

FORTSCHRITT-  
BERICHTE

**VDI**

Dipl.-Ing. Grigorios Kolios, Stuttgart

**Zur autothermen Führung  
der Styrolsynthese mit  
periodischem Wechsel  
der Strömungsrichtung**

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **501**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2 Einleitung</b>	<b>3</b>
2.1 Autotherme Reaktoren . . . . .	3
2.2 Problemstellung . . . . .	7
<b>3 Styrolsynthese</b>	<b>9</b>
3.1 Stand der Technik . . . . .	9
3.1.1 Das adiabate Verfahren . . . . .	10
3.1.2 Das isotherme Verfahren der BASF . . . . .	11
3.1.3 Wärmerückgewinnung . . . . .	11
3.1.4 Eigenschaften des Styrolkatalysators . . . . .	12
3.1.5 Membranreaktor-Konzepte . . . . .	12
3.1.6 Andere Syntheserouten . . . . .	13
3.2 Eigene Vorarbeiten zur Kinetik und zur Temperaturführung der Styrolsynthese	14
3.2.1 Kinetik der Styrolsynthese . . . . .	15
3.2.2 Einfluß der Steigung des axialen Temperaturprofils auf die Styrol- selektivität . . . . .	18
<b>4 Autotherme Verfahren zur Styrolherstellung mit periodischem Wechsel der</b>	

<b>Strömungsrichtung</b>	<b>22</b>
4.1 Das asymmetrische Verfahren . . . . .	24
4.2 Das symmetrische Verfahren . . . . .	26
4.2.1 Verfahren mit Heißgaseinspeisung . . . . .	27
4.2.2 Verfahren mit Lufteinspeisung . . . . .	29
4.3 Unterschiede zum konventionellen Matros-Verfahren . . . . .	30
4.4 Das Reaktormodell . . . . .	31
4.4.1 Modellannahmen . . . . .	33
4.4.2 Modellgleichungen . . . . .	34
4.4.3 Zustandsgrößen . . . . .	39
4.4.4 Austauschterme . . . . .	40
4.4.5 Quellterme . . . . .	40
4.4.6 Reaktionskinetik . . . . .	41
4.4.7 Stoffwerte und Transportparameter . . . . .	43
4.4.8 Diskretisierung und numerisches Verfahren . . . . .	44
4.5 Kenngrößen zur Beurteilung der Reaktorleistung . . . . .	46
4.6 Wertebereich von geometrischen Parametern und Betriebsparametern . . . . .	49
4.6.1 Festbetteigenschaften und Maße der Bilanzstrecke . . . . .	49
4.6.2 Betriebsbedingungen . . . . .	50
<b>5 Asymmetrisches Verfahren</b>	<b>51</b>
5.1 Einfluß des Verhältnisses der Massenströme während der Produktions- und der Regenerationsphase . . . . .	51
5.1.1 Reaktorzustand bei erhöhtem $\dot{m}^{reg}/\dot{m}^{prod}$ -Verhältnis . . . . .	53
5.1.2 Einfluß auf die Reaktorleistung . . . . .	55
5.2 Einfluß der Wasserstoffkonzentration im Zulauf während der Regenerationsphase . . . . .	56

5.3	Einfluß der Periodendauer . . . . .	58
5.4	Einfluß der Kinetik der Verbrennungsreaktion . . . . .	60
5.4.1	Variation der Kinetik der katalytischen Verbrennungsreaktion . . . . .	60
5.4.2	Variation der Kinetik der homogenen Verbrennungsreaktion . . . . .	62
5.5	Einfluß der Festbetteigenschaften . . . . .	64
5.5.1	Inertes Material höherer Wärmekapazität, Verdünnung des Katalysators . . . . .	64
5.5.2	Einsatz einer Latentwärmespeichers zur Wärmespeicherung in der katalytisch aktiven Zone . . . . .	66
5.5.3	Einfluß der Länge der inerten Randzonen . . . . .	71
5.6	Bewertung des asymmetrischen Verfahrens . . . . .	72
<b>6</b>	<b>Symmetrisches Verfahren mit Heißgaseinspeisung</b>	<b>74</b>
6.1	Einfluß der eingespeisten Menge . . . . .	74
6.2	Einfluß der Temperatur des heißen Seitenstroms . . . . .	76
6.3	Einfluß der Periodendauer . . . . .	78
6.4	Einfluß des s:o-Verhältnisses . . . . .	80
6.5	Einfluß des LHSV-Wertes . . . . .	81
6.6	Modifikationen zur Vergleichmäßigung des Temperaturprofils . . . . .	83
6.6.1	Einspeisung über zwei Seitenströme . . . . .	83
6.6.2	Variation der Länge der Injektionsstrecke . . . . .	85
6.7	Bewertung des symmetrischen Verfahrens mit Heißgaseinspeisung . . . . .	87
<b>7</b>	<b>Das symmetrische Verfahren mit Lufteinspeisung</b>	<b>90</b>
7.1	Einfluß der eingespeisten Luftmenge . . . . .	90
<b>8</b>	<b>Aufbau der Versuchsanlage und Versuchsergebnisse</b>	<b>95</b>
8.1	Aufbau der Versuchsanlage . . . . .	95

8.2	Versuche, Meßergebnisse . . . . .	97
8.2.1	Anfahren des Reaktors, Versuchsablauf . . . . .	98
8.2.2	Betrieb mit Heißgaseinspeisung . . . . .	98
8.2.3	Betrieb mit Lufteinspeisung . . . . .	100
8.2.4	Schlußfolgerungen . . . . .	102
<b>A</b>	<b>Komponenten der Versuchsanlage</b>	<b>104</b>
A.1	Der Synthesereaktor . . . . .	104
A.2	Der Brenner . . . . .	105
A.3	Die Dosierpumpen . . . . .	106
A.4	Die Verdampfer . . . . .	107
<b>B</b>	<b>Modellparameter und Stoffwerte</b>	<b>109</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>112</b>