

Inhaltsverzeichnis

0 Nomenklatur	1
1 Einleitung	3
1.1 Motivation	3
1.2 Wirtschaftlichkeit der Wärme-Kälte-Kopplung	8
1.3 Ammoniak als Kältemittel in Absorptionswärmepumpen	9
1.4 Geschichtlicher Überblick	11
1.5 Gliederung der Arbeit	12
2 Der einfache Ammoniak-Wasser Absorptionskreislauf	14
2.1 Stoffdaten	17
2.2 Rektifikation	18
2.2.1 Berechnung der Rektifikation	19
2.2.2 Zwei Zuläufe in der Trennkolonne	24
2.3 Darstellung des Ammoniak-Wasser Absorptionskreislaufs im H-x Diagramm	29
2.4 Kondensatreinheit	34
3 Prozeßverbesserungen	39
3.1 Lösungsrückführung im Absorber und Generator	39
3.2 Lösungsgekühlter Dephlegmator	41
3.3 Lösungsrückführung und lösungsgekühlter Dephlegmator	43
3.4 Trennkolonne mit zwei Zuläufen gleicher Konzentration	44
3.5 Reversible thermische Stofftrennung	46
3.5.1 Reversible Trennkolonne mit Wärmeaustausch	47
3.5.2 Reversible Trennkolonne mit Stoffaustausch	50
3.6 Neue Möglichkeiten zur Verbesserung des Absorptionskreislaufs	54
4 Inverse Rektifikation	57
4.1 Vorschläge zur Ausführung der inversen Rektifikation	58
4.1.1 Adiabate Mischkolonne	58

4.1.2	Diabate Mischkolonne	61
4.2	Berechnung der adiabaten Mischkolonne	63
4.2.1	Irreversible Mischung	67
4.2.2	Zulaufende Flüssigkeitsmenge gleich abströmender Dampfmenge ($m_o = M_o$)	69
4.2.3	Gleichgewicht zwischen abströmendem Dampf und zulaufender Flüssigkeit	73
4.2.4	Gleichgewicht zwischen abfließender Flüssigkeit und zuströmendem Dampf	76
4.2.5	Stufenzahl der Mischkolonne	78
5	Die Mischkolonne in Ammoniak-Wasser Absorptionsprozessen	79
5.1	Der Absorptionsprozeß mit Mischkolonne	79
5.1.1	Prinzip	79
5.1.2	Darstellung im H-x Diagramm	80
5.1.3	Diskussion	84
5.2	Der Absorptionsprozeß mit Mischkolonne und Zwischenabsorber	85
5.2.1	Prinzip	85
5.2.2	Darstellung im H-x Diagramm	87
5.2.3	Diskussion	92
5.3	Simulationsrechnungen	93
5.3.1	Variation der Stufenzahl der Mischkolonne	95
5.3.2	Variation des Lösungsabzweigs zur Mischkolonne	96
5.3.3	Variation der Stufenzahl der Trennkolonnen	98
5.3.4	Variation des kF-Wertes im Lösungswärmetauscher	99
5.3.5	Variation des kF-Wertes im Nachkühler	101
5.3.6	Variation des Temperaturhubs	103
6	Aufbau der Laboranlage	106
6.1	Auslegung	110
6.2	Beschreibung der Komponenten	111
6.2.1	Werkstoffe	111
6.2.2	Generator	112
6.2.3	Kondensator und Dephlegmator	112

6.2.4	Verdampfer	113
6.2.5	Nachkühler	113
6.2.6	Lösungswärmetauscher	114
6.2.7	Zwischenabsorber	115
6.2.8	Absorber	115
6.2.9	Trenn- und Mischkolonne	117
6.2.10	Lösungspumpen	119
6.2.10.1	Entwicklung einer thermischen Lösungspumpe	120
6.2.10.2	Test der thermischen Lösungspumpe	123
6.2.11	Kühlwasserkreisläufe	125
6.3	Sicherheitstechnik	125
6.4	Regelung	127
7	Meßtechnik und Auswertung	132
7.1	Temperaturmessung	133
7.2	Druckmessung	135
7.3	Massen- und Volumendurchfluß	136
7.4	Leistungsmessung	138
7.4.1	Wärmeträgerleistungen	138
7.4.2	Elektrische Leistungen	139
7.5	Korrektur der Wärmeverluste und des Wärmeeintrags	140
7.5.1	Bestimmung der Wärmeverluste	140
7.5.2	Bestimmung des Wärmeeintrags im Solekreislauf des Verdampfers	142
7.6	Konzentrationsmessung	144
7.7	Auswertung	145
7.7.1	Korrektur der Konzentrationen	146
7.7.2	Abweichung der Leistungen	147
7.7.3	Konsistenz weiterer Meßgrößen	149
7.7.4	Behandlung der Referenzmessungen	150
7.7.5	Weitere berechnete Größen	151
8	Meßergebnisse	152
8.1	Stationärer Betrieb	153
8.2	Einfluß der Kondensatreinheit	158

8.3	Einfluß des Lösungsabzweigs zur Mischkolonne	162
8.3.1	Temperaturen	163
8.3.2	Konzentrationen	165
8.3.3	Leistungen	167
8.3.4	Wärmeverhältnis (COP)	170
8.4	Wärmeverhältnis (COP) als Funktion des Temperaturhubs	171
8.4.1	Definition der Versuchsbedingungen	172
8.4.2	Experimentelle Ergebnisse	174
8.4.3	Diskussion von COP und Temperaturhub	176
8.5	Lastverhalten	177
8.6	Stufenzahl der Mischkolonne	181
8.7	Stufenzahl der Trennkolonnen	183
8.7.1	kF-Wert des Lösungswärmetauschers	184
8.7.2	kF-Wert des Nachkühlers	185
8.7.3	Korrektur des Temperaturhubs	186
8.7.4	Bestimmung der Stufenzahl	187
8.7.5	Vergleich von Theorie und Experiment	189
8.8	Absorber	191
8.8.1	Der k-Wert des Absorbers	191
8.8.2	Einfluß von Inertgasen in einem Blasenabsorber	194
8.9	Betriebserfahrungen	197
9	Zusammenfassung	200
10	Literaturverzeichnis	204

Anhang

Anhang I zu Kapitel 3	212
Anhang II zu Kapitel 5	214
Anhang III zu Kapitel 6	216
Anhang IV zu Kapitel 6	220
Anhang V zu Kapitel 8	222