

Inhaltsverzeichnis

Vorwort VII

Symbolverzeichnis XV

1 Einführung 1

2 Dimensionsanalyse 3

2.1 Grundlage 3

2.2 Was ist eine Dimension? 3

2.3 Was ist eine physikalische Größe? 3

2.4 Grundgrößen und abgeleitete Größen; Dimensionskonstanten 4

2.5 Dimensionssysteme 5

2.6 Dimensionshomogenität einer physikalischen Beziehung 7

Beispiel 1: Wovon hängt die Schwingungsperiode θ eines Pendels ab? 7

Beispiel 2: Abtropfen einer Flüssigkeit aus einer Kapillare 9

Beispiel 3: Zusammenhang zwischen der Größe des Bratens
und der Bratzeit 10

2.7 Das pi-Theorem 12

3 Erarbeitung von pi-Sätzen mittels Matrizenumformung 13

Beispiel 4: Druckverlust eines homogenen Fluids im geraden glatten
Rohr 13

4 Maßstabsinvarianz des pi-Raumes – Grundlage der Modellübertragung 19

Beispiel 5: Wärmeübergang von geheizten Drähten und Röhren
an den Luftstrom 21

5 Wichtige Hinweise zur Aufstellung der Relevanzliste des Problems 25

5.1 Behandlung von universellen physikalischen Konstanten 25

5.2 Einführung von Zwischengrößen 25

Beispiel 6: Mischzeit-Charakteristik bei Gemischen mit Dichte- und
Viskositätsunterschieden 26

Beispiel 7: Flotationsvorgang bei der Druckentspannungsflotation 27

X	<i>Inhaltsverzeichnis</i>	
6	Wichtige Aspekte bei der Modellübertragung	31
6.1	Modellübertragung bei Nichtverfügbarkeit von Modell-Stoffsystemen	31
	<i>Beispiel 8:</i> Auslegungsunterlagen für mechanische Schaumzerstörer	31
6.2	Modellübertragung bei partieller Ähnlichkeit	34
	<i>Beispiel 9:</i> Schleppwiderstand eines Schiffskörpers	35
	<i>Beispiel 10:</i> Faustregeln beim Dimensionieren von Reaktionsapparaten	39
7	Vorläufige Bestandsaufnahme	43
7.1	Vorteile der Dimensionsanalyse	43
7.2	Anwendbarkeitsbereich der Dimensionsanalyse	44
7.3	Versuchstechnik bei der Modellübertragung	45
8	Dimensionsanalytische Behandlung veränderlicher Stoffgrößen	47
8.1	Dimensionslose Darstellung einer Stoff-Funktion	47
	<i>Beispiel 11:</i> Standarddarstellung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität	48
	<i>Beispiel 12:</i> Standarddarstellung der Temperaturabhängigkeit der Dichte	51
8.2	Bezugsinvariante Darstellung einer Stoff-Funktion	53
	<i>Beispiel 13:</i> Bezugsinvariante Darstellung der Stoff-Funktion $\eta(T, x)$	54
	<i>Beispiel 14:</i> Bezugsinvariante Darstellung der Stoff-Funktion $D(T, F)$	54
8.3	Der pi-Raum bei veränderlichen Stoffwerten	55
	<i>Beispiel 15:</i> Berücksichtigung der $\eta(T)$ -Abhängigkeit durch den η_w/η -Term	57
	<i>Beispiel 16:</i> Berücksichtigung der $\rho(T)$ -Abhängigkeit durch die Grashof-Kennzahl Gr	59
8.4	Durchführung von Modellversuchen mit Newtonschen Flüssigkeiten mit temperaturabhängiger Viskosität	60
8.4.1	Der pi-Raum und die Forderungen an das Modell-Stoffsystem	61
8.4.2	Stoffdaten-Kennfeld	61
	<i>Beispiel 17:</i> Auslegung eines Dünnschicht-Wärmeaustauschers	62
8.5	Stoff-Funktion bei nicht-Newtonschen Flüssigkeiten	67
8.5.1	Pseudoplastisches Fließverhalten	67
8.5.2	Viskoelastisches Fließverhalten	71
8.6	Der pi-Raum bei Vorgängen mit nicht-Newtonschen Flüssigkeiten	73
8.7	Modellübertragung bei Vorgängen mit nicht-Newtonschen Flüssigkeiten	73
	<i>Beispiel 18:</i> Homogenisierungs-Charakteristik bei viskoelastischen Flüssigkeiten	74

9 Reduktion des π -Raumes 77

- 9.1 Die Kontroverse Rayleigh – Riabouchinsky 77
Beispiel 19: Dimensionsanalytische Behandlung des Problems von Boussinesq 79
Beispiel 20: Wärmetransport-Charakteristik eines Rührbehälters 80

10 Typische Probleme und Fehler bei der Anwendung der Dimensionsanalyse 83

- 10.1 Modellmaßstab und Strömungszustand; Problematik der Miniplants 83
 10.1.1 Blasensäulen 84
 10.1.2 Rührbehälter 84
 10.1.3 Mikroreaktoren und Miniplants 85
 10.2 Mangelnde Sensitivität der Zielgröße 86
 10.2.1 Homogenisierzeit θ 86
 10.2.2 Vollständige Aufwirbelung nach dem 1-s-Kriterium 86
 10.3 Modellmaßstab und Meßgenauigkeit 87
 10.3.1 Bestimmung der Rührleistung 88
 10.3.2 Stofftransport bei der *Oberflächenbelüftung* 88
 10.4 Maßstabsänderung bei Modellversuchen zwecks Auffindung der zutreffenden Maßstabsübertragungsregel 90
 10.4.1 Stofftransport bei der *Volumenbelüftung* 90
 10.5 Vollständige Erfassung des fraglichen π -Satzes bei der Versuchsdurchführung 91
 10.6 Richtiges Vorgehen bei der Anwendung der Dimensionsanalyse 92
 10.6.1 Vorbereitung der Modellversuche 92
 10.6.2 Durchführung der Modellversuche 92
 10.6.3 Auswertung der Modellversuche 93

11 Optimieren von Prozeßbedingungen durch Kombination von Prozeß-Charakteristiken 95

- Beispiel 21: Ermittlung von Rührbedingungen zur Durchführung des Homogenisierungsprozesses mit kleinster Mischarbeit* 95
Beispiel 22: Prozeß-Charakteristiken eines selbstansaugenden Hohlrührers 100
Beispiel 23: Optimieren von Rührern für eine maximale Abfuhr der Reaktionswärme 103

**12 Ausgewählte Beispiele der dimensionsanalytischen
Behandlung von Prozessen aus dem Gebiet der mechanischen
Verfahrenstechnik 107**

- Beispiel 24:* Rührleistung in begaster Flüssigkeit 107
Beispiel 25: Dimensionierung von Feststoffmischern 113
Beispiel 26: Einspindelige Schneckenmaschinen 118
Beispiel 27: Zerstäuben von Flüssigkeiten 122
Beispiel 28: Das Phänomen des hängenden Flüssigkeitsfilms 126
Beispiel 29: Herstellung von flüssig/flüssig-Emulsionen 129
Beispiel 30: Zerkleinerung von Feststoffen 133
Beispiel 31: Flotationstechnik im Abwasserbereich 137
Beispiel 32: Verlauf des Trockenschleuderns bei Filterzentrifugen 144
Beispiel 33: Partikelabscheidung durch Trägheitskräfte 147
Beispiel 34: Gasanteil in Blasensäulen 149

**13 Ausgewählte Beispiele der dimensionsanalytischen
Behandlung von Prozessen aus dem Gebiet der thermischen
Verfahrenstechnik 153**

- Beispiel 35:* Stationäre Wärmeübertragung in Blasensäulen 154
Beispiel 36: Zeitlicher Verlauf des Temperaturausgleiches
in einer Flüssigkeit mit temperaturabhängiger Viskosität
bei freier Konvektion 157
Beispiel 37: Stofftransport im System Gas/Flüssigkeit in Rührbehältern
bei der Volumenbegasung. Auswirkung des Koaleszenzverhal-
tens des Stoffsystems 162
Beispiel 38: Stofftransport im System Gas/Flüssigkeit in Blasensäulen
mit Injektoren als Gaszerteilern. Auswirkung des Koaleszenz-
verhaltens des Stoffsystems 166
Beispiel 39: Dimensionierung des Trocknungsvorgangs 172
Beispiel 40: Maßstabsvergrößerung bei der kontinuierlichen, trägerfreien
Elektrophorese 176

**14 Ausgewählte Beispiele der dimensionsanalytischen Behandlung
von Prozessen aus dem Gebiet der
chemischen Verfahrenstechnik 183**

- Beispiel 41:* Kontinuierliche Reaktionsführung im Strömungsrohr 183
1. Homogene irreversible Reaktion 1. Ordnung 184
2. Heterogene katalytische Reaktion 1. Ordnung 186

- Beispiel 42:* Dimensionsanalytische Beschreibung des Stoff- und Wärmetransportes bei feststoffkatalysierten Gasreaktionen 190
 1. Äußere Transportvorgänge 191
 2. Innere Transportvorgänge 194
Beispiel 43: Dimensionierung von Reaktoren für katalytische Prozesse in der Petrochemie 197
Beispiel 44: Dimensionierung eines Rohrreaktors mit Düsenmischer zur Durchführung einer konkurrierenden Folgereaktion 200
Beispiel 45: Stofftransportlimitierung der Reaktionsgeschwindigkeit von schnellen chemischen Reaktionen im heterogenen Stoffsystem Gas/Flüssigkeit 204

15 Ausgewählte Beispiele der dimensionsanalytischen Behandlung von Prozessen aus dem Gebiet der belebten Natur 207

- Beispiel 46:* Dimensionsanalytische Betrachtung des Ruderns 207
Beispiel 47: Warum schwimmen die meisten Tiere unter Wasser? 209
Beispiel 48: Der Übergang vom Gehen zum Laufen – Funktion der Froude-Kennzahl 211
Beispiel 49: Laufen und Springen auf der Wasseroberfläche 211
Beispiel 50: Was treibt den Saft in die Blätter der Bäume? 212

Verzeichnis wichtiger, benannter Kennzahlen 213

Literatur 217

Sachverzeichnis 225