

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurze Einführung in die Fluidodynamik</b>	<b>1</b>
1.1	Massenerhaltungssatz und Kontinuitätsgleichung	1
1.2	Potential- und Wirbelströmungen (Geschwindigkeitspotential und Stromfunktion)	2
1.3	Navier-Stokessche Bewegungsgleichungen (Das zähe Fluid)	4
1.4	Grenzschichtströmungen	6
1.5	Turbulente Strömung	7
1.6	Über- und Durchströmung verschiedener Körper	10
1.6.1	Die laminar überströmte Platte	11
1.6.2	Durchströmtes Rohr	13
1.6.3	Umströmte starre und fluide Kugeln	16
1.6.4	Rieselfilm	26
1.6.5	Strahl	29
	Aufgaben zu Kapitel 1	30
<b>2</b>	<b>Einführung in die Stoffübertragung</b>	<b>32</b>
2.1	Definitionen und Begriffe	32
2.1.1	Konzentrationsmaße	32
2.1.2	Geschwindigkeiten in einem Mehrkomponentensystem	34
2.2	Analogie der Ansätze für den Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch	36
2.3	Beispiele stationären Stofftransportes	42
2.3.1	Einseitige Diffusion in eine unbewegte Fluidschicht	42
2.3.2	Stationäre Diffusion in einer Kugelschale	45
2.3.3	Konvektive Stoffübertragung zwischen Wand und laminarem Rieselfilm	47
2.3.4	Konvektive Stoffübertragung zwischen Rieselfilm und Gas	51
	Aufgabe zu Kapitel 2	54
<b>3</b>	<b>Stoffhaltungssatz</b>	<b>57</b>
3.1	Allgemeine Formulierung des Stoffhaltungssatzes	57
3.2	Vereinfachungen	60

<b>4</b>	<b>Stationäre Diffusion</b> . . . . .	<b>64</b>
4.1	Diffusion ohne chemische Reaktion in eine Platte . . . . .	64
4.2	Diffusion mit chemischer Reaktion in eine unbewegte Schicht . . . . .	65
4.3	Diffusion mit chemischer Reaktion in eine Kugel . . . . .	70
	Aufgabe zu Kapitel 4 . . . . .	73
<b>5</b>	<b>Instationäre Diffusion (Methode der Variablentrennung)</b> . . . . .	<b>74</b>
5.1	Instationäre Diffusion ohne chemische Reaktion in einer Platte . . . . .	75
5.2	Instationäre Diffusion und chemische Reaktion zweiter Ordnung in einem Fluid . . . . .	77
5.3	Instationäre Diffusion in einer Kugel . . . . .	80
5.4	Instationäre Diffusion mit chemischer Reaktion in einer Kugel . . . . .	83
	Aufgabe zu Kapitel 5 . . . . .	85
<b>6</b>	<b>Einphasige erzwungene konvektive Stoffübertragung</b> . . . . .	<b>86</b>
6.1	Stoffübergangstheorien . . . . .	91
6.1.1	Filmtheorie . . . . .	91
6.1.2	Grenzschichttheorie . . . . .	92
6.1.3	Penetrationstheorie . . . . .	94
6.1.4	Turbulenztheorie . . . . .	97
6.1.4.1	Erhaltungssätze bei turbulenter Strömung . . . . .	98
6.1.4.2	Turbulenzmodelle . . . . .	100
6.1.5	Analogie zwischen Stoff-, Wärme- und Impulsaustausch . . . . .	101
6.2	Theorie der Stoffübertragung bei laminarer Strömung . . . . .	108
6.2.1	Stoffübertragung an <i>starr</i> en Grenzflächen . . . . .	111
6.2.1.1	Laminar überströmte Platte . . . . .	115
6.2.1.2	Laminar durchströmtes Rohr . . . . .	116
6.2.1.3	Laminar überströmte starre Kugel . . . . .	117
6.2.2	Stoffübertragung an <i>fluid</i> en Grenzflächen . . . . .	121
6.2.2.1	Ebene fluide Phasengrenzen . . . . .	121
6.2.2.2	Fluide Partikel . . . . .	124
6.2.3	Systeme mit <i>starrer</i> und <i>fluider</i> Phasengrenze . . . . .	126
6.3	Theorie der Stoffübertragung bei turbulent überströmten Flächen (Platte oder Rohr, Prandtl-Analogie) . . . . .	127
6.4	Stoffübertragung an feste Grenzflächen . . . . .	130
6.4.1	Überströmte Einzelkörper mit starrer Grenzfläche . . . . .	130
6.4.1.1	Reine Diffusion ( $Re \rightarrow 0$ ) . . . . .	131
6.4.1.1.1	Platte . . . . .	132
6.4.1.1.2	Kugel . . . . .	132
6.4.1.1.3	Zylinder . . . . .	132
6.4.1.2	Schleichende Strömung ( $Re < 1$ ) . . . . .	132

6.4.1.2.1	Platte . . . . .	132
6.4.1.2.2	Kugel . . . . .	133
6.4.1.3	Laminare Grenzschichtströmung ( $1 < Re < Re_c$ ) . . . . .	133
6.4.1.3.1	Platte ( $Re_L < 5 \cdot 10^5$ ) . . . . .	133
6.4.1.3.2	Kugel ( $Re < 2 \cdot 10^5$ ) . . . . .	133
6.4.1.4	Turbulente Grenzschichtströmung ( $Re > Re_c$ ) . . . . .	134
6.4.1.4.1	Platte ( $Re > 10^6$ ) . . . . .	135
6.4.1.4.2	Kugel ( $Re > 2 \cdot 10^5$ ) . . . . .	135
6.4.1.4.3	Zylinder ( $Re > 3 \cdot 10^5$ ) . . . . .	135
6.4.1.5	Überlagerung von laminarer und turbulenter Grenzschichtströmung . . . . .	135
6.4.2	Durchströmte Rohre . . . . .	136
6.4.2.1	Laminare Strömung ( $Re < 2300$ ) . . . . .	137
6.4.2.1.1	Laminare Anlaufströmung . . . . .	137
6.4.2.1.2	Ausgebildete Laminarströmung mit Konzentrationsanlauf . . . . .	137
6.4.2.1.3	Vollständig ausgebildete Laminarströmung . . . . .	138
6.4.2.2	Turbulente Rohrströmung ( $Re > 2300$ ) . . . . .	139
6.4.3	Stoffübertragung an durchströmte Haufwerke . . . . .	140
6.5	Stoffübertragung an fluide Grenzflächen . . . . .	143
6.5.1	Stoffübertragung an fluide Partikel . . . . .	144
6.5.2	Instationäre Stoffübertragung in fluiden Partikeln . . . . .	151
6.5.3	Stoffübertragung an Rieselfilme . . . . .	154
6.5.4	Stoffübertragung in Flüssigkeitsstrahlen . . . . .	156
6.6	Stoffübertragung bei großen Stoffstromdichten . . . . .	157
6.6.1	Definitionen von Stoffübergangskoeffizienten . . . . .	157
6.6.2	Korrektur $k^*/k$ bei der Filmtheorie . . . . .	159
6.6.3	Korrektur $k^*/k$ für andere Theorien . . . . .	161
	Aufgaben zu Kapitel 6 . . . . .	162
<b>7</b>	<b>Stoffübertragung bei freier Konvektion . . . . .</b>	<b>165</b>
7.1	Freie Konvektion ohne erzwungene Strömung . . . . .	165
7.2	Überlagerung von freier und erzwungener Konvektion . . . . .	169
	Aufgabe zu Kapitel 7 . . . . .	171
<b>8</b>	<b>Zweiphasige Stoffübertragung bei erzwungener Konvektion . . . . .</b>	<b>173</b>
8.1	Stoffübertragung in Systemen mit zwei fluiden Phasen . . . . .	174
8.2	Stoffübertragung in Systemen mit fester und fluider Phase . . . . .	182
	Aufgabe zu Kapitel 8 . . . . .	185
<b>9</b>	<b>Arten der Diffusion . . . . .</b>	<b>187</b>
9.1	Diffusion aufgrund eines Konzentrationsgradienten . . . . .	188
9.2	Diffusion aufgrund eines Gesamtdruckgradienten . . . . .	189

9.3	Diffusion aufgrund äußerer Kräfte . . . . .	190
9.4	Diffusion aufgrund eines Temperaturgradienten . . . . .	193
<b>10</b>	<b>Berechnen von Diffusionskoeffizienten . . . . .</b>	<b>195</b>
10.1	Diffusionskoeffizienten in Gasen . . . . .	196
10.2	Diffusionskoeffizienten in Flüssigkeiten . . . . .	199
10.3	Diffusionskoeffizienten in Feststoffen . . . . .	200
10.3.1	Diffusions- und Permeationskoeffizienten in kompakten Feststoffen	201
10.3.2	Diffusionskoeffizienten in porösen Feststoffen . . . . .	202
10.4	Knudsen-Diffusion . . . . .	204
	Aufgabe zu Kapitel 10 . . . . .	206
<b>Anhang</b>	. . . . .	<b>208</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	. . . . .	<b>235</b>
<b>Sachverzeichnis</b>	. . . . .	<b>240</b>