

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Transportprozesse</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1	Rheologisches Verhalten von Belebtschlamm* . . . . .	1
1.2	Temperaturfeld um eine Kugel* . . . . .	3
1.3	Zeitliche Änderung der Austrittskonzentration eines ideal durchmischten Rührbehälters* . . . . .	5
1.4	Auflösung eines Salzkorns in Wasser** . . . . .	6
1.5	Erwärmung von Wasser in einem elektrisch beheizten Rohr* . . . . .	9
1.6	Aufheizen eines Lösungsmittelstroms*** . . . . .	11
1.7	Bestimmung einer Formalkinetik** . . . . .	14
1.8	Bestimmung einer Reaktionsordnung sowie der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten*** . . . . .	17
1.9	Dampfdruckkurve von Wasser* . . . . .	21
1.10	Siede- und Taupunkt eines Benzol/Toluol Gemisches* . . . . .	22
1.11	Druck in einer Sektflasche** . . . . .	24
1.12	Extraktion von Phenol aus Wasser* . . . . .	26
1.13	Adsorption von Abwasserinhaltsstoffen an Aktivkohle* . . . . .	28
	Literatur . . . . .	29
<b>2</b>	<b>Energie- und Stofftransport in ruhenden Medien</b> . . . . .	<b>31</b>
2.1	Diffusion von Wasserstoff durch eine Stahlwand** . . . . .	31
2.2	Heliumabtrennung aus Erdgas** . . . . .	34
2.3	Auflösung eines Kupferkristalls** . . . . .	36
2.4	Verdunstungsrate eines Stausees** . . . . .	40
2.5	Absorption von Wasserdampf in Schwefelsäure** . . . . .	42
2.6	Ranzigwerden von Butter** . . . . .	45
2.7	Heterogen katalysierte Oxidation von CO* . . . . .	49
2.8	Gleichzeitige Diffusion von Edukt und Produkt*** . . . . .	51
2.9	Sauerstoffanreicherung in einer Luftblase*** . . . . .	55
2.10	Trocknung einer Kunststoffplatte** . . . . .	58

2.11	Instationärer Stoffübergang in einen Tropfen **	60
2.12	Abkühlung in einem selbstkühlenden Bierfass **	63
	Literatur	65
<b>3</b>	<b>Wärme- und Stoffübergangstheorien</b>	<b>67</b>
3.1	Wärmedurchgang durch ein isoliertes Rohr **	67
3.2	Stoffaustausch zwischen zwei flüssigen Phasen **	71
3.3	Stoffübergang mit einer instantanen Reaktion 2. Ordnung *	74
3.4	Stofftransport in einen Rieselfilm **	76
3.5	Stofftransport in einen Flüssigkeitsstrahl ***	79
3.6	Stoffübergang bei laminarer Rohrströmung *	82
3.7	Stoffübergang in einer Füllkörperkolonne *	84
3.8	Chemiesorption einer gasförmigen Komponente ***	86
	Literatur	88
<b>4</b>	<b>Mischungszustände in technischen Systemen</b>	<b>89</b>
4.1	Abwasserbehandlung mit einem Membranbioreaktor *	89
4.2	Umsatz einer Reaktion 1. Ordnung in einem Rohrreaktor und einem kontinuierlichen Rührkessel *	92
4.3	Volumen eines Rohrreaktors und eines kontinuierlichen idealen Rührkessels für eine Reaktion 2. Ordnung **	95
4.4	Charakteristika von Verweilzeitfunktionen **	101
4.5	Berechnung der Ablaufkonzentration aus einem ideal durchmischten Apparat *	103
4.6	Charakterisierung des Verweilzeitverhaltens einer Desodorierungsanlage **	105
4.7	Verweilzeitverhalten eines Strahldüsenreaktors **	110
4.8	Verweilzeitverteilung in einer zweistufigen Kaskade idealer Rührkessel ***	114
4.9	Varianz der Verweilzeitdichtefunktion eines idealen Rührkessels sowie einer Rührkesselkaskade ***	117
4.10	Anzahl der idealen Rührkessel in einer Kaskade **	122
4.11	Bestimmung der Bodensteinzahl aus einer Verweilzeitmessung **	123
4.12	Umsatz in einem idealen Strömungsrohr mit Rückführung **	128
4.13	Verweilzeitverteilung in einem idealen Rührkessel mit Totzone und Kurzschlussströmung **	132
	Literatur	134
<b>5</b>	<b>Strömungen in Rohrleitungen</b>	<b>135</b>
5.1	Laminare Strömung in einem ebenen Spalt *	135
5.2	Strömung in einem Ringspalt ***	139
5.3	Quantifizierung von Leckageraten zur Bestimmung der Dichtheit **	144

5.4	Nikuradse Messungen: Vergleich der Höhe der Rauigkeitsspitzen mit der Dicke der laminaren Unterschicht**	147
5.5	Abfüllung von Olivenöl*	150
5.6	Optimierung eines Rohrdurchmessers**	152
5.7	Leistungsverlust durch Abgaskatalysatoren*	158
5.8	Druckverlust in einem Membranmodul*	160
5.9	Kontinuierliche Sterilisierung eines Nährmediums*	162
5.10	Stoffdurchgang in einer Rohrmembran*	164
5.11	Luftbefeuchtung**	167
5.12	Wärmedurchgang in einem Doppelmantelrohr***	171
5.13	Verweilzeitverhalten eines realen Strömungsrohrs*	176
	Literatur	178
<b>6</b>	<b>Strömungen an ebenen Platten</b>	<b>181</b>
6.1	Reibungskräfte an einer überströmten Platte*	181
6.2	Vergleich von experimentell ermittelten Reibungswerten mit berechneten Werten*	182
6.3	Instationäre Bewegung eines Fluids zwischen zwei Platten**	184
6.4	Beschleunigung einer Platte in einem ruhenden Fluid***	191
6.5	Wärmeverluste durch ein Flachdach*	196
6.6	Bestimmung des Stoffübergangskoeffizienten bei der Verdunstung von Wasser*	198
6.7	Auslegung des Luftvolumenstroms zur Trocknung von Papierbahnen**	200
6.8	Verdunstungsraten eines Sees*	203
6.9	Sublimation von Naphthalin**	206
6.10	Anwendung der Analogie des Wärme- und Stofftransports auf geometrisch ähnliche Körper**	209
	Literatur	211
<b>7</b>	<b>Disperse Systeme</b>	<b>213</b>
7.1	Bestimmung einer Flüssigkeitsviskosität*	213
7.2	Dimensionierung eines Nachklärbeckens**	214
7.3	Charakteristika von Regentropfen und Hagelkörnern**	217
7.4	Sinkgeschwindigkeit eines Partikels**	219
7.5	Instationäres Absinken einer festen Kugel**	223
7.6	Dimensionierung eines Absetzbeckens für eine Kohlesuspension*	225
7.7	Auflösung einer Zuckerkugel**	226
7.8	Bestimmung eines Stoffübergangskoeffizienten***	229
7.9	Stoffübergang mit einer homogenen chemischen Reaktion***	234
7.10	Auflösung von kugelförmigen Partikeln aus Benzoesäure in Natronlauge***	237

7.11	Katalytische Oxidation von Propen <sup>*</sup>	242
7.12	Sauerstoffanreicherung in einer Luftblase <sup>**</sup>	243
7.13	Sättigung einer organischen Flüssigkeit <sup>**</sup>	246
	Literatur	248
<b>8</b>	<b>Einphasig durchströmte Feststoffschüttungen</b>	<b>249</b>
8.1	Oberfläche und Lückengrad einer Pallringschüttung <sup>*</sup>	249
8.2	Porosität und Druckverlust einer Kugelschüttung <sup>**</sup>	250
8.3	Charakterisierung einer Mehrkornschüttung <sup>*</sup>	253
8.4	Trocknung einer Feststoffschüttung <sup>**</sup>	256
8.5	Steigerung der Gasreinigungskapazität einer Feststoffschüttung <sup>*</sup>	259
8.6	Stofftransport in einer Ionenaustauschersäule <sup>***</sup>	263
8.7	Heterogene chemische Reaktion in einem Festbettreaktor <sup>***</sup>	267
8.8	Adsorption von Wasser <sup>**</sup>	270
8.9	Messung eines Stoffübergangskoeffizienten in einem Festbett <sup>**</sup>	274
	Literatur	276
<b>9</b>	<b>Filtration und druckgetriebene Membranverfahren</b>	<b>277</b>
9.1	Eindickung einer Suspension <sup>*</sup>	277
9.2	Auslegung der Druckdifferenz für eine Kuchenfiltration <sup>*</sup>	279
9.3	Bestimmung der Filtrationszeit für eine zweistufige Druckfiltration <sup>**</sup>	281
9.4	Kuchenfiltration mit einer Kreiselpumpe <sup>**</sup>	282
9.5	Auslegung eines Filters zur Trennung einer Suspension auf Basis experimenteller Daten <sup>**</sup>	285
9.6	Experimentelle Charakterisierung eines Filterkuchens und Auslegung der Filterfläche <sup>**</sup>	288
9.7	Auslegung einer Filtrationsstufe mit vier parallelen Filtern <sup>**</sup>	292
9.8	Auslegung zweier parallel betriebener Rahmenfilterpressen <sup>**</sup>	294
9.9	Massenbilanz eines Membranmoduls, Rückhalt und Selektivität <sup>*</sup>	296
9.10	Membranwiderstand bei der Mikrofiltration von Bier <sup>*</sup>	298
9.11	Auslegung eines Nanofiltrationsverfahrens <sup>**</sup>	300
9.12	Reinigung von Brackwasser mittels Umkehrosmose <sup>**</sup>	303
	Literatur	305
<b>10</b>	<b>Thermische Trocknung fester Stoffe</b>	<b>307</b>
10.1	Beharrungstemperatur eines feuchten Gutes geringen Volumens <sup>*</sup>	307
10.2	Verdunstung eines Oktantropfens im Fallstromvergaser <sup>***</sup>	309
10.3	Wärme- und Stoffübertragung an einem ausgedehnten feuchten Gut <sup>**</sup>	314
10.4	Vergleich von ein- und dreistufiger Trocknung <sup>**</sup>	317
10.5	Auslegung eines zweistufigen Umlufttrockners <sup>***</sup>	320
10.6	Auslegung eines Kanaltrockners <sup>**</sup>	324
10.7	Auslegung eines einstufigen Trockners <sup>**</sup>	327

10.8	Auslegung eines Gegenstromtrockners**	330
10.9	Gefriertrocknung eines kugelförmigen Teilchens***	333
10.10	Trocknungsverlauf in einem ebenen feuchten Gut**	336
	Literatur	339
<b>11</b>	<b>Rieselfilmapparate</b>	<b>341</b>
11.1	Widerstandsbeiwert bei laminarer Filmströmung*	341
11.2	Filmdicke einer laminar strömenden Bingham-Flüssigkeit*	343
11.3	Verweilzeitverteilung für einen laminar strömenden Film***	345
11.4	Sterilisation eines Fruchtsafts**	347
11.5	Nußeltzahl für eine Polymerlösung*	349
11.6	Absorption von Ammoniak in einen laminaren Wasserfilm**	351
11.7	Auslegung eines Rieselfilmabsorbers zur Abgasreinigung**	353
11.8	Anwendung der Penetrationstheorie zur Berechnung des Stoffübergangs**	359
11.9	Sättigung von Luft mit Wasserdampf**	360
11.10	Absorption von Wasserdampf in Schwefelsäure*	363
11.11	Chemisorption in einem Rieselfilm**	366
	Literatur	369
<b>12</b>	<b>Bodenkolonnen</b>	<b>371</b>
12.1	Bilanzierung einer Gegenstromrektifikationskolonne**	371
12.2	Gaswäsche in einer Bodenkolonne*	375
12.3	Bilanzierung eines Gegenstromabsorbers für Ammoniak***	378
12.4	Arbeitsbereich einer Siebbodenkolonne***	382
12.5	Fluiddynamische Charakterisierung einer Siebbodenkolonne**	386
12.6	Druckverlust in einer Vakuumkolonne*	390
12.7	Zusammenhang zwischen gas- und flüssigkeitsseitigem Bodenverstärkungsverhältnis***	393
12.8	Zusammenhang von gasseitigem Boden- und Punktverstärkungsverhältnis***	395
12.9	Berechnung des gasseitigen Punkt- und Bodenverstärkungsverhältnisses für einen Absorber**	398
	Literatur	401
<b>13</b>	<b>Füllkörper- und Packungskolonnen</b>	<b>403</b>
13.1	Nasser Druckverlust von Hiflow Ringen*	403
13.2	Druckverlust und Flutpunkt einer Füllkörperkolonne*	405
13.3	Fluiddynamische Dimensionierung einer Füllkörperkolonne**	407
13.4	Bestimmung des Kolonnendurchmessers einer Rektifikationskolonne*	411
13.5	Stoffübergangseinheiten eines HCl-Absorbers*	415
13.6	Berechnung der gasseitigen Übergangseinheiten**	416

13.7	Thermodynamische Auslegung eines CO <sub>2</sub> -Absorbers*	418
13.8	Bestimmung des $HTU_{og}$ -Werts eines NH <sub>3</sub> -Absorbers*	419
13.9	Füllkörperschütthöhe eines Gegenstromabsorbers***	422
	Literatur	426
<b>14</b>	<b>Strömungsmaschinen</b>	427
14.1	Bestimmung der theoretischen Schaufelarbeit einer Kreiselpumpe*	427
14.2	Bestimmung des Moments und der Druckerhöhung einer Radialpumpe**	429
14.3	Förderleistung eines rotierenden Rohres**	432
14.4	Förderhöhe und Fördervolumenstrom einer Kreiselpumpe in einer Anlage**	434
14.5	Ermittlung des Betriebspunkts einschließlich der zugehörigen Kenndaten einer Kreiselpumpe**	437
14.6	Ermittlung der maximalen Saughöhe einer Anlage für eine Kreiselpumpe*	440
14.7	Auswahl und Charakterisierung einer Kreiselpumpe**	442
14.8	Ermittlung der Betriebsdaten einer geometrisch ähnlichen Pumpe*	444
14.9	Charakterisierung einer Pumpe für Modellversuche*	445
14.10	Ermittlung von Laufradform und -durchmesser einer Kreiselpumpe**	446
	Literatur	449
<b>15</b>	<b>Wirbelschichtapparate</b>	451
15.1	Auslegung eines kontinuierlichen Wirbelschichttrockners**	451
15.2	Lockerungsbedingungen einer Wirbelschicht*	454
15.3	Betriebsbereich einer Wirbelschicht*	457
15.4	Messung der Lockerungsgeschwindigkeit und Sphärizität einer Partikelschüttung*	459
15.5	Aufwirbelung einer Katalysatorschicht aus Mikrokugeln*	461
15.6	Ausdehnungsverhalten einer homogenen Wirbelschicht**	463
15.7	Auslegung einer Wirbelschicht aus Anthrazit-Kohlepartikeln*	466
15.8	Bestimmung des Zustandes von Wirbelschichten*	468
15.9	Abkühlung von Luft in einer Wirbelschicht**	470
15.10	Abkühlung von Kaffeebohnen in einer Wirbelschicht***	472
	Literatur	477
<b>16</b>	<b>Feststofftransport in Rohrleitungen</b>	479
16.1	Experimentelle Bestimmung der Feststofftransportgeschwindigkeit*	479
16.2	Bezogene Feststofftransportgeschwindigkeit von Polypropylen-Granulat und -Pulver*	480
16.3	Auslegung einer pneumatischen Förderanlage für Steinkohle**	483

16.4	Auslegung einer pneumatischen Flugförderung für Polyethylen-Granulat**	486
16.5	Dimensionierung einer Flugförderungsanlage für Kunststoffpulver***	490
16.6	Pneumatische Schiffsentladungsanlage im Hafen von Lissabon**	496
	Literatur	500
<b>17</b>	<b>Gas/Flüssigkeits-Strömungen in Rohrleitungen</b>	<b>501</b>
17.1	Strömungsform eines Glycerin/Luft-Gemischs*	501
17.2	Gas/Flüssigkeits-Strömung in einem Kühlkreislauf***	503
17.3	Gas/Flüssigkeits-Strömung in einem Naturumlaufverdampfer**	508
17.4	Druckverlust eines Wasser/Dampf-Gemischs**	511
17.5	Korrekturfunktion für das homogene Modell***	515
17.6	Bestimmung des Reibungsdruckverlusts mit dem heterogenen Modell*	518
17.7	Korrekturfaktoren des Lockhart-Martinelli-Modells für eine idealisierte Schichtenströmung**	521
17.8	Verhältnis der Impulsstromdichten nach dem heterogenen und dem homogenen Modell**	524
	Literatur	527
<b>18</b>	<b>Mischen und Rühren</b>	<b>529</b>
18.1	Auswirkungen der Scale-up Regel konstanter volumenspezifischer Leistungseintrag*	529
18.2	Wärmeübergang in einem emaillierten Rührbehälter*	531
18.3	Homogenisieren zweier Flüssigkeiten**	533
18.4	Aufheizen eines Rührbehälters*	535
18.5	Wärmetechnische Auslegung eines Rührbehälters*	537
18.6	Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten eines Laborrührbehälters**	538
18.7	Überprüfung der Eignung eines Rührers für einen neuen Prozess*	541
18.8	Auslegung der Rührerleistung eines Suspendierührwerks**	542
18.9	Erforderliche Drehfrequenz für die vollständige Suspension*	546
18.10	Charakterisierung eines begasteten Rührkessels**	548
18.11	Experimentelle Bestimmung des volumenbezogenen Stoffdurchgangskoeffizienten**	551
18.12	Scale-up eines Scheibenrührers*	553
18.13	Auslegung eines SMX-Mischers*	557
	Literatur	559
<b>19</b>	<b>Blasensäulen</b>	<b>561</b>
19.1	Experimentelle Bestimmung des Dispersionskoeffizienten**	561
19.2	Gegenüberstellung gemessener und berechneter Dispersionskoeffizienten*	564

---

19.3	Mischungszustand in einer Blasensäule*	567
19.4	Bestimmung des Gasgehalts**	568
19.5	Ermittlung spezifischer Phasengrenzflächen*	571
19.6	Messung volumenspezifischer Stoffübergangskoeffizienten*	573
19.7	Befeuchtung eines Luftstroms in einer Waschflasche**	575
19.8	Absorption von Sauerstoff in Wasser**	578
19.9	Umsatz in einem Blasensäulenreaktor***	584
19.10	Abhängigkeit des Umsatzes in einem Blasensäulenreaktor von der Durchmischung***	590
19.11	Scale-up eines Blasensäulenreaktors***	594
	Literatur	601