Untersuchung der Reaktionskinetik thermisch träger Biomassepartikel

Till Frasch

Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Motivation

Defossilisierung der Zementherstellung

- Kalzinierungsreaktion: $CaCO_3 \rightarrow CO_2 + CaO$ (bei 900 – 1200 °C)

- CO_2 entsteht durch chemische Reaktion und muss abgeschieden/abgefangen werden (CCUS).

→ Verbrennung beizubehalten ist legitim.

- Holz bzw. Biomasse für die Wärmebereitstellung während der Kalzinierung nutzen.

→ Wie verhält sich Biomasse im Vergleich zu konventionellen Brennstoffen?

- Vorbehandlung des linimum reduziere

→ Wie verhalten sich nfluss der Transp



≤ 200 µm

vs.



≥ 1 cm

Zielsetzung

Untersuchung thermisch träger Biomassepartikel

- Untersuchung der Kinetik durch Pyrolyseversuche

- Buchenholz als Brennstoff

→ Intrinsische Kinetikdaten und Zusammensetzung bekannt

- Einbringen sphärischer Partikel mit bis zu 2 cm Durchmesser in den Reaktor

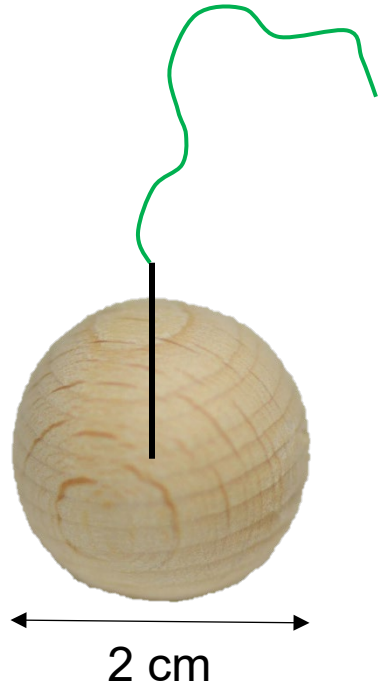
→ Geometrische Anforderung an die Brennstoffzufuhr

- Messung der Temperatur im Partikelzentrum während der Pyrolyse

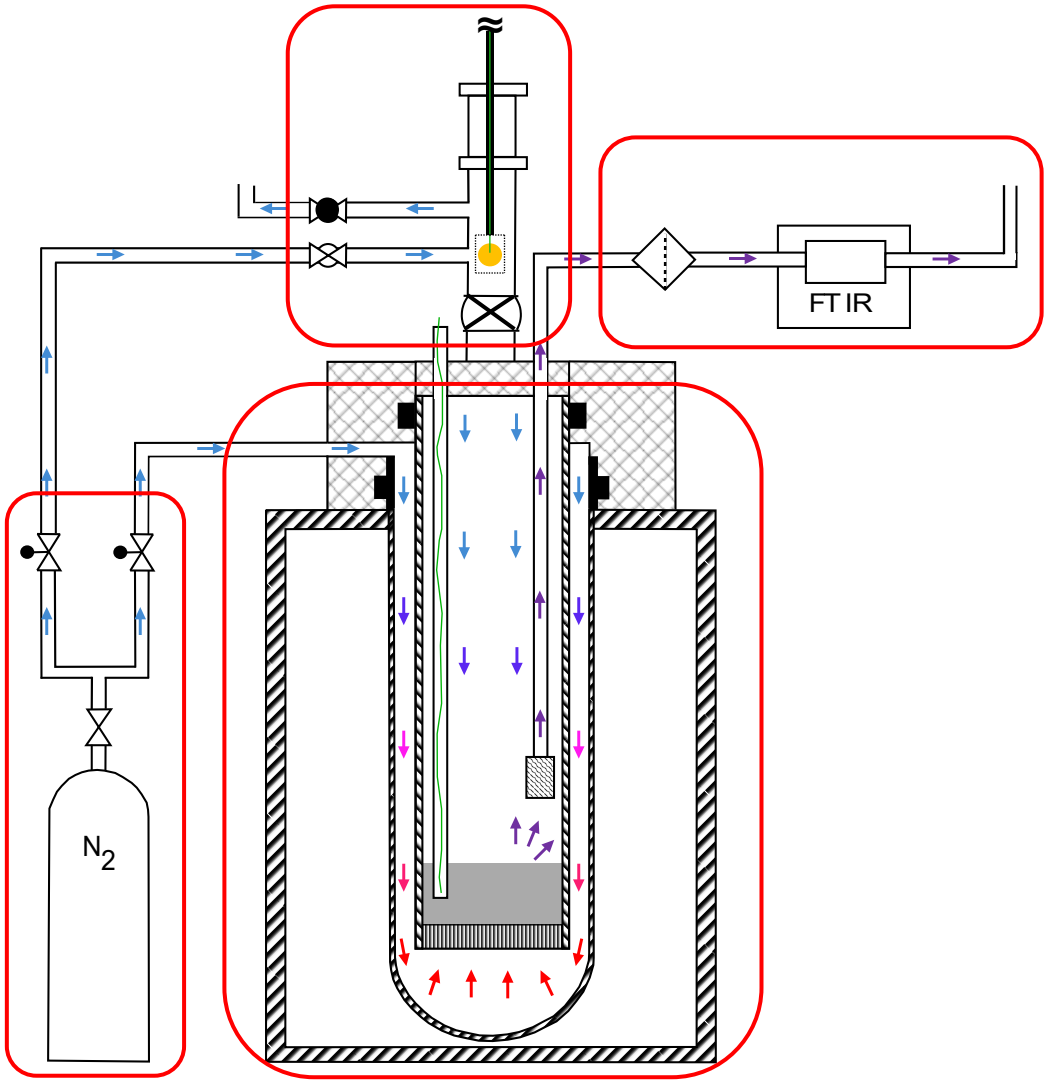
→ Thermoelement (TC) in Partikel

- Anpassung eines bestehenden WSR Aufbaus (für pulverförmige Brennstoffe)

- Vergleich zu simulierten Daten (Schalenmodell)



Reaktoraufbau

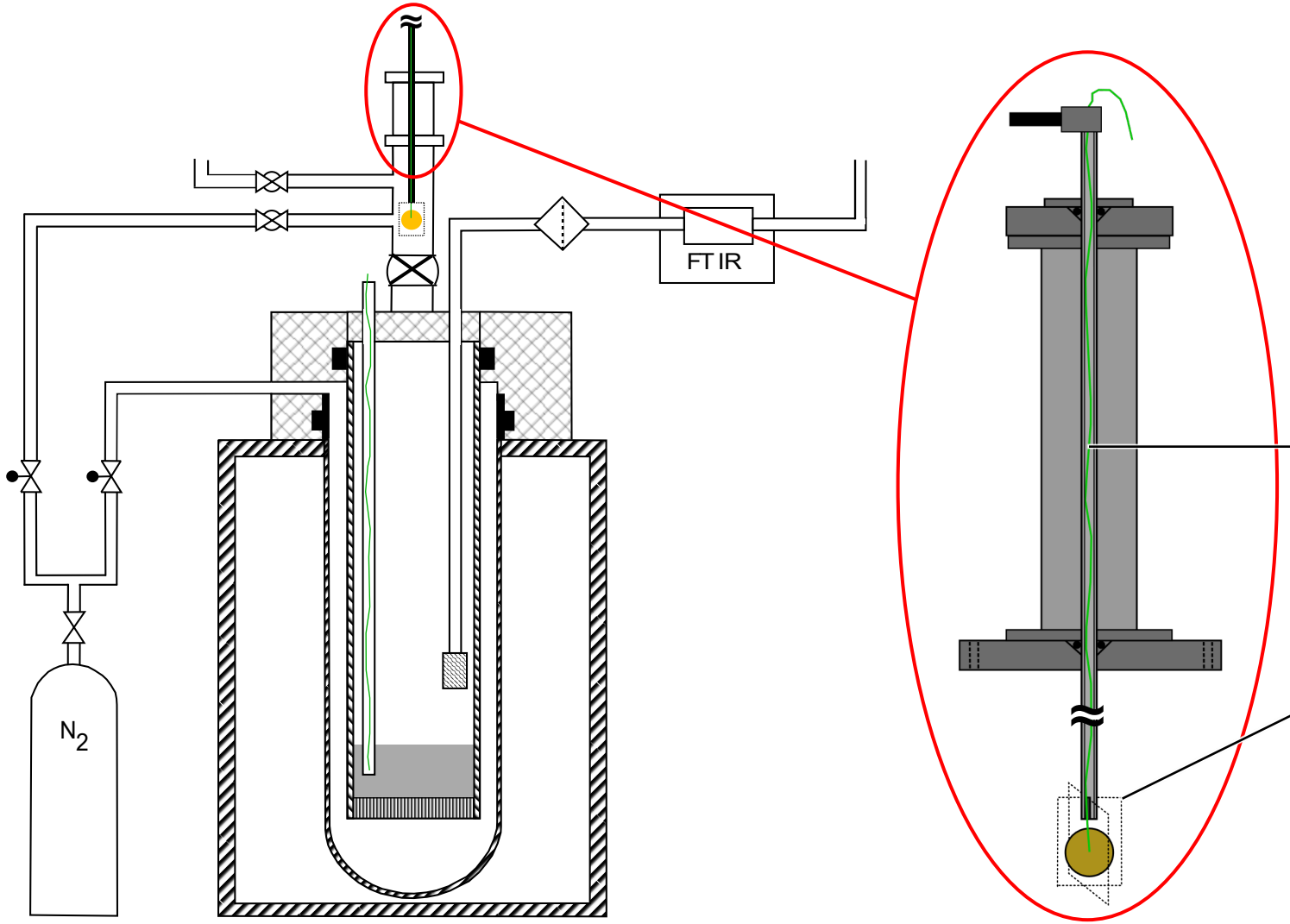


- Reaktor in elektrisch beheiztem Ofen
- Gaszufuhr (Stickstoff N_2)
- FTIR-Spektrometer zur Gasanalyse
- Brennstoffzufuhr

Versuchsdurchführung:

- Aufheizen und Spülen
- Haupthahn öffnen und Vorkammerauslass schließen
- Partikel in den Reaktor einführen
- Pyrolyseexperiment
- Partikel abkühlen lassen und herausnehmen

Reaktoraufbau - Partikelführung

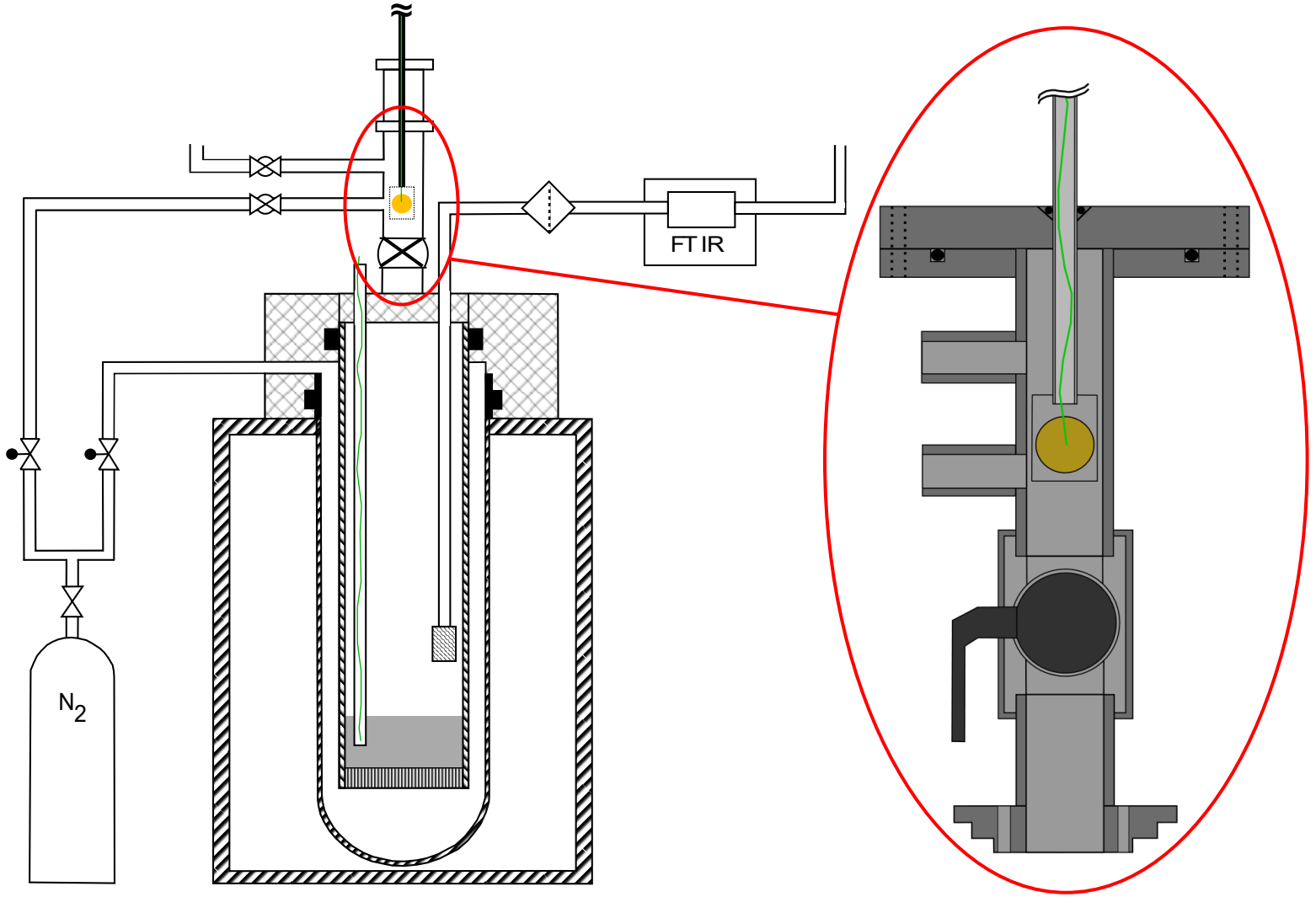


Trennbare aber dichte Verbindung zum Reaktor.

Messung der Partikeltemperatur.
→ TC in Führungsrohr

Sicheres Einbringen und Herausholen des Partikels.
→ Käfig

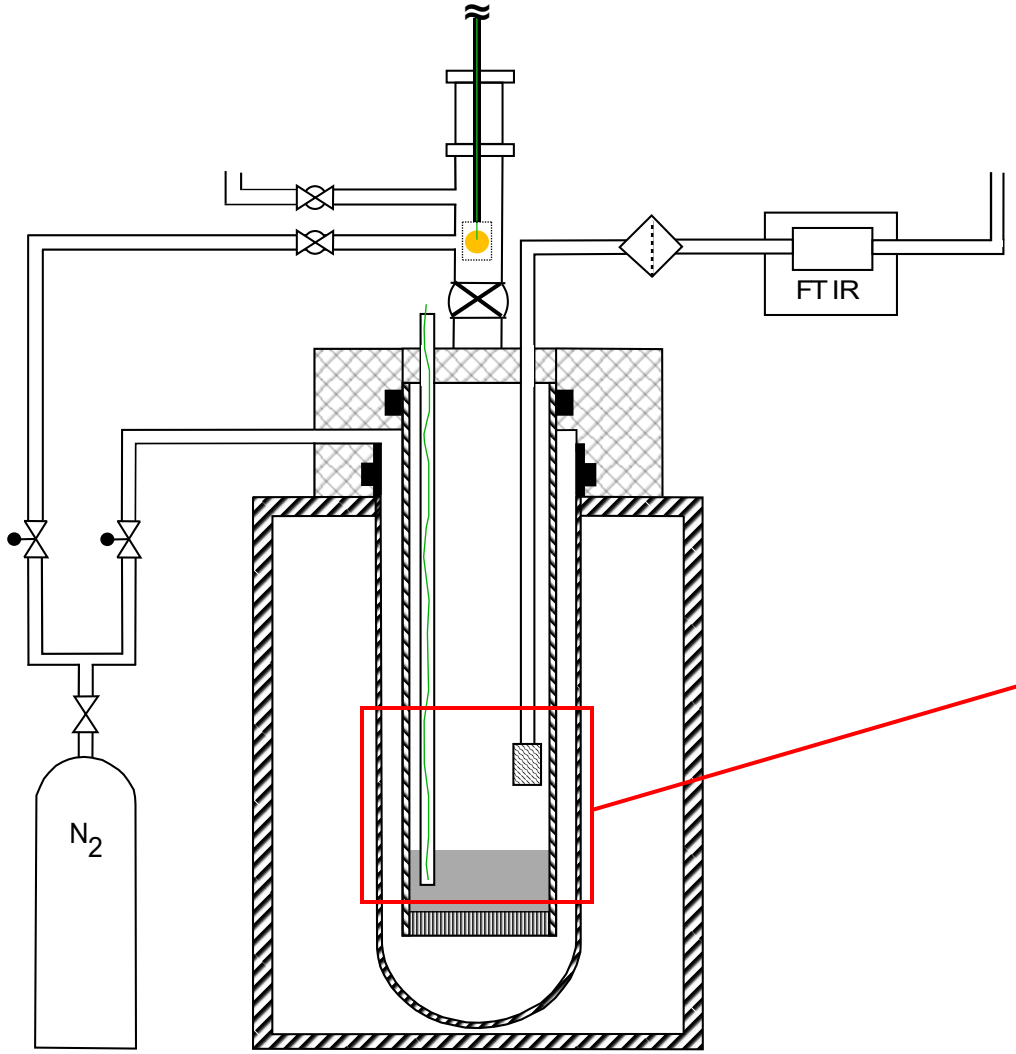
Reaktoraufbau - Vorkammer

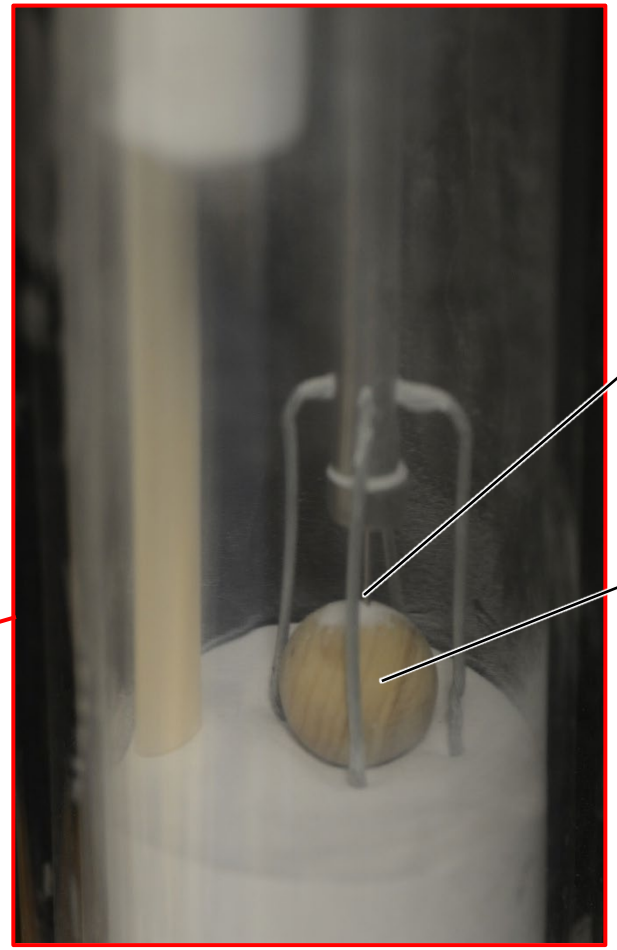


Trennung von Reaktorraum und Vorkammer.

Spülen der Vorkammer um inerte Atmosphäre zu gewährleisten.

Reaktoraufbau - Inbetriebnahme





Validierung des TC für die Messung der Partikeltemperatur.

Sicherstellen, dass das Partikel komplett in die Wirbelschicht eintaucht.

Festlegung der Reaktortemperaturen

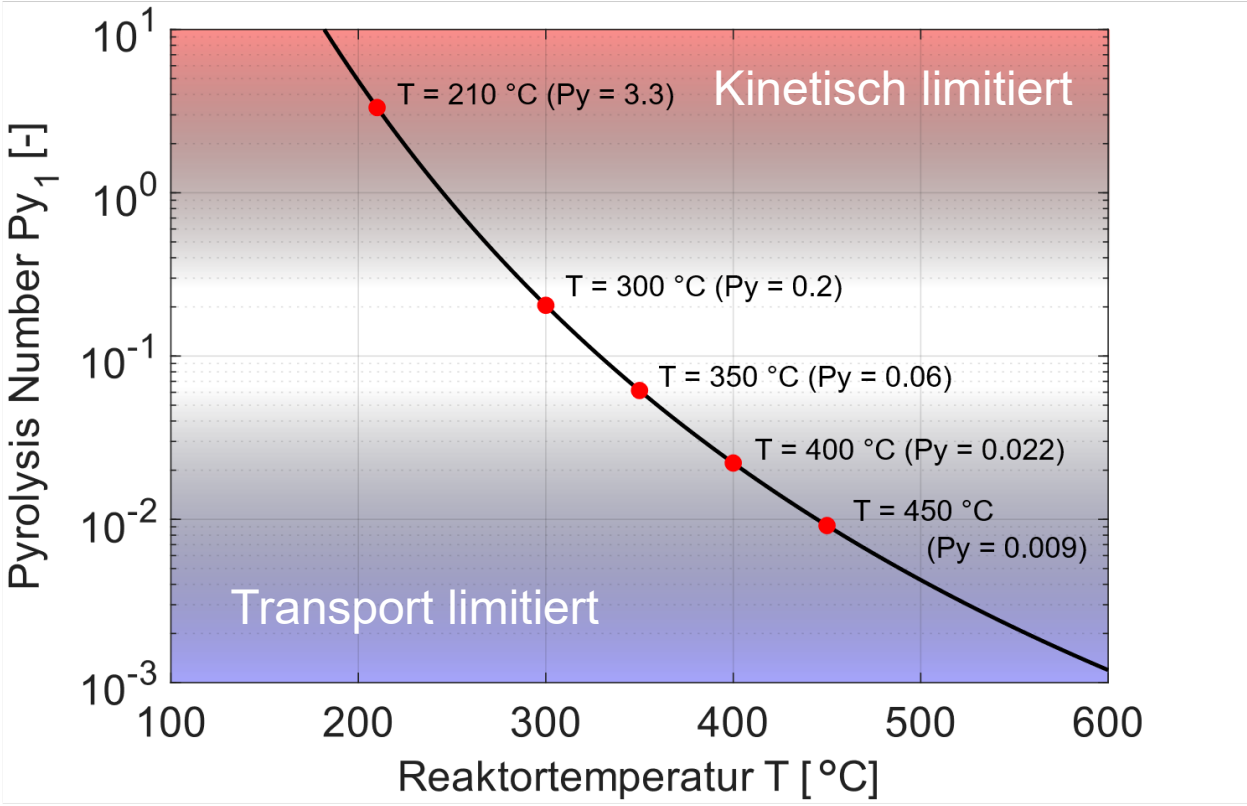
Pyrolysezahl Py_1

Verhältnis der Wärmeleitung zur Reaktionsgeschwindigkeit.

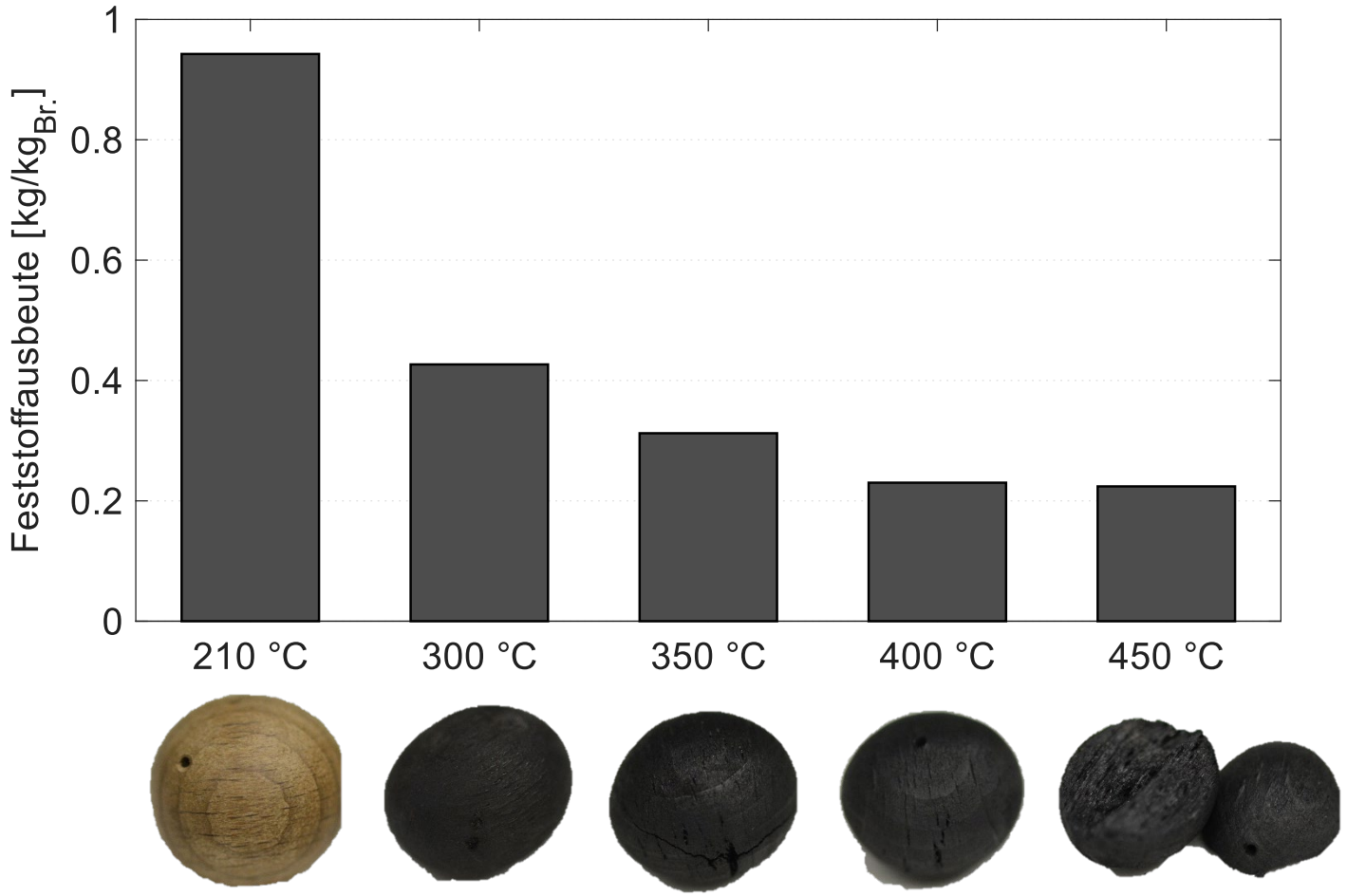
$$\mathrm{Py}_1 = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p \cdot k \cdot R^2}$$

$$k = A \cdot \exp\left(\frac{-E_A}{R \cdot T}\right)$$

Stoffgrößen und Kinetikdaten von Buchenholz sind bekannt.



Auswertung - Feststoffausbeute



- Zersetzung ist temperaturabhängig.
→ Nicht alle Bestandteile/Komponenten zersetzen sich.

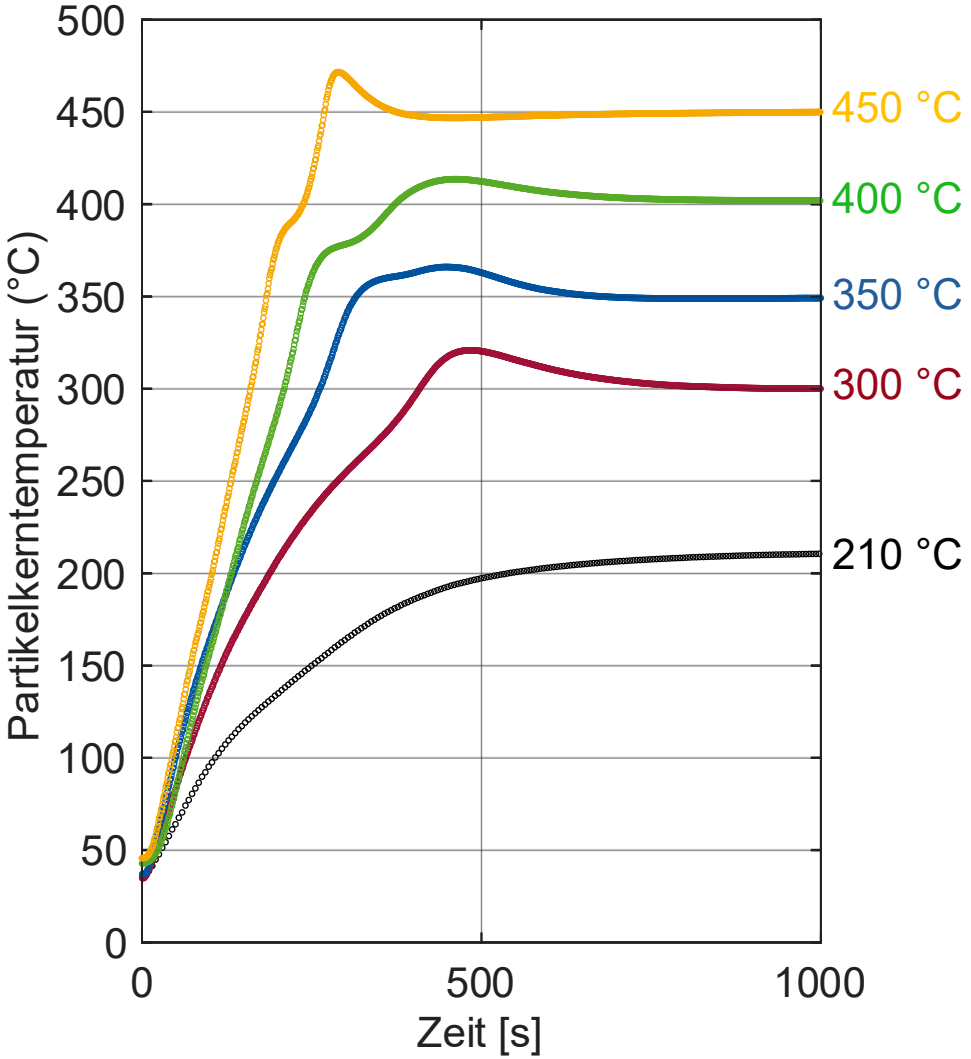
- Schrumpfen der Partikel erkennbar.

- Starke Massenabnahme bei geringer Schrumpfung weißt auf zunehmende Porosität hin.

Auswertung - Temperaturverläufe

Heizrate des Partikelkerns

- Asymptotische Annäherung an Reaktortemperatur bei 210 °C.
- Einfluss exothermer bzw. endothermer Reaktionen auf die Heizrate.
- Einfluss dieser Effekte steigt mit der Reaktortemperatur.

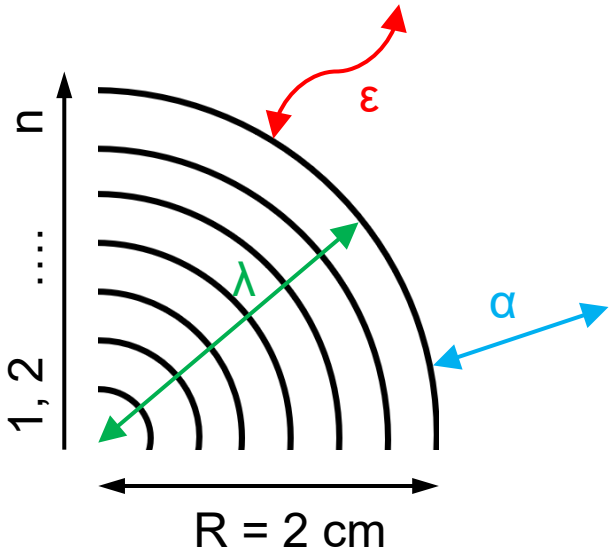


Schalenmodell

1-D Finite-Volumen-Simulation mit Wärmetransport, Pyrolysereaktion und Wärmesenke

- Wärmeleitung: $\rho_P \cdot c_{p,P} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \cdot \lambda_P \cdot \frac{\partial T}{\partial r}\right) + \Phi$
- Wärmesenke: $\Phi = -\rho_P \cdot (\Delta h_{exotherm} + \Delta h_{endotherm}) \cdot \frac{\partial y}{\partial t}$
- Randbedingungen: $r = 0: \ \frac{\partial T}{\partial r} = 0$

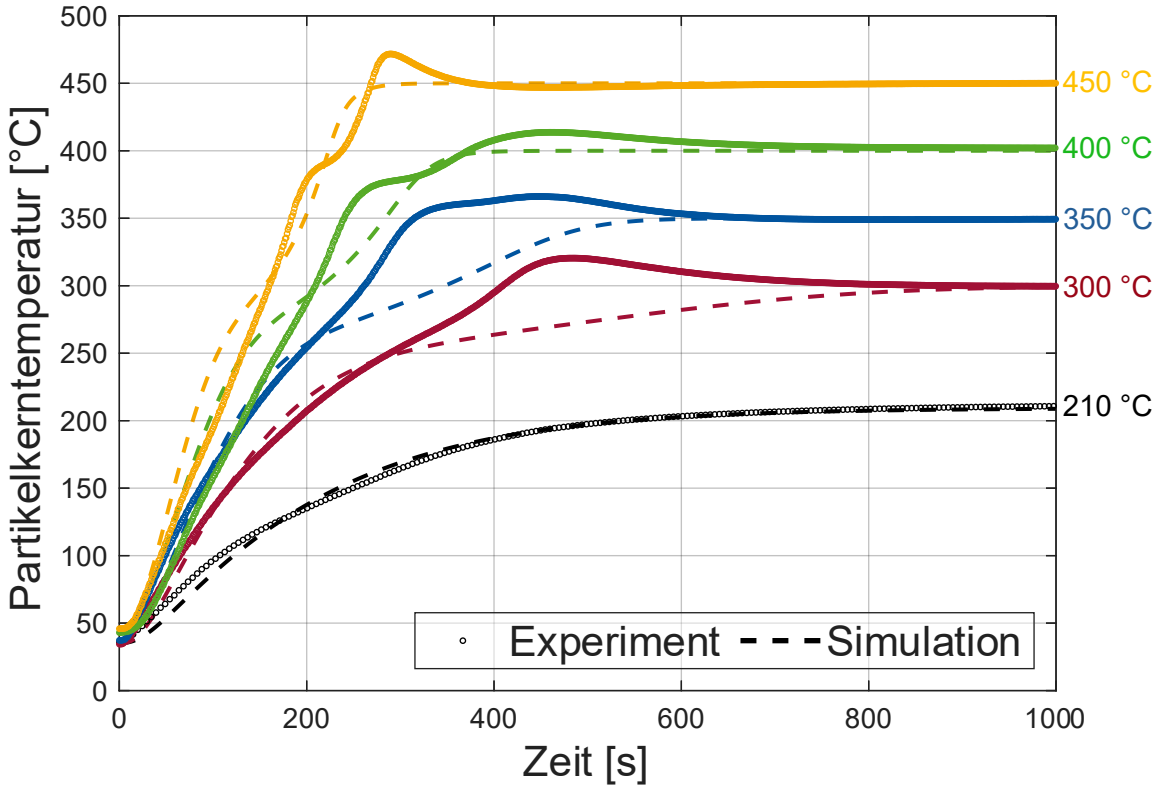
  $r = R: \ -\lambda_P \frac{\partial T}{\partial r}(r = R) = \dot{q}''_{Strahlung} + \dot{q}''_{Konvektion}$
- Umsatz: $\frac{\partial Y(t)}{\partial t} = k(T) \cdot (Y(t) - Y_\infty)$
- Pyrolysereaktion: $k(T) = A \cdot \exp(\frac{-E_A}{R \cdot T})$



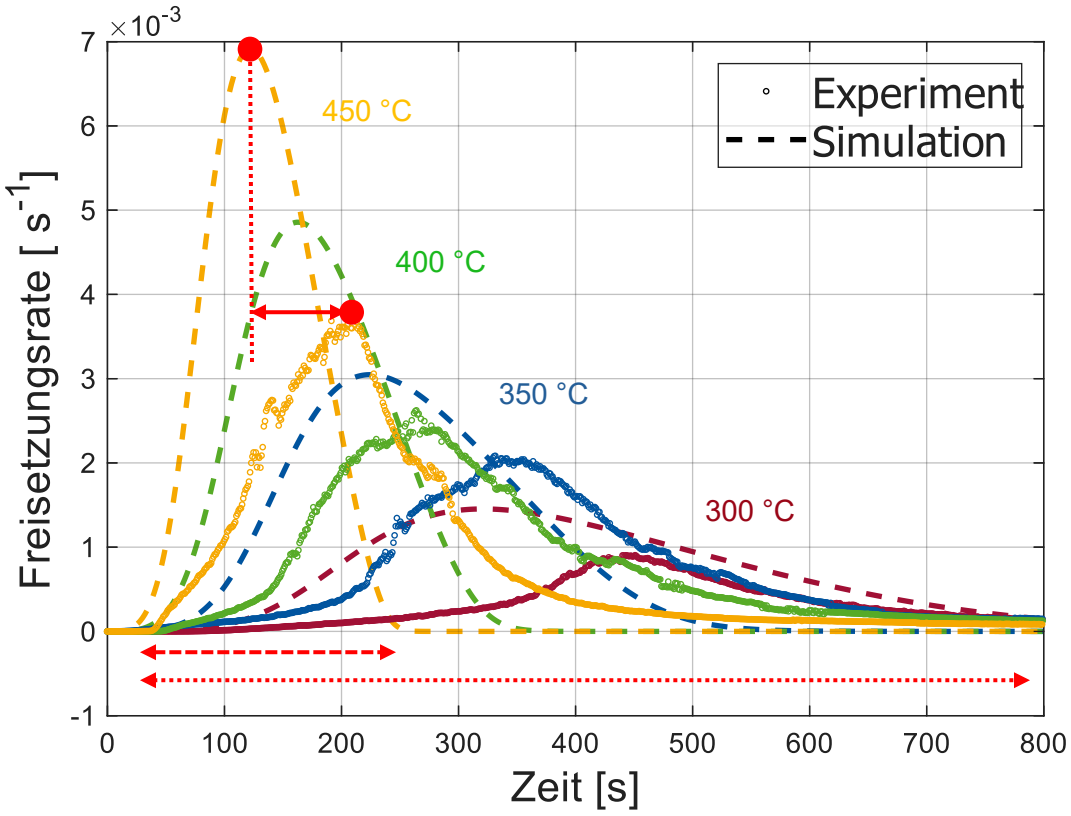
Kein Massentransport berücksichtigt !

Vergleich zum Schalenmodell

Heizrate



Freisetzungsrate



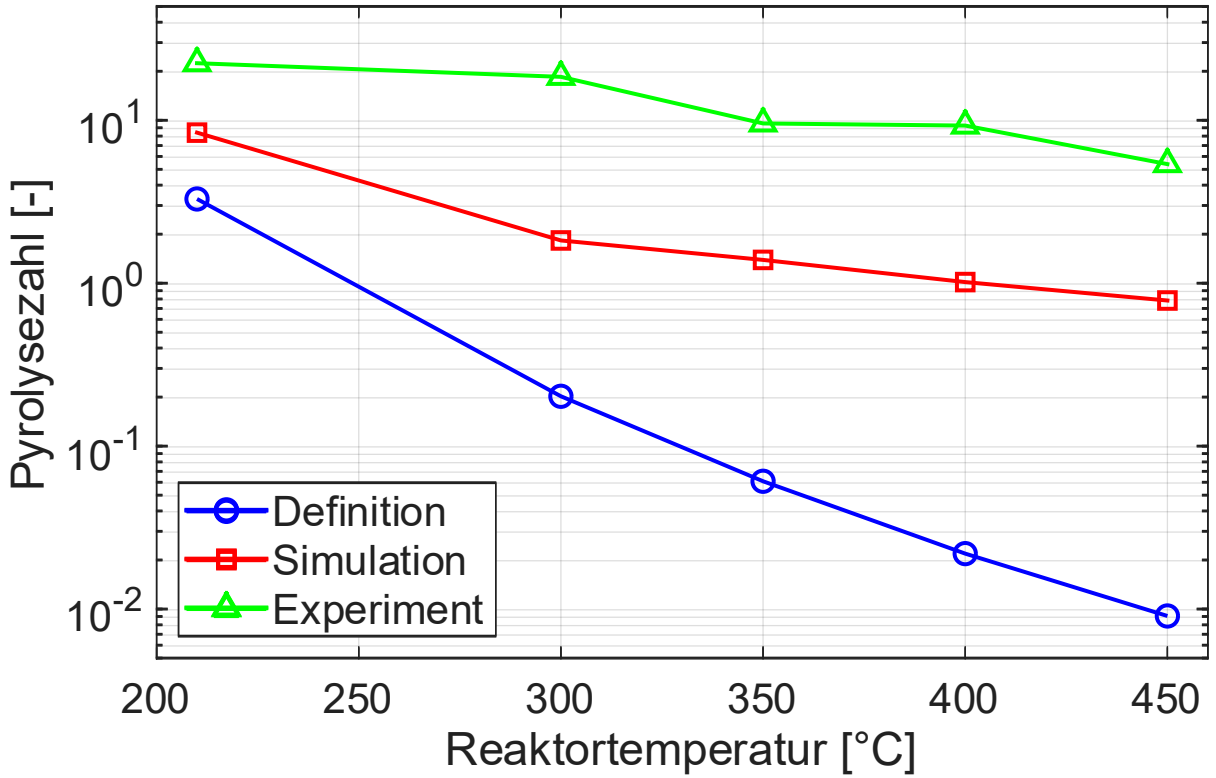
Vergleich der Pyrolysezahlen

Verhältnis von Wärmeleitung zu Reaktionsgeschwindigkeit

Experimentelle und simulierte Pyrolysezahlen werden aus t_{90} Zeiten berechnet:

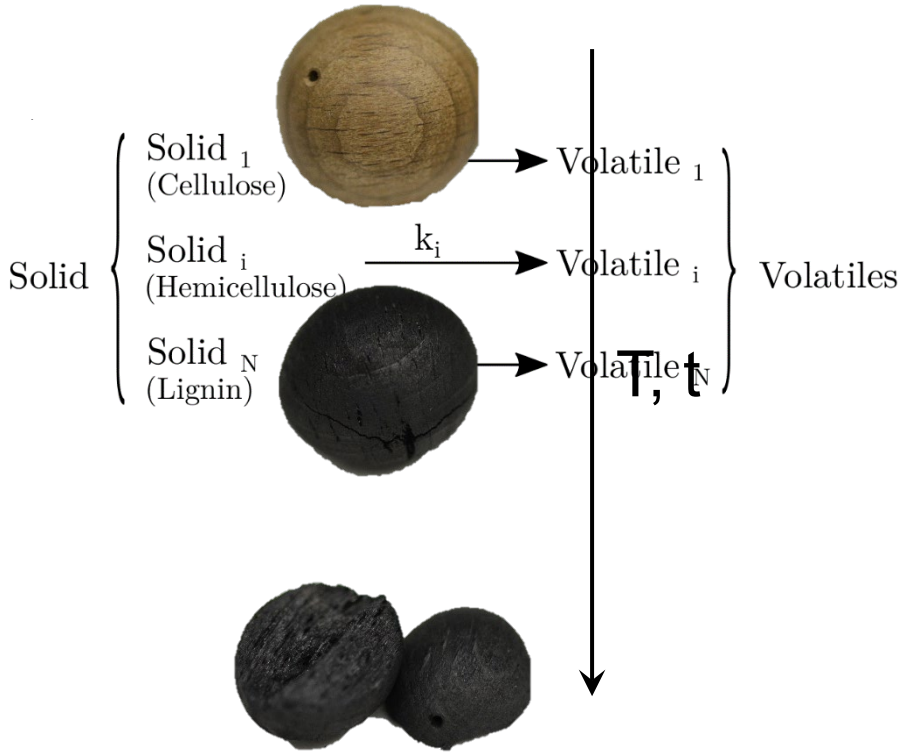
$$\mathrm{Py}_{\mathrm{Exp/Sim}} = \frac{t_{90,\mathrm{Reaktion}}}{t_{90,\mathrm{Aufheizen}}}$$

→ Einfluss des Massentransports erlaubt keinen Vergleich der Kennzahlen.



Zusammenfassung und Ausblick

- Erfolgreiche Inbetriebnahme der angepassten Brennstoffzufuhr und Temperaturmessung im Partikelkern
- Massentransport hat erheblichen Einfluss auf die Freisetzungsrate → muss in Modell berücksichtigt werden
- Zersetzung der einzelnen Bestandteile der Biomasse detailreicher modellieren
- Untersuchung der Strukturänderung (Porosität und Schrumpfen) des Partikels während der Pyrolyse



Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit

Untersuchung der Reaktionskinetik thermisch träger Biomassepartikel

Till Frasch
till.frasch@rwth-aachen.de

Lehrstuhl für Wärme- und Stoffübertragung
RWTH Aachen University

www.wsa.rwth-aachen.de