

# Inhaltsverzeichnis

<b>Liste der Formelzeichen</b>	<b>XV</b>
<b>A. Thermodynamik der Gemische</b>	<b>1</b>
<b>1. Grundbegriffe</b>	<b>3</b>
1.1 Anmerkungen zur Nomenklatur von Mischphasen .....	4
1.2 Maße für die Zusammensetzung von Mischphasen .....	5
1.3 Beziehungen zwischen den verschiedenen Maßen für die Zusammensetzung .....	9
<b>2. Gemische idealer Gase</b>	<b>17</b>
2.1 Das Gesetz von Dalton .....	17
2.2 Zustandsgleichungen und Zustandsgrößen von Gemischen idealer Gase .....	19
<b>3. Dampf-Gas-Gemische</b>	<b>23</b>
3.1 Allgemeines .....	23
3.2 Das $h, X$ -Diagramm der feuchten Luft nach Mollier .....	31
3.2.1 Enthalpieänderung bei gleichbleibender Wasserbeladung .....	34
3.2.2 Mischung zweier Luftmassen .....	34
3.2.3 Zusatz von Wasser .....	37
3.2.4 Feuchte Luft streicht über eine Wasser- oder Eisfläche	39
<b>4. Phasengleichgewichte: Phänomenologie und Phasendiagramme</b>	<b>43</b>
4.1 Gleichgewicht flüssiger und dampfförmiger Phasen binärer Gemische .....	44

4.1.1	$T, x$ - und $p, x$ -Phasendiagramme .....	44
4.1.2	Zustandsänderungen im kritischen Gebiet .....	53
4.1.3	Zustandsänderungen von Gemischen mit azeotropem Punkt .....	58
4.2	Gleichgewicht flüssiger Phasen binärer Gemische .....	61
4.3	Gleichgewicht fester und flüssiger Phasen binärer Gemische .....	66
4.4	$h, \xi$ -Diagramme binärer Gemische .....	68
4.4.1	Mischungsgerade, Hebelgesetz und Isothermen von flüssigen Gemischen .....	72
4.4.2	Zweiphasige Zustandsbereiche .....	74
4.4.3	Schmelzen und Gefrieren .....	77
4.4.4	Zustandsänderungen im $h, \xi$ -Diagramm .....	79
4.5	Phasendiagramme ternärer Systeme .....	88
<b>5.</b>	<b>Konstitutive Größen und Gleichungen zur Beschreibung von Mischphasen</b> .....	<b>91</b>
5.1	Die Fundamentalgleichung von Gemischen und das chemische Potential .....	91
5.1.1	Das chemische Potential .....	92
5.1.2	Die Gibbssche Fundamentalgleichung .....	95
5.1.3	Eigenschaften des chemischen Potentials .....	98
5.1.4	Das chemische Potential idealer Gase .....	102
5.2	Thermodynamische Potentiale .....	104
5.3	Eulersche Gleichungen und die Gleichung von Gibbs-Duhem .....	115
5.3.1	Die Eulerschen Gleichungen .....	115
5.3.2	Die Gleichung von Gibbs-Duhem .....	120
5.4	Partielle molare Zustandsgrößen .....	123
5.4.1	Grundlegende Zusammenhänge .....	123
5.4.2	Berechnung der partiellen molaren Zustandsgrößen mit Hilfe des chemischen Potentials .....	131
5.5	Mischungs- und Exzessgrößen .....	134
5.5.1	Grundlegende Beziehungen .....	134
5.5.2	Mischungs-, Lösungs- und Verdünnungsenthalpien ..	137
5.5.3	Die molare und die spezifische Wärmekapazität von Gemischen .....	147

<b>6. Thermodynamisches Gleichgewicht und Stabilität</b>	<b>153</b>
6.1 Das Prinzip vom Minimum der Potentiale	153
6.2 Stabilität thermodynamischer Systeme	160
6.2.1 Die Bedingung für mechanische Stabilität	162
6.2.2 Die Bedingung für thermische Stabilität	164
6.2.3 Bedingung für die Stabilität hinsichtlich des Stoffaustausches	167
6.2.4 Metastabile Phasen am Beispiel von Einstoffsystemen	169
6.3 Das Phasengleichgewicht	170
6.4 Die Gibbssche Phasenregel	173
<b>7. Das chemische Potential realer Fluide</b>	<b>179</b>
7.1 Das ideale Gas als Referenz: Fugazität und Fugazitätskoeffizient	179
7.2 Die ideale Mischung als Referenz: Aktivität und Aktivitätskoeffizient	190
7.3 Die ideal verdünnte Lösung als Referenz: Rationelle Aktivitätskoeffizienten	192
7.4 Die Gleichung von Gibbs-Duhem für Fugazitäten und Aktivitäten	201
7.5 Exzessgrößen und ihr Zusammenhang mit dem chemischen Potential	204
<b>8. Empirische Ansätze für Zustandsgrößen von Gemischen</b>	<b>211</b>
8.1 Thermische Zustandsgleichungen	211
8.2 $G^E$ -Modelle und Aktivitätskoeffizienten	220
<b>9. Phasenzерfall und Phasengleichgewichte</b>	<b>243</b>
9.1 Phasenzерfall von flüssigen oder festen Gemischen	243
9.2 Die Gesetze von Raoult und Henry	246
9.2.1 Die Gleichung von Duhem-Margules	246
9.2.2 Verdampfungsgleichgewichte, Raoult'sches Gesetz	251
9.2.3 Zustand großer Verdünnung, Henry'sches Gesetz	254
9.3 Die allgemeine Berechnung von Phasengleichgewichten	260
9.3.1 Dampf-Flüssigkeitsgleichgewichte	262
9.3.2 Löslichkeit von Feststoffen in Flüssigkeiten	279
9.3.3 Gleichgewicht zwischen nicht mischbaren flüssigen Phasen	284

9.3.4	Prüfung von Gleichgewichtsdaten auf thermodynamische Konsistenz .....	287
9.4	Die Differentialgleichungen der Phasengrenzkurven .....	292
9.4.1	Isobare Siedepunktserhöhung und isobare Gefrierpunktserniedrigung .....	295
9.4.2	Isotherme Dampfdruckerniedrigung .....	301
9.4.3	Der osmotische Druck .....	303
<b>10.</b>	<b>Grenzflächenbestimmte Systeme und spontane Phasenübergänge</b>	<b>307</b>
10.1	Thermodynamisches Gleichgewicht in dispersen Systemen ..	309
10.1.1	Disperse Flüssigphase im Gleichgewicht mit einer Gasphase .....	309
10.1.2	Verallgemeinerte Gibbs-Thomson-Gleichungen für Gemische am Beispiel einer dispersen Flüssigphase ..	314
10.1.3	Kelvin-Gleichung für Einstoffsysteme und Betrachtungen zur Stabilität .....	317
10.1.4	Gasblasen in einer Flüssigkeit .....	319
10.2	Spontane Phasenübergänge .....	320
<b>B.</b>	<b>Thermodynamik chemischer Reaktionen</b>	<b>327</b>
<b>11.</b>	<b>Grundlagen und das chemische Gleichgewicht</b>	<b>329</b>
11.1	Formale Beschreibung chemischer Reaktionen .....	329
11.2	Das chemische Gleichgewicht .....	331
11.3	Homogene Reaktionen in Gasen .....	336
11.4	Homogene Reaktionen in der flüssigen Phase .....	339
11.5	Heterogene Reaktionen .....	340
11.6	Chemisches Gleichgewicht und Stoffbilanz .....	342
<b>12.</b>	<b>Energieumsatz bei chemischen Reaktionen und Standardgrößen</b>	<b>347</b>
12.1	Die Energiebilanz für chemisch reagierende Systeme .....	347
12.2	Standardgrößen für die Enthalpie, Entropie und freie Enthalpie .....	353
12.3	Berechnung von Gleichgewichtskonstanten .....	359

12.4 Die Gleichgewichtskonstante als Funktion von Temperatur und Druck .....	361
12.5 Triebkraft einer chemischen Reaktion .....	364
12.6 Entropieerzeugung und maximal gewinnbare Arbeit .....	367
12.6.1 Entropieerzeugung bei Systemen ohne Nutzarbeit ...	367
12.6.2 Nutzarbeit bei reversiblen chemischen Reaktionen ..	368
<b>13. Gleichgewichtsreaktionen in der Gasphase</b>	<b>371</b>
13.1 Der Gasgenerator zur Kohlenmonoxiderzeugung .....	371
13.2 Die Dissoziation von Kohlendioxid und Wasserdampf .....	374
13.3 Das Wassergasgleichgewicht und die Zersetzung von Wasserdampf durch glühende Kohle .....	379
<b>14. Gleichgewichtsreaktionen in Elektrolytlösungen</b>	<b>387</b>
14.1 Grundbegriffe und Aktivitätskoeffizienten .....	387
14.2 Gleichgewichte in schwachen Elektrolytlösungen .....	394
14.2.1 Die Dissoziation des Wassers und der pH-Wert .....	394
14.2.2 Dampfdrücke über schwachen Elektrolytlösungen ..	396
<b>C. Prozesse</b>	<b>405</b>
<b>15. Stoff- und Energiebilanzen für die Prozessberechnung</b>	<b>407</b>
<b>16. Verbrennungsprozesse</b>	<b>411</b>
16.1 Verbrennungserscheinungen .....	411
16.2 Grundlegende Reaktionsgleichungen .....	419
16.3 Brennstoffzusammensetzung, Heiz- und Brennwerte .....	420
16.3.1 Zusammensetzung fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe .....	420
16.3.2 Heiz- und Brennwerte .....	427
16.4 Stoff- und Energiebilanzen bei vollständiger Verbrennung ..	430
16.4.1 Sauerstoff- und Luftbedarf .....	431
16.4.2 Abgaszusammensetzung .....	435
16.4.3 Verbrennungstemperatur und Wärmeabgabe .....	436
16.5 Unvollständige Verbrennung .....	442

<b>17. Prozesse zur Stofftrennung</b>	<b>443</b>
17.1 Eindampfen .....	443
17.2 Destillation .....	452
17.3 Rektifikation .....	457
17.4 Extraktion .....	476
17.5 Kristallisation .....	484
17.6 Absorption .....	494
17.7 Partielles Verdampfen und Kondensieren von Mehrstoffgemischen .....	498
<b>Anhang</b>	<b>503</b>
<b>Lösungen der Übungsaufgaben</b>	<b>505</b>
<b>Namen- und Sachverzeichnis</b>	<b>531</b>