

# Die Wirkungsweise der Rektifizier- und Destillier- Apparate

mit Hilfe einfacher mathematischer Betrachtungen

dargestellt von

**E. Hausbrand**

Kgl. Baurat

Dritte, völlig neu bearbeitete und sehr vermehrte Auflage

Mit 25 Figuren im Text und auf 16 Tafeln

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH  
1916

ISBN 978-3-662-37727-7      ISBN 978-3-662-38544-9 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-38544-9

**Alle Rechte, insbesondere das der  
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.**

**Copyright 1916 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg**  
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1916.  
Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1916

## Vorwort zur dritten Auflage.

Diese Auflage ist eine vollständige Umarbeitung des Buches, obgleich fast alle Darlegungen der früheren Auflagen auch jetzt ihr Ansehen behalten. Aber fernere Beschäftigung mit den in jenen behandelten Gegenständen hat doch manche früher noch etwas dunkle Punkte erhellt, manche bis dahin unbekannte Beziehungen und Zusammenhänge aufgedeckt und so weit geführt, daß es gelang, Gleichungen für die Berechnung der Destillierapparate aufzustellen, deren leichte Herleitung, angenehm symmetrische Form und durchsichtige Einfachheit kaum etwas zu wünschen übrig läßt. Mit ihrer Hilfe können nun die Hauptabmessungen aller Apparate zur Trennung von zwei ineinander vollkommen löslichen Flüssigkeiten durch wiederholte Verdampfung gefunden werden. Freilich ist zur nützlichen Verwendung dieser Gleichungen den Erbauern von Destillierapparaten in jedem Falle die Kenntnis der physikalischen Eigenschaften der zu trennenden Stoffe erforderlich. Hier sind wohl noch einige Lücken auszufüllen, denn weder die Verdampfungswärme von Mischdämpfen, noch der Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung des Flüssigkeitsgemisches und der des aus ihm entstandenen Dampfes sind für alle Fälle bekannt. Nur einzelne dieser unumgänglich erforderlichen Unterlagen können errechnet werden, für die weitaus meisten ist der Konstrukteur auf die in der Literatur zerstreut veröffentlichten Resultate der Versuche einzelner Forscher angewiesen, die erwünschte Aufklärung brachten. Allein bis jetzt sind solche noch nicht für sehr viele Flüssigkeitsmischungen vorhanden: Eine Anzahl der dem Verfasser erreichbaren sind in den nachfolgenden Blättern zu finden.

Die latente Wärme des aus Flüssigkeitsmischungen entstandenen Dampfes ist unseres Wissens nicht von gar vielen Forschern untersucht worden, und nicht alle sind zu den gleichen Resultaten gekommen. In neuerer Zeit scheint die Ansicht Geltung zu gewinnen, daß die latente Wärme von Dampfgemischen, deren Teile aufeinander nicht einwirken, gleich sei der Summe der latenten Wärme der Komponenten. Dieser Auffassung haben wir uns im folgenden angeschlossen.

Die benutzten Angaben über die Zusammensetzung des Dampfes aus Flüssigkeitsgemischen stammen sowohl aus der Literatur als auch

aus Privatnachrichten wohlgesinnter Freunde, denen ich auch hier für diese danke.

Nachdem im ersten Teil des Buches die Theorie (wenn sie so genannt werden darf) der Destillierapparate entwickelt worden, folgt im zweiten ihre Anwendung auf die Berechnung der Apparate, die zur Trennung einer Anzahl von Mischungen dienen sollen, mit all den Angaben, Resultaten, Tabellen und Zeichnungen, die zur vollkommenen Verdeutlichung fast aller Umstände erwünscht scheinen. Es ist bei dieser Darlegung als Ziel erstrebt, dem Leser volle und leicht erreichbare Aufklärung zu gewähren. Die Zahl der durchgerechneten Mischungen wird hierzu hoffentlich genügen. Ein Mehr hätte den Umfang des Buches wohl zu sehr vergrößert.

Daß auch von Flüssigkeiten absorbierte Gase sich wie aus jenen entwickelte Dämpfe verhalten können, zeigt das Beispiel von Ammoniak und Wasser.

Im allgemeinen sind nur die Apparate zur Trennung von zwei Stoffen behandelt, weil sie die am häufigsten geforderten sind, weil die theoretisch-physikalischen Unterlagen für mehr als zwei Stoffe zumeist noch fehlen und weil die praktische Trennung vieler gemischter Stoffe sich oft als auch eine solche von nur zweien herausstellt. Soviel als zugänglich schien, ist auch über diese Apparate mitgeteilt.

Bei der Vielfältigkeit der Eigenschaften der behandelten Stoffe, die sich auf Mischungsverhältnisse, spezifische und latente Wärme, Temperatur, Spannung, Wärmeleitung etc. beziehen, würde eine volle Berücksichtigung aller dieser, auch innerhalb der Apparate wechselnden Umstände zu unendlichen Komplikationen und völliger Unübersichtlichkeit führen. Deshalb sind gewisse Vereinfachungen, über die berichtet wird, als erwünscht, ja erforderlich zugelassen worden, was auch deshalb erlaubt schien, weil ihre Wirkungen auf die gewonnenen Resultate wohl so gering sind, daß sie für den praktischen Gebrauch, der immer im Auge behalten ist, keinen störenden Einfluß üben.

Soweit wir wissen, ist bis dahin ein Verfahren zur wirklichen Berechnung der für viele Industrien so wichtigen Destillierapparate noch in keiner Sprache veröffentlicht worden. Vieljährige Beschäftigung mit dem Thema und die außergewöhnlich reiche Gelegenheit zum Studium und zum Sammeln von Erfahrungen im Konstruktionsbureau und der Werkstatt der Firma Heckmann, Berlin haben es dem Verfasser ermöglicht, seine Betrachtungen zu abschließenden Ergebnissen zu führen. Er bleibt diesen Quellen der Erkenntnis immer dankbar.

Berlin, im Dezember 1915.

**Der Verfasser.**

# Inhaltsverzeichnis.

## Erster Teil.

	Seite
1. Einleitung . . . . .	1
2. Über die Annahmen, die im folgenden gelten sollen (Tafel 1) . . . . .	2
3. Zusammenstellung der Buchstabenbezeichnungen, die im folgenden angewendet werden (Fig. 2, 3, 4) . . . . .	5
4. Erklärung der Vorgänge bei der periodischen Rektifikation (Fig. 2 u. 5)	8
5. Vorgänge auf den Säulenböden (Fig. 6) . . . . .	15
6. Der Kondensator (Verdichter) . . . . .	21
7. Ist es vorteilhaft, statt eines Kondensators über der Säule deren viele, und zwar zwischen je zwei Böden einen anzuordnen? (Fig. 7 u. 8) . .	24
8. Soll die Kolonne gegen Wärmeausstrahlung geschützt werden, oder ist es besser, sie unbedeckt zu lassen? (Fig. 9) . . . . .	28
9. Kann aus einem Dampfgemisch nur durch Verflüssigung ohne Aufkochung das Leicht siedende abgetrennt werden? . . . . .	30
10. Soll der gesamte Rücklauf aus dem Kondensator auf den obersten Säulenboden geleitet werden, oder ist es vorteilhafter, den Rücklauf getrennt, etwa nach seiner Qualität, auf mehrere Böden zu verteilen?	32
11. Die kontinuierlichen Destillierapparate . . . . .	32
12. Die Verstärkungssäule steht über der Abtriebssäule (Fig. 3 u. 10) . .	34
13. Die erforderliche Anzahl von Aufkochungen oder Böden in den Säulen . . . . .	48
A. In der Verstärkungssäule . . . . .	48
B. In der Abtriebssäule . . . . .	51
14. Die Verstärkungssäule steht neben der Abtriebssäule (Fig. 4) . . . .	55
15. Allmähliche Verdampfung und allmähliche Kondensation von Flüssigkeits- und Dampfgemischen . . . . .	59
A. Allmähliche Verdampfung (Tafel 11) . . . . .	59
a) Wenn der gesamte erzeugte Dampf mit dem Rest in Berührung bleibt . . . . .	59
b) Wenn der entwickelte Dampf jeden Augenblick vom Rest ganz getrennt wird . . . . .	60
B. Allmähliche Kondensation (Tafel 11) . . . . .	63
16. Zusammenstellung der für die Berechnung von Destillierapparaten bestimmten Hauptgleichungen, wenn in diese nicht das Verhältnis $\frac{w}{a} = f$ , sondern der Prozentgehalt der Flüssigkeiten und Dämpfe an Leicht siedendem (a) eingeführt wird . . . . .	65
17. Trennung von Mischungen aus mehr als zwei Stoffen . . . . .	67
18. Konstruktionseinzelheiten der Destillierapparate . . . . .	70

Zweiter Teil.		Seite
19. Äthylalkohol und Wasser . . . . .		73
A. Physikalische Eigenschaften (Tafel 12) . . . . .		73
B. Wärmeverbrauch der periodischen Alkohol-Rektifizierapparate . .		77
C. Die erforderliche Anzahl von Böden in den Säulen (Tafel 15) . .		79
D. Der Kondensator . . . . .		82
E. Zahlenbeispiele für die verzögernde Wirkung mehrerer kleiner Kondensatoren, die statt eines einzelnen über der Säule, zwischen den Böden angeordnet werden . . . . .		83
F. Zahlenbeispiel dafür, daß bei der Rektifikation ohne Aufkochungen d. h. durch bloße Kondensation (Verflüssigung) die aufeinander folgenden Niederschlagsmengen so klein wie möglich sein müssen . . . . .		83
G. Kontinuierliche Alkohol-Destillierapparate . . . . .		83
1. Die Abtriebssäule (Tafeln 14, 16) . . . . .		84
2. Die Verstärkungssäule steht über der Abtriebssäule . . . .		87
3. Die Spiritussäule steht neben der Maischesäule (Tafeln 17 und 18) . . . . .		93
20. Methylalkohol und Wasser . . . . .		96
A. Physikalische Eigenschaften (Tafel 12) . . . . .		96
B. Periodische Rektifizierapparate (Tafel 14) . . . . .		98
C. Kontinuierliche Destillierapparate (Tafeln 19, 20, 21, 22, 24) . .		100
21. Aceton und Wasser . . . . .		107
A. Physikalische Eigenschaften (Tafel 12) . . . . .		107
B. Kontinuierliche Destillierapparate (Tafel 23) . . . . .		107
22. Aceton und Methylalkohol (Tafel 24) . . . . .		109
23. Essigsäure und Wasser (Tafeln 12, 24) . . . . .		111
24. Ameisensäure und Wasser (Tafeln 12, 23) . . . . .		113
25. Ammoniak und Wasser (Tafeln 12, 23) . . . . .		114
A. Physikalische Eigenschaften . . . . .		114
B. Kontinuierliche Destillierapparate . . . . .		116
26. Stickstoff und Sauerstoff (Tafeln 23, 24, 25) . . . . .		118

Tabelle  
Nr.

Dritter Teil (Tabellen).

1. Vergleich der von Dan. Tyrer gefundenen, mit der nach der Gleichung $C = a\alpha + w\beta$ berechneten Verdampfungswärme von Dampfgemischen . . . . .	124
2. Äthylalkohol und Wasser (Tafel 12). Alkoholgehalt der Flüssig- keiten und der aus ihnen entstehenden Dämpfe . . . . .	126
3. Verdampfungs-Flüssigkeits- und Gesamtwärme der Alkohol-Wasser-Mi- schungen . . . . .	131
4. In Verstärkungssäulen erforderliche Rücklaufwärme . . . . .	132
5. a) b) c) Alkoholgehalt der Flüssigkeit und des Dampfs auf jedem Boden der Verstärkungssäulen . . . . .	133
6. Verstärkende Wirkung des Kondensators . . . . .	136
7. Bodenzahl der Verstärkungssäulen, wenn in ihnen Wärme entzogen wird und wenn dies nicht der Fall ist . . . . .	136
8. Verschiedenes Endresultat, wenn aus 100 kg Alkoholdampf ein Teil in 6 oder 3 Stufen niedergeschlagen wird . . . . .	138
9. In Abtriebssäulen erforderlicher Wärmeaufwand (Tafel 14) . . . . .	139
10. Alkoholgehalt auf jedem Boden der Abtriebssäulen (Tafel 16) . . . .	140
11. Alkoholgehalt der Flüssigkeit und des Dampfs auf dem Einlaufboden M. (Tafel 17) . . . . .	142
12. Ein flüssiges Alkohol-Wasser-Gemisch wird in Stufen verdampft (Ta- fel 11) . . . . .	144

Tabelle Nr.	Seite
13. Ein Alkohol-Wasser-Dampfgemisch wird in Stufen niedergeschlagen (Tafel 11) . . . . .	146
14. Methylalkohol und Wasser (Tafel 12). Alkoholgehalt der Flüssigkeiten und der aus ihnen entstehenden Dämpfe . . . . .	147
15. In Verstärkungs- und Abtriebssäulen erforderliche Wärme (Tafel 14)	152
16. Alkoholgehalt der Flüssigkeit und des Dampfes auf jedem Boden der Verstärkungssäulen . . . . .	153
17. Alkoholgehalt der Flüssigkeit und des Dampfes auf dem Einlaufboden M. (Tafel 20) . . . . .	154
18. Alkoholgehalt der Flüssigkeit und des Dampfes auf jedem Boden der Abtriebssäulen (Tafel 21) . . . . .	155
19. Ein flüssiges Methylalkohol-Wassergemisch wird in Stufen verdampft (Tafel 11) . . . . .	156
20. Ein Methylalkohol-Wasser-Dampfgemisch wird in Stufen niedergeschlagen (Tafel 11) . . . . .	158
21. Azeton und Wasser. Azetongehalt der Flüssigkeiten und der aus ihnen entstehenden Dämpfe (Tafel 12) . . . . .	159
22. In Verstärkungs- und Abtriebssäulen erforderliche Wärme (Tafel 23)	164
23. Azetongehalt auf jedem Boden der Verstärkungssäulen . . . . .	165
24. Azetongehalt auf jedem Boden der Abtriebssäulen . . . . .	166
25. Azeton und Methylalkohol. Azetongehalt der Flüssigkeiten und der aus ihnen entstehenden Dämpfe (Tafel 24) . . . . .	167
26. In Verstärkungssäulen erforderliche Rücklaufwärme (Tafel 23) . . .	172
27. Azetongehalt auf jedem Boden der Verstärkungssäulen . . . . .	173
28. Azetongehalt auf jedem Boden der Abtriebssäulen . . . . .	174
29. Wasser und Essigsäure. Wassergehalt der Flüssigkeiten und des aus ihnen entstehenden Dampfes . . . . .	175
30. In Verstärkungs- und Abtriebssäulen erforderliche Wärme . . . . .	180
31. Wassergehalt auf jedem Boden der Verstärkungssäulen . . . . .	181
32. Wasser und Ameisensäure. Wassergehalt der Flüssigkeiten und der aus ihnen entstehenden Dämpfe (Tafel 12) . . . . .	182
33. In Verstärkungssäulen erforderliche Rücklaufwärme (Tafel 23). . . .	185
34. In Abtriebssäulen erforderliche Wärme (Tafel 23) . . . . .	185
35. Wassergehalt auf jedem Boden der Verstärkungssäulen . . . . .	186
36. Wassergehalt auf jedem Boden der Abtriebssäulen . . . . .	187
37. Ammoniak und Wasser. Ammoniakgehalt der Flüssigkeiten und der aus ihnen entstehenden Dämpfe (Tafel 12) . . . . .	188
38. In Verstärkungs- und Abtriebssäulen erforderliche Wärme (Tafel 23)	190
39. Ammoniakgehalt auf jedem Boden der Verstärkungssäulen . . . . .	191
40. Ammoniakgehalt auf jedem Boden der Abtriebssäulen . . . . .	192
41. Ammoniakgehalt der Flüssigkeit und des Dampfes auf dem Einlaufboden M . . . . .	193
42. Gewicht und Volumen von 1 Kilo Luft, Sauerstoff und Stickstoff.	194
43. Stickstoff und Sauerstoff. Stickstoffgehalt der Flüssigkeiten und der aus ihnen entstehenden Dämpfe (Tafel 25) . . . . .	195
44. In Verstärkungs- und Abtriebssäulen erforderliche Wärme . . . . .	200
45. Stickstoffgehalt auf jedem Boden der Verstärkungssäulen. . . . .	201
46. Stickstoffgehalt auf jedem Boden der Abtriebssäulen . . . . .	201
47. Umwandlung von Maßprozenten in Gewichtsprozente der Alkohol-Wassermischungen . . . . .	202