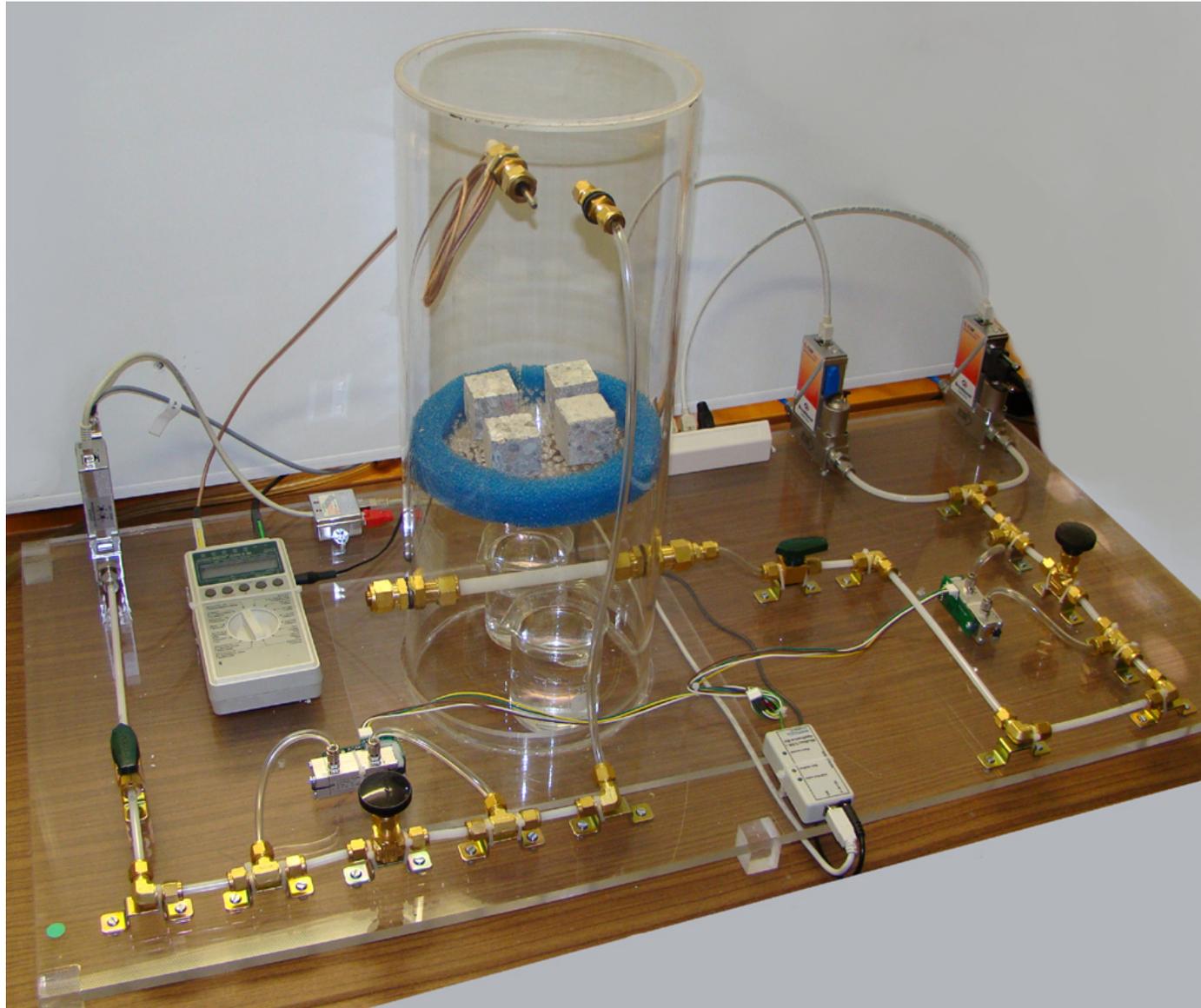
Quelle: Erweiterung des Mindess-Young Modells durch T.A.Bier



Versuchsapparatur - durchströmter Probenraum



Versuchsapparatur - durchströmter Probenraum



Versuche und Ergebnisse

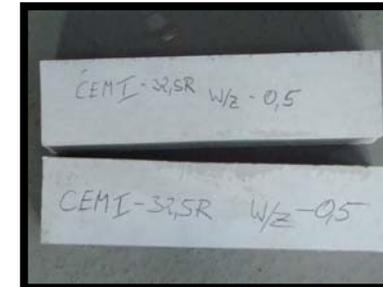
Karbonatisierung von:

- Klinkerphasen
 - C_2S – Dicalciumsilicat (Belit)
 - C_3S – Tricalciumsilicat (Alit)
- Zementstein
- Modellbetonen
- Praxisbetonen



Karbonatisierung von Zementstein:

- CEM I 32,5R w/z – 0,5

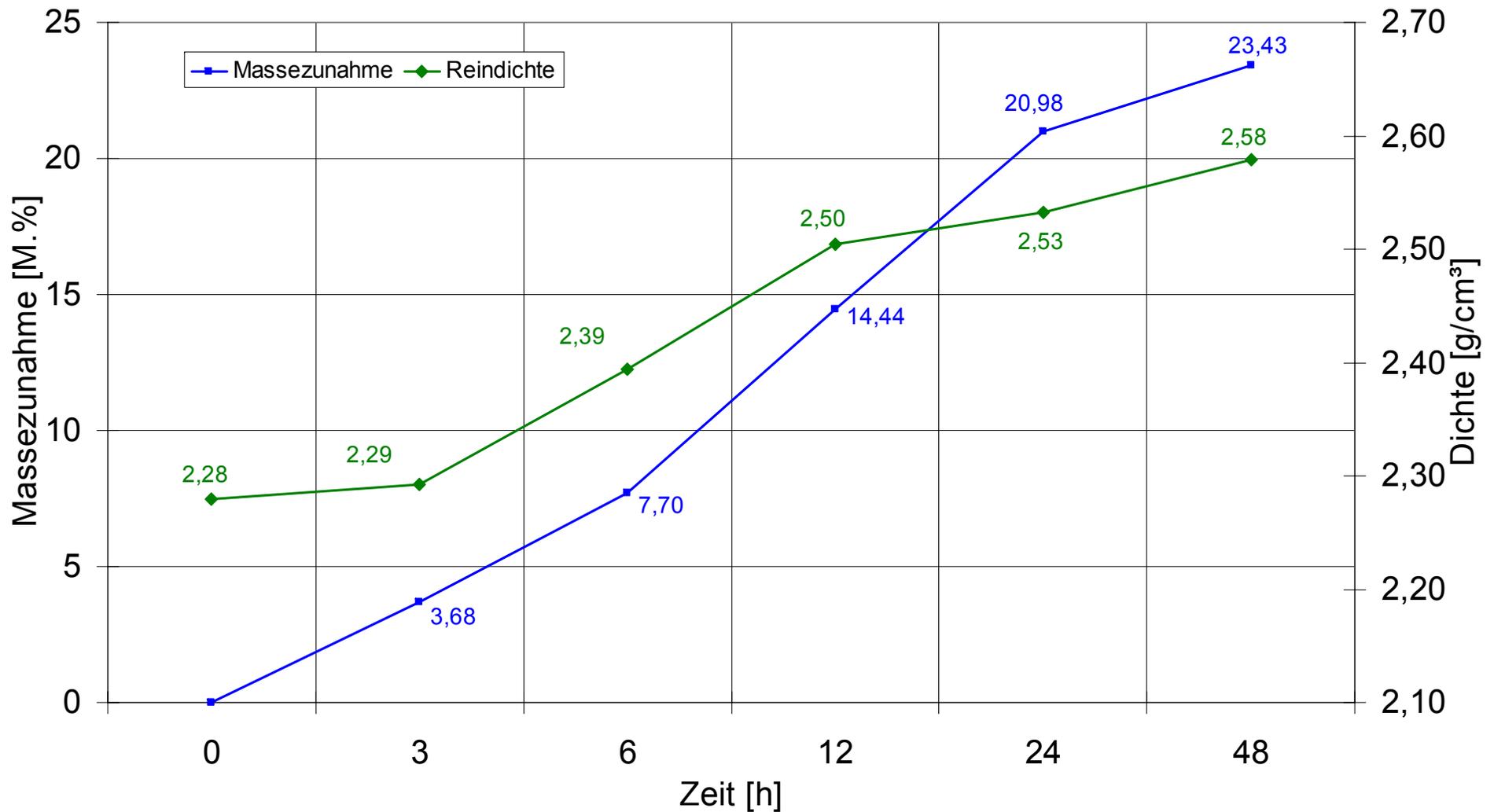


- Partikelklasse 2/4

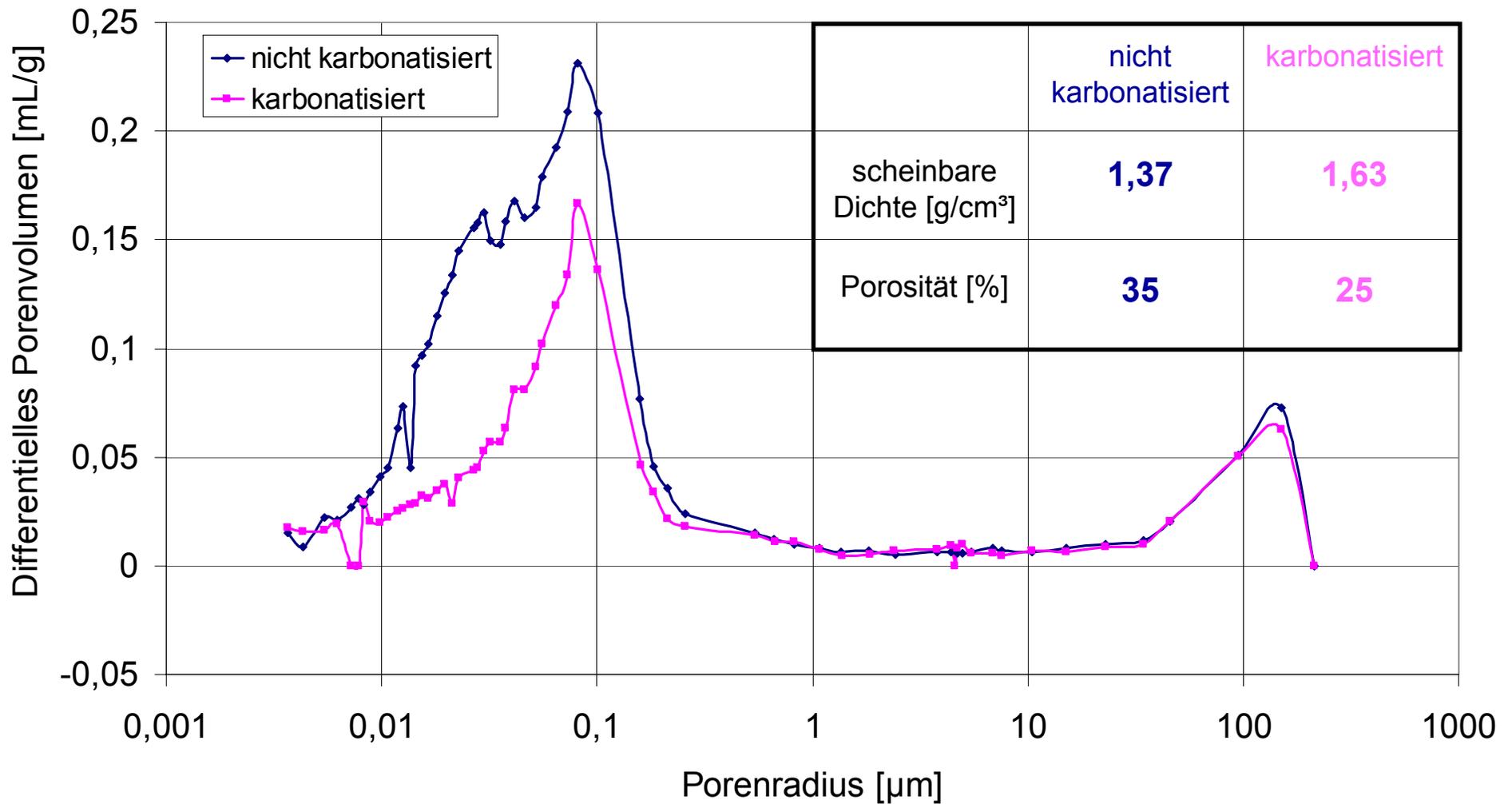


- Karbonatisierung mit 20, 40, 60, 80, 100 Vol.-% CO₂
- Karbonatisierungsdauer 3, 6, 12, 24, und 48 Stunden

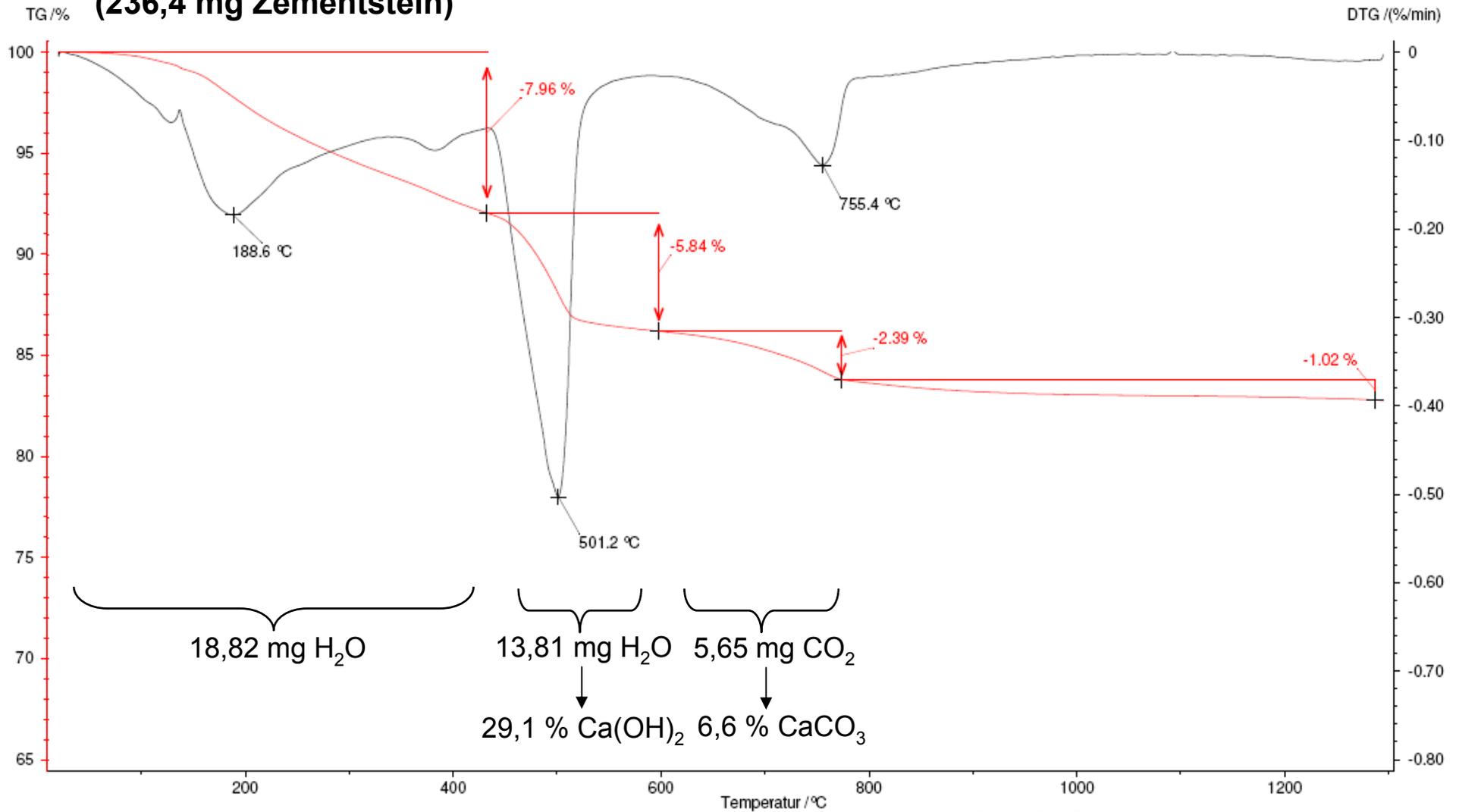
● Masse- und Dichtezunahme bei 20 Vol.-% CO₂



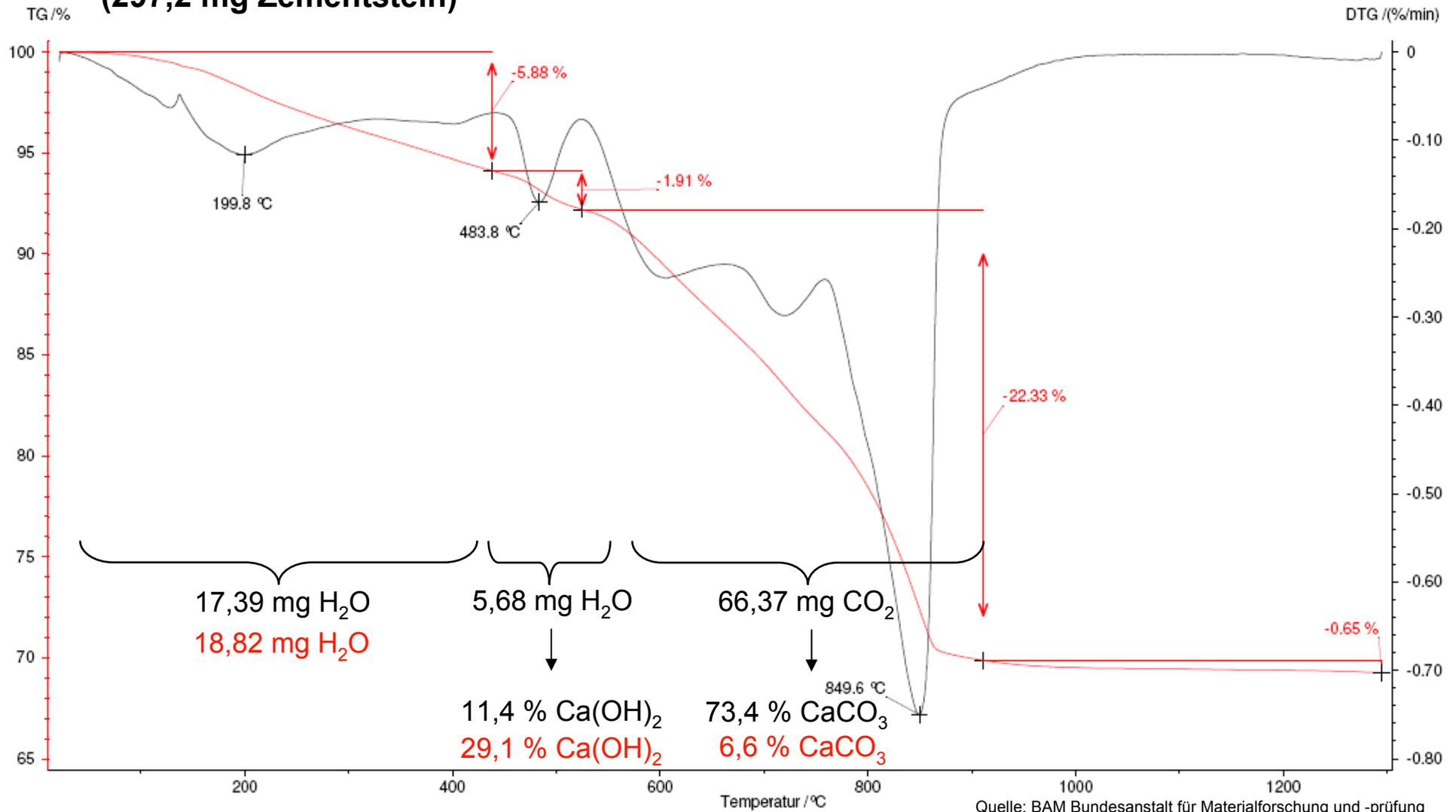
● Porenradienverteilung vor und nach der Karbonatisierung



Thermische Analyse vor der Karbonatisierung (236,4 mg Zementstein)



Thermische Analyse nach der Karbonatisierung (20 Vol.-% CO₂) (297,2 mg Zementstein)



Versuche und Ergebnisse



- Massezunahme → ca. 23 M.-%
- Rohdichtezunahme → ca. 20 %
- Verringerung des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – Gehaltes → ca. 60 %
- Anstieg des CaCO_3 – Gehaltes → ca. 11-fach



nächste Schritte:

- Versuche an Modell- und Praxisbetonen
- Versuche an Körnungen von Abbruchbetonen
- Versuchsbedingungen variieren (Temperatur erhöhen)
- Laborergebnisse im technischen Maßstab nachweisen
- Entwicklung einer technischen Anlage
- Betreiben einer Anlage im normalen Produktionsablauf

Beton gegen Klimawandel?

Steinour Formel:

$$\text{CO}_2 \text{ Gehalt in \%} = 0,785(\text{CaO} - 0,7 \cdot \text{SO}_3) + 1,091 \cdot \text{MgO} + 1,42 \cdot \text{Na}_2\text{O} + 0,935 \cdot \text{K}_2\text{O}$$

$$= \text{ca. } 50\% \quad \rightarrow \quad 50 \text{ g CO}_2/100 \text{ g PZ}$$

1 m³ Beton → 300 kg PZ → 150 kg CO₂/m³ Beton



150 kg CO₂ auf 750 km

1 m³ Beton → 750 km

CO₂ Ausstoss ca. 200 g/km



Bauhaus-Universität Weimar
Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung

CO₂ - Behandlung

Stein

CO₂ C

4. CO₂ - Behandlung

d) Technologie

K₂O

Recyclinganlage der Zukunft?



Einnahmen aus Emissionshandel

verbesserter rezyklierter Zuschlag

1000 t Betonbruch



100.000 km

on

km

[www.zdf.de]

29 / 31



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

<http://www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/>

gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung e.V.

www.abw-recycling.de