



WS 2005/06

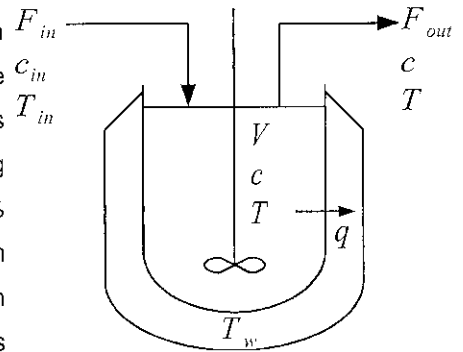
## Systemverfahrenstechnik

### 1. Projektübung

Ausgabetermin 2.11.2005

Abgabetermin 16.11.2005

In einem über die Außenwand gekühlten, kontinuierlich durchströmten Rührkessel wird ein Edukt in einer exothermen Reaktion umgesetzt. Die Reaktionsrate ist dabei nur von der Stoffkonzentration des Eduktes (Reaktionsordnung 1) und von der Temperatur im Reaktor abhängig (Arrheniusansatz). Die Reaktion finde in einem Lösemittel statt, so daß Volumenänderungen aufgrund Temperaturänderung und Reaktion vernachlässigt werden können. Neben den Bedingungen am Zulauf kann auch die Kühlmanteltemperatur  $T_w$  eingestellt werden. Ferner wird das Reaktorvolumen  $V$  zeitlich konstant gehalten.



### Aufgabe 1 (6 P)

- 1.1 Welche drei "Bausteine" werden bei der Modellierung eines verfahrenstechnischen Systems benötigt? Nenne ein paar Beispiele für alle drei Bausteine. (1,5 P)
- 1.2 Identifiziere Eingangs-, Zustands- und Ausgangsgrößen im vorliegenden System und benenne einige Systemparameter. Begründe Deine Wahl kurz! (2 P)
- 1.3 Klassifiziere das gegebene System und erläutere mindestens drei seiner Eigenschaften. (1,5 P)
- 1.4 Gib die Kinetik der Reaktion unter Einbeziehung des Arrheniusansatzes an. (1 P)

### Aufgabe 2 (11 P)

- 2.1 Stelle die Differentialgleichung für die molare Konzentration des Eduktes auf. Gehe hierzu von der molaren Stoffmengenbilanz am Reaktor aus und leite daraus die gesuchte Differentialgleichung her. Setze die Reaktionskinetik aus Aufgabe 1.4 ein. (2,5 P)
- 2.2 Stelle die Differentialgleichung für die Reaktortemperatur auf. Gehe hierzu von der Enthalpiebilanz (nicht der Enthalpiebilanz in Temperaturform!) aus und leite daraus die gesuchte Differentialgleichung her. Führe erst zuletzt die beiden Annahmen ein, daß die Wärmekapazitäten im Zulauf und im Reaktor gleich groß seien sowie daß die Reaktionsenthalpie konstant sei. (3,5 P)
- 2.3 Welche Art von mathematischem System liegt hier vor und welche Dimension hat es? Welche Angaben werden zusätzlich zu den Gleichungen noch benötigt, um dieses mathematische Problem zu lösen? (1 P)
- 2.4 Wie erhält man den stationären Zustand des Systems? Gesucht sind hier keine konkreten Werte, sondern der Ansatz dazu. (1 P)
- 2.5 Zur Stabilitätsüberprüfung werden die linearisierten Systemgleichungen benötigt (siehe Vorlesung Prozeßdynamik). Nenne den Ansatz und nimm eine Linearisierung der Differentialgleichungen an einem (noch nicht berechneten) stationären Punkt vor. Wie lautet die Systemmatrix der linearisierten Gleichungen in Zustandsraumdarstellung? (3 P)

### Aufgabe 3 (16 P)

In dieser Aufgabe soll das Modell in MATLAB implementiert werden. Da das Programm mehrere Funktionen erfüllen soll, gehen wir schrittweise vor. Die MATLAB-Dateien sind ausreichend so zu kommentieren, daß ein Nachvollziehen der Programme möglich ist. Ferner sind die Abbildungen vollständig zu beschriften. (6 P)

- 3.1 Berechne bei gegebenen Parametern und Eingangsbedingungen zunächst den stationären Punkt, zum Beispiel mit Hilfe von *fso/ve*. (2 P)
- 3.2 Bestimme die Stabilitätseigenschaften an diesem stationären Punkt unter Verwendung der in Aufgabe 2.5 erarbeiteten Systemmatrix. Was läßt das Ergebnis für das Phasenportait erwarten? (2 P)
- 3.3 Integriere das System numerisch von zwei unterschiedlichen Anfangsbedingungen über einen geeigneten Zeitraum. Die erste Anfangsbedingung soll weitab vom stationären Punkt liegen (beliebigen geeigneten Punkt wählen), die zweite Anfangsbedingung in der Nähe des stationären Punktes. Stelle die Ergebnisse im Phasenportrait dar. Inwiefern werden die Erwartungen aus Aufgabe 3.2 bestätigt? (3 P)
- 3.4 Angenommen, die Kühlmanteltemperatur sei nicht präzise einzustellen und betrage tatsächlich 401 K anstelle von 399 K. Wie sind die Auswirkungen auf die Stabilität des stationären Punktes? Inwiefern stimmen die Voraussagen der linearen Stabilitätsanalyse und die aus der Integration des nichtlinearen Systems gewonnenen Erkenntnisse immer noch überein und inwiefern weichen diese von einander ab? (3 P)

#### Gegebene Größen:

Reaktor:  $V = 0,1 \text{ m}^3$

Zulauf:  $F_{in} = 0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$   $c_{in} = 100 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$   $T_{in} = 350 \text{ K}$

Kinetik:  $k_0 = 100 \text{ s}^{-1}$   $E_A = 30\,000 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$   $\Delta_R h = -1 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$

Kühlung:  $k^h \cdot A^h = 2800 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$   $c_l \cdot c_p = 1 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$   $T_w = 399 \text{ K}$