

Dr. Thomas Nietsch, Lyon
Dr. Andreas Rickert, Basel
Prof. Dr. Ehrenfried Schütt, Berlin

Der ideale Rührreaktor

Modelle und Bilanzen für Energie- und Verfahrenstechnik

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **532**

1 Überblick zur Rührreaktor-Modellierung	1
1.1 Realer und idealer Rührreaktor.....	1
1.2 Bilanzgleichungen: mathematische Vorgehensweise.....	2
1.3 Klassifizierung von Rührreaktoren und ihre mathematische Beschreibung.....	6
1.4 Zusammenfassung.....	16
2 Isothermer diskontinuierlicher idealer Rührreaktor	17
2.1 Mathematische Behandlung.....	18
2.1.1 Lösung der Differentialgleichung.....	20
2.1.1.1 Mit einer irreversiblen Reaktion.....	20
2.1.2 Mit einer reversiblen Reaktion.....	25
2.1.3 Mit einer reversible Reaktion.....	27
2.1.4 Mit einer reversible Reaktion.....	29
2.1.5 Sonstige Reaktionen.....	32
2.2 Graphische Ermittlung der k- bzw. K-Werte.....	33
2.3 Zusammenfassung.....	34
3 Isothermer idealer kontinuierlicher Rührreaktor	35
3.1 Mathematische Behandlung.....	36
3.2 Lösungsgleichung für irreversible Reaktionen.....	37
3.3 Lösungsgleichungen für weitere Reaktionsgeschwindigkeits-Ansätze.....	38
4 Grundlagen für nichtisotherme Reaktoren und deren dynamische Stabilität ...	40
4.1 Modelle.....	41
4.1.1 Spezielle Betriebsfälle.....	44
4.2 Bilanzen.....	45
4.2.1 Integrale Energiebilanz.....	45
4.2.2 Integrale Stoffbilanz.....	47
4.3 Zeitliches Verhalten.....	48
4.3.1 Betriebszustände.....	48
4.3.2 Bedingungen für stationäre Betriebspunkte.....	49
4.3.3 Zünd- und Löschpunkte.....	53
4.4 Stabilität: mathematische Grundlagen.....	59
4.4.1 Statische Stabilität.....	60
4.4.2 Dynamische Stabilität und dynamisches Verhalten.....	62
4.4.3 Das ROUTH-Kriterium.....	78
4.4.4 Das HURWITZ-Kriterium.....	79
4.4.5 Stabilität nach Ljapunow.....	80
4.5 Reaktionsgesetze.....	88
4.5.1 Einfache irreversible Reaktion n-ter Ordnung.....	88
4.5.2 Andere Reaktionsgesetze.....	88

4.6 Spezielle Größen, Kenngrößen	89
4.6.1 Temperaturen und Konzentrationen	90
4.6.2 Weitere dimensionslose Kenngrößen	96
5 Nichtisothermer diskontinuierlicher Rührreaktor	104
5.1 Bilanzen für eine Reaktion nullter Ordnung	104
5.1.1 Normierung der Energiebilanz	105
5.1.2 Normierung der Stoffbilanz	111
5.1.3 Lösung für den stationärer Betrieb	114
5.1.4 Lösung für den instationärer Betrieb mit konstanter Konzentration	130
5.1.5 Lösung für den instationärer Betrieb mit veränderlicher Konzentration	131
5.2 Bilanzen für eine Reaktion nter Ordnung	139
5.2.1 Normierung der Energiebilanz	139
5.2.2 Normierung der Stoffbilanz	140
5.2.3 Lösung für eine Reaktion erster Ordnung	140
5.3 Bilanzen für den Adiabater Betrieb	145
5.3.1 Normierung der Energiebilanz	145
5.3.2 Normierung der Stoffbilanz	146
5.3.3 Phasen-bzw. T-C-Diagramm	148
5.3.4 Lösung für eine Reaktion erster Ordnung	148
6 Nichtisothermer kontinuierlicher Rührreaktor	152
6.1 Adiabater Betrieb mit einer Reaktion erster Ordnung	152
6.1.1 Normierung der Energiebilanz	152
6.1.2 Normierung der Stoffbilanz	155
6.1.3 Stationäre Betriebspunkte	157
6.1.4 Zünd und Löschpunkte	159
6.1.5 Reaktorleistung und Umsatzgrad bei stationärem Betrieb	165
6.1.6 Instationärer Betrieb	169
6.2 Reaktion erster Ordnung mit Wärmeabgabe	171
6.2.1 Modell	171
6.2.2 Normierung der Energiebilanz	171
6.2.3 Normierung der Stoffbilanz	174
6.2.4 Stationärer Betrieb	175
6.2.5 Instationärer Betrieb	180
7 Dynamische Stabilität von kontinuierlichen Rührreaktoren	181
7.1 Ausgangsgleichung	181
7.1.1 Normierung der Energiebilanz	183
7.1.2 Normierung der Stoffbilanz	185
7.1.3 Zusammenhang zwischen den stationären Größen T_S und c_S	187
7.2 Lösungswege	189
7.2.1 Näherungen für das k/k_S Verhältnis	188
7.2.2 Lineare Näherung für die Bilanzgleichungen mit Näherung 4	191
7.2.3 Nichtlineare Näherungsgleichungen	192
7.2.4 Schwingungsgleichung (aus den linearen Beziehungen)	193
7.2.5 Phasenebene	194

7.2.6 Stabilität.....	196
7.3 Weiter Möglichkeiten der Stabilitätsuntersuchung / Ausblick.....	200
8 Größenverzeichnis	201
9 Literatsverzeichnis	205