

Rektifizier-
und
Destillier-Apparate

von
E. Hausbrand

Zweite Auflage

Die Wirkungsweise
der
Rektifizier- und Destillier-Apparate

mit Hilfe einfacher mathematischer Betrachtungen

dargestellt

von

E. Hausbrand.

Zweite Auflage.

Mit 18 Figuren im Text und auf 13 Tafeln nebst 19 Tabellen.



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH 1903

ISBN 978-3-662-36002-6 ISBN 978-3-662-36832-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-36832-9
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1903

~~~~~  
Alle Rechte, insbesondere das der Über-  
setzung in fremde Sprachen, vorbehalten.  
~~~~~

Die nachfolgenden Blätter widmet der Firma

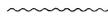
C. Heckmann in Berlin

als derjenigen, welche allen Bestrebungen zur Vervollkommnung der hier behandelten Apparate eine nie ermüdende Aufmerksamkeit und eine immer offene Hand entgegenbrachte,

der Verfasser.

Im August 1903.

Vorwort zur zweiten Auflage.



Die in der ersten Auflage dieses kleinen Buches dargelegten Betrachtungen haben sich als zutreffend erwiesen und sind für den Neudruck nur an einigen Stellen etwas erweitert worden. Der Neudruck rechtfertigt sich, weil der vorgetragene Gegenstand für Viele von erheblichem Interesse scheint und ein anderes deutsches Buch, das ihn einigermaßen vollständig behandelt, unseres Wissens nicht erschienen ist.

In den nachfolgenden Blättern sind die typischen Formen der Rektifizier- und Destillier-Apparate behandelt. Die hier angewandte Methode der Betrachtung kann leicht auch auf die ziemlich zahlreichen, abgeänderten Konstruktionen übertragen werden, und sie schafft dann auch dort unschwer die erwünschte Aufklärung.

Es sei gestattet, an dieser Stelle den vielen geneigten Lesern, die mich durch billigende Zuschriften erfreuten, zu danken.

Berlin, im August 1903.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.



	Seite
Vorbemerkung	1
I. Über die Annahmen, die im folgenden gelten sollen	2
A. Die Rektifizier-Apparate.	
II. Zusammenstellung der Buchstabenbezeichnungen, welche in der Folge immer angewendet werden sollen. (Fig. 1 und 2)	4
III. Erklärung der Vorgänge im Rektifizier-Apparat und Bestimmung der Größen a , w , C , f	5
IV. Vorgänge auf den Kolonnenböden. (Fig. 3)	11
V. Der Kondensator (Dephlegmator)	13
VI. Sollen Dampf und Rücklauf in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung durch den Kondensator strömen?	14
VII. Ist es vorteilhaft, statt eines Kondensators über der Kolonne deren viele und zwar zwischen je zwei Böden einen anzuordnen? (Fig. 4 und 5)	15
VIII. Soll die Kolonne gegen Wärmeausstrahlung geschützt werden, oder ist es besser, sie unbekleidet zu lassen? (Fig. 6)	17
IX. Kann man aus einem Dampfgemisch nur durch Dephlegmation ohne Aufkochungen das Leicht siedende abtrennen?	18
X. Soll der gesamte Rücklauf aus dem Kondensator auf den obersten Kolonnenboden geleitet werden, oder ist es besser, den Rücklauf etwa getrennt, nach seiner Qualität, auf mehrere Böden zu verteilen?	19
XI. Die graphische Methode. (Fig. 7, 8, 9)	20
XII. Berechnung der Alkohol-Rektifizierapparate	24
Tabelle 1	26
Tabelle 2	28
XIII. Darstellung der Alkohol-Gewichtsprozente von Dampf-mischungen, die über siedenden Alkohol-Wassermischungen von verschiedenem Gehalt schweben, durch ein Diagramm. (Fig. 10)	29
XIV. Berechnung des Wärmegehaltes und der Alkohol- und Wassergewichte an bestimmten Stellen der Rektifizierapparate	30
Tabelle 3	32
Tabelle 4	34
Tabelle 5	36
XV. Darstellung der Zahlen der Tabellen 2 und 4 durch Diagramme. (Fig. 11 und 12)	39

	Seite
XVI. Berechnung der Gewichte und des Prozentgehaltes der Flüssigkeiten und Dämpfe auf sämtlichen Böden einer Spirituskolonne. (Fig. 13)	42
Tabelle 6	45
XVII. Zahlenbeispiele für die verzögernde Wirkung, welche die Wärmeausstrahlung der Kolonne und kleine zwischen je zwei Böden angeordnete Kondensatoren ausüben	46
XVIII. Zahlenbeispiele dafür, daß bei Rektifikation ohne Aufkochungen nur durch Dephlegmation die Niederschläge in den geringstmöglichen Mengen erzeugt und abgeführt werden müssen . .	47
Tabelle 7	48
Tabelle 8	56
B. Die kontinuierlichen Destillier-Apparate.	
XIX. Allgemeines	58
XX. Bezeichnungen. (Fig. 14 und 16)	59
XXI. Spirituskolonne neben der Maischkolonne. (Fig. 15)	61
XXII. Spirituskolonne über der Maischkolonne. (Fig. 16 und 17) . .	73
XXIII. Beispiele für die Benutzung der entwickelten Formeln zur Bestimmung der Gewichte und Prozente von Alkohol und Wasser an bestimmten Stellen, sowie des Wärmeverbrauchs kontinuierlicher Destillierapparate	81
Tabelle 9	83
Tabelle 10	85
Tabelle 11	86
Tabelle 12	87
Tabelle 13	88
Tabelle 14	89
Tabelle 15	90
XXIV. Darstellung der Alkohol-Gewichtsprozente des Dampfes, der sich aus Maischen mit verschiedenem Alkoholgehalt entwickelt, wenn dieselben kälter oder wärmer in die Maischkolonnen treten, durch ein Diagramm. (Fig. 18)	95
XXV. Über die Größenverhältnisse der Verstärkungs- (Rektifikations- oder Spiritus-) Kolonnen und des Dephlegmatoren der kontinuierlichen Brennapparate	95
Tabelle 16	96
Tabelle 17	100
Tabelle 18	105
XXVI. Schlußbemerkungen	111
Tabelle 19	114



Vorbemerkung.

Die Apparate zur kontinuierlichen und die zur fraktionierten Destillation oder Rektifikation finden in der chemischen Industrie und in der des Alkohols eine sehr verbreitete und noch steigende Anwendung. Bei allen diesen Apparaten handelt es sich darum, aus einer Mischung von Flüssigkeiten, die bei verschiedenen Temperaturen sieden, eine oder mehrere von den anderen durch wiederholte Verdampfung zu trennen. Die Kenntnis der Vorgänge in denselben ist für alle diejenigen, welche sie benutzen oder anfertigen, und für diese besonders, von erheblichem Interesse, und doch ist eine einigermaßen vollständige Darstellung dieser Vorgänge, so weit ich weiß, nie veröffentlicht worden.

Zum Teil kann dies wohl daher rühren, daß die Vorgänge auf den ersten Blick komplizierter erscheinen als sie es wirklich sind, zum Teil daher, daß es bis jetzt nicht gelungen ist, die Zusammensetzung der aus einem Flüssigkeitsgemisch entweichenden Dämpfe durch bestimmte Formeln anzugeben.

Es existieren für die meisten Flüssigkeitsgemische keine oder nur sehr vereinzelte experimentell gewonnene Daten hierüber, und es wäre sehr zu wünschen, daß diese Lücke ausgefüllt würde.

Da nun aber die Zusammensetzung der Dämpfe, die aus einem siedenden Flüssigkeitsgemisch von bestimmter Zusammensetzung aufsteigen, nicht berechnet werden kann, muß man sich eben auf die wenigen experimentell gewonnenen Zahlen stützen, und es wird sich zeigen, daß da, wo diese vorliegen, auch eine ziemlich genaue Rechnung möglich ist.

Es ist die Absicht, auf den nachfolgenden Blättern nur die Theorie der Trennung der Flüssigkeiten durch Destillation zu entwickeln.

Die Besprechung der konstruktiven Ausführung dieser Apparate liegt nicht im Rahmen dieser Arbeit, obgleich eine gute Konstruktion für die Wirkung, die Bedienung und die Haltbarkeit höchst wichtig ist, und obgleich sich für dieses Thema bei der

Mannigfaltigkeit der zu bearbeitenden Stoffe und ihrer Eigenschaften ein erhebliches Material beibringen ließe. Es sollen hier nur die Vorgänge, die Bewegungen der Dämpfe und Flüssigkeiten an den verschiedenen Stellen der in Rede stehenden Apparate beschrieben, die von denselben gewonnene Vorstellung durch feste, einfache Formeln begrenzt und mit Hilfe dieser einige häufig vorkommende Fälle der Alkohol-Wasser-Destillation durch Zahlenbeispiele erörtert werden.

Es ergeben sich dann hieraus leicht die Gesichtspunkte, welche von den Konstrukteuren der Apparate wohl zu beachten sind.

Die Alkohol-Wasser-Mischungen sind für die Zahlenbeispiele gewählt worden, weil sie gerade ein großes Interesse für viele haben und weil für diese, mehr als für andere Stoffe, die in Betracht kommenden Daten zugänglich waren.

Verdienstliche Veröffentlichungen sind über denselben Gegenstand in Prof. Dr. Maerckers Handbuch der Spiritus-Fabrikation und in der Zeitschrift für Spiritus-Industrie in Deutschland erschienen, doch hoffe ich durch diese Arbeit das Gebiet so aufzuklären, daß kaum noch dunkle Stellen bleiben.

I. Über die Annahmen, die im Folgenden gelten sollen.

In der späteren Betrachtung werden immer die folgenden Annahmen maßgebend sein:

1. Es wird immer ein Gemisch von nur zwei Flüssigkeiten angenommen, um die Anschauung nicht zu erschweren.

2. Die Flüssigkeiten werden immer auf ihrer Siedetemperatur gedacht, wenn nicht ausdrücklich das Gegenteil gesagt ist.

3. Die Verdampfungswärme (latente Wärme) der aus einem siedenden Flüssigkeitsgemisch aufsteigenden Dämpfe wird gleich der Summe der latenten Wärmen der einzelnen Dämpfe angenommen.

4. Die Verdampfungswärme aller Stoffe ändert sich mit dem Druck, unter dem die Dämpfe stehen. Dieser Druck ist in den verschiedenen Teilen der Apparate verschieden, also sind auch die Verdampfungswärmen an den verschiedenen Stellen verschieden. Wir nehmen bei den späteren Zahlenrechnungen aber, der Einfachheit wegen, nur eine in allen Teilen des Apparates gleiche latente Wärme an.

5. Aus einem siedenden Flüssigkeitsgemisch entwickelt sich immer ein Dampfgemisch, dessen Zusammensetzung direkt von derjenigen der Flüssigkeit abhängt.

Jede siedende Flüssigkeitsmischung hat ein ihr allein zugehöriges Verhältnis der über ihr schwebenden Dämpfe. Das Verhältnis, in dem die Zusammensetzung der siedenden Flüssigkeit zu derjenigen der entwickelten Dämpfe steht, beruht natürlich auf physikalischen Gesetzen, indessen ist es bis jetzt nicht gelungen, diese Beziehung durch eine mathematische Formel auszudrücken; im allgemeinen enthalten die Dämpfe stets prozentlich mehr von dem Leicht siedenden als die Flüssigkeit.

Stellt man sich das Gewicht F eines siedenden Flüssigkeitsgemisches mit dem über ihm schwebenden Gewicht D eines zugehörigen Dampfgemisches vor, so kann dieser Zustand entstanden sein entweder, indem aus einem Flüssigkeitsgemisch $F + D$ das Gewicht D verdampft wurde, oder indem aus einem Dampfgemisch $F + D$ das Gewicht F niedergeschlagen wurde. In beiden Fällen müssen die Zusammensetzungs-Verhältnisse von F und D die gleichen sein.

Die zweite Entstehungsweise des Zustandes hat man die Dephlegmation genannt.

Wenn man weiß, wie der Dampf beschaffen sein muß, der über einem bekannten siedenden Flüssigkeitsgemisch schwebt, oder sich aus ihm entwickelt, so weiß man auch, wie die siedende Flüssigkeit beschaffen sein muß, die sich unterhalb eines bekannten Dampfgemisches befindet.

Wenn aus einem Dampfgemisch ein Flüssigkeitsgemisch niedergeschlagen wird, so ist des letzteren Zusammensetzung so wie sie sein müßte, um einen Dampf entwickelt zu haben, der gleich dem übrig gebliebenen ist.

Berechnen kann man freilich weder die Zusammensetzung des Dampfes aus derjenigen der Flüssigkeit, noch umgekehrt, nur das Experiment kann hier helfen und für die Mischungen einiger Flüssigkeiten sind auch die zugehörigen Dampfbzusammensetzungen experimentell ermittelt, für einige sogar ziemlich vollkommen, und auf diese Zahlen muß man zurückgehen, wenn man bestimmte Fälle rechnerisch verfolgen will.

Für Alkohol und Wasser gibt es Tabellen von Gröning, Blacher-Raschewsky, Sorell etc.

Meines Wissens hat Herr E. Dönitz, damals Ingenieur im Hause C. Heckmann, das oben umschriebene Gesetz der Dephlegmation der Alkohol-Wasser-Mischungen zuerst klar ausgesprochen. (Siehe Dr. Max Maerckers Handbuch der Spiritusfabrikation 1890 pag. 626 und Zeitschrift für Spiritusindustrie 1884, 1885.)

A. Die Rektifizier-Apparate.

II. Zusammenstellung der Buchstabenbezeichnungen, welche in der Folge immer angewendet werden sollen. (Fig. 1.)

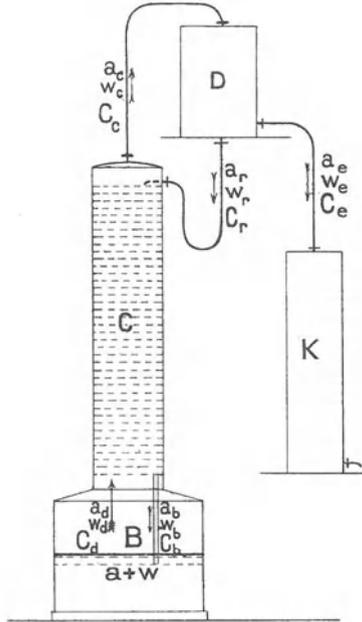


Fig. 1.

Es bedeutet:

a = das Gewicht der leichtsiedenden (d. i. bei niedriger Temperatur siedenden) Flüssigkeit oder ihres Dampfes.

α = die Verdampfungswärme derselben in Kalorien.

w = das Gewicht der schwersiedenden (d. h. bei höherer Temperatur siedenden) Flüssigkeit oder ihres Dampfes.

β = die Verdampfungswärme derselben in Kalorien.

C = die Verdampfungswärme des Gemisches in Kalorien.

Es ist:

$$C = a \cdot \alpha + w \cdot \beta .$$

f = das Verhältnis des Schwersiedenden zum Leichtsiedenden in einer Mischung von Dampf oder Flüssigkeit.

Es ist:

$$\frac{w}{a} = f \quad w = f \cdot a .$$

Um die an den verschiedenen Stellen des Apparates vorkommenden Gewichte, Kalorien, Verhältnisse zu bezeichnen, dienen die Indices:

a, w, C, f = Gewichte, Kalorien, Verhältnisse der Flüssigkeiten in der Blase,

a_e, w_e, C_e, f_e = Gewichte, Kalorien, Verhältnisse des Dampfes vor dem Kühler,

a_r, w_r, C_r, f_r = Gewichte, Kalorien, Verhältnisse der Flüssigkeit im Rücklauf in die Kolonne,

a_c, w_c, C_c, f_c = Gewichte, Kalorien, Verhältnisse des Dampfes, der aus der Kolonne geht,

a_d, w_d, C_d, f_d = Gewichte, Kalorien, Verhältnisse des Dampfes, der aus der Blase geht,

a_b, w_b, C_b, f_b = Gewichte, Kalorien, Verhältnisse des Rücklaufs, der in die Blase geht,

a_i, w_i, C_i, f_i = die Gewichtsmengen der beiden Stoffe, welche sich in der Kolonne in einander umsetzen.

Es ist:

$$a_i \cdot \alpha = w_i \cdot \beta .$$

w_u = das Gewicht des Stoffes w , welches sich ergibt aus:

$$w_u = f_d \cdot a_b .$$

a_z, w_z = die Gewichte der Dämpfe auf einem Kolonnenboden (Fig. 3).

w_o = das Gewicht an Schwersiedendem, welches zu w_e hinzugefügt werden muß, um das Verhältnis $f_d \cdot a_e = w_e + w_o$ zu erhalten. Siehe Seite 7.

G = die Beziehung in der $\frac{w}{a}$ in Dampf, zu $\frac{w}{a}$ in der Ursprungsflüssigkeit steht; z. B.:

$$\frac{w}{a} = f, \quad \frac{w_d}{a_d} = f_d, \\ \frac{w_d}{a_d} = G \frac{w}{a}, \quad f_d = G \cdot f, \quad G = \frac{f_d}{f} .$$

In der Fig. 1 sind zu größerer Deutlichkeit die an den verschiedenen Stellen gültigen Bezeichnungen angegeben.

III. Erklärung der Vorgänge im Rektifizier-Apparat und Bestimmung der Größen: a, w, C, f . (Fig. 1.)

Die Rektifizierapparate wirken nicht kontinuierlich, sondern periodisch, und sie bestehen im wesentlichen aus der Blase B , der Kolonne C , dem Dephlegmator (Kondensator) D , und dem Kühler K .

Aus der Blase, welche die zu trennenden Flüssigkeiten $a + w$ als Gemisch enthält, werden Dämpfe entwickelt, die prozentlich reicher an dem leichtsiedenden Stoffe sind, als die Flüssigkeit. Diese Dämpfe steigen in der Kolonne auf, indem sie sich in der Flüssigkeit jedes Bodens zunächst kondensieren und dadurch dann aus dieser Flüssigkeit andere an Leichtsiedendem noch reichere Dämpfe entwickeln.

Dabei muß man eingedenk sein dessen: daß das in der Zeiteinheit aus der Blase und auf jedem Boden entwickelte Dampfgewicht die gleiche Wärmemenge enthält. Durch jede Horizontalebene, die man sich durch Kolonne oder Blase gelegt denkt, führt der aufsteigende Dampf in der Zeiteinheit je die gleiche Anzahl von Kalorien nach oben. Der Rücklauf von jedem Boden würde zu seiner Verdampfung die im Kondensator dem Dampf entzogenen Kalorien erfordern. Wärmeverluste natürlich nicht berücksichtigt.

Aus dem obersten Boden der Kolonne strömen dann endlich Dämpfe in den Dephlegmator, die nur noch sehr wenig von dem schwersiedenden Stoffe enthalten.

Ein Teil von diesen geht in den Kühler, der andere Teil aber, meistens der größere, wird im Kondensator niedergeschlagen, fließt als an Leichtsiedendem sehr hochprozentige Flüssigkeit auf den obersten Kolonnenboden, und von diesem nach unten.

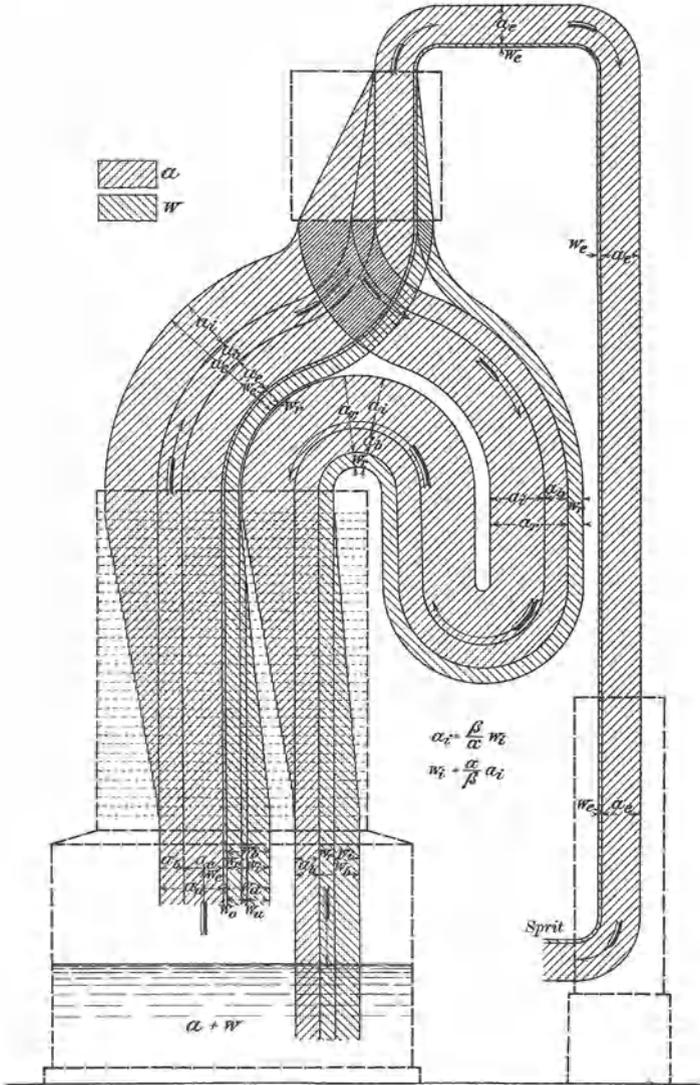
Auf jedem Boden gibt der Rücklauf einen Teil seines Leichtsiedenden an die aufsteigenden Dämpfe ab und nimmt von ihnen dafür das Äquivalent an Schwersiedendem auf.

Endlich fließt die Masse vom untersten Kolonnenboden in die Blase in einer Zusammensetzung, welche nicht zu weit von der der Flüssigkeit in der Blase verschieden sein soll.

Wenn im Kondensator die gesamten aus der Kolonne aufsteigenden Dämpfe niedergeschlagen werden, so müssen sie als Flüssigkeit wieder in die Blase zurückkehren. Die Zusammensetzung des Rücklaufs in die Blase kann also höchstens gleich, nie besser (d. h. nie reicher an Leichtsiedendem) sein, als die aus der Blase steigenden Dämpfe.

Andererseits aber kann der Rücklauf in die Blase nie schwächer (d. h. nie ärmer an Leichtsiedendem) sein, als die Flüssigkeit in der Blase, denn die aufsteigenden Dämpfe müßten sogleich eine Flüssigkeit anreichern, welche schwächer wäre, als die ist, aus der sie stammen.

Fig. 2.
 Bildliche Darstellung der Dampf- und Flüssigkeitsbewegungen
 in einem Rektifizier-Apparat.



Zwischen diesen beiden Grenzen kann die Zusammensetzung des Rücklaufs in die Blase also schwanken. Sein Prozentgehalt an Leicht siedendem kann in maximo fast gleichkommen dem der aus der Blase aufsteigenden Dämpfe — in minimo dem der Flüssigkeit in der Blase.

Was von den aus aus Kolonne steigenden Dämpfen nicht in den Kühler geht, muß verflüssigt in die Blase zurück. Je geringer dieses Quantum Niederschlag ist, desto geringer ist auch der Wärmeverbrauch des Apparates.

Derjenige Apparat braucht also am wenigsten Wärme, dessen Rücklauf am kleinsten ist, und dies ist der Fall, wie hier vorweg ausgesprochen werden mag, unter sonst gleichen Umständen bei den Kolonnen mit den meisten Böden.

Es ist versucht worden, durch die Fig. 2 die Vorgänge im Apparat bildlich darzustellen, und zwar sind die aufsteigenden Dampfmengen und die herab gehenden Flüssigkeiten so geteilt gedacht, daß die gegenseitigen Beziehungen möglichst klar werden. Man erkennt, wie beim Aufstieg das Leicht siedende (a) von Boden zu Boden zunimmt, das Schwersiedende (w) abnimmt, und wie es beim Rücklauf umgekehrt ist.

Aus dem Flüssigkeitsgemisch $a + w$ in der Blase, dessen Verhältnis $\frac{w}{a} = f$ ist, muß sich ein Dampf $a_d + w_d$ entwickeln, dessen Verhältnis $\frac{w_d}{a_d} = f_d$ naturgesetzlich von f bestimmt wird.

$$f_d = G \cdot f.$$

Dieses Dampfgemisch $a_d + w_d$ muß zunächst enthalten die Menge $a_e + w_e$, welche schließlich in den Kühler geht.

Das Gewicht a_e muß aber außer w_e noch so viel von dem Stoff w mit sich führen, daß das Verhältnis desselben zu $a_e = f_d$ ist. Dieses zusätzliche Gewicht sei w_o , so daß

$$\frac{w_e + w_o}{a_e} = f_d \text{ ist.} \quad (1)$$

So ergibt sich:

$$w_o = a_e f_d - w_e. \quad (2)$$

Es steigt also zunächst der Dampf $a_e + w_e + w_o$ auf. Aber nur das Gewicht $a_e + w_e$ verläßt den Apparat endgültig, also muß w_o wieder in die Blase zurückkehren. Wir wissen aber, daß der Rücklauf in die Blase nicht aus dem Stoff w allein bestehen kann, sondern daß er von dem Stoffe a noch soviel bei sich haben

muß, daß die prozentliche Zusammensetzung (f_b) des Rücklaufs wenigstens gleich der Zusammensetzung der Blasenfüllung, höchstens gleich der des aufsteigenden Dampfes ist.

Um mit dem w_o in die Blase zurückfließen zu können, muß also ein gewisses Gewicht a_b dampfförmig aufsteigen. Nun kann aber a_b nicht allein aufsteigen, es muß vielmehr mit sich nehmen vom Stoffe w soviel, als zur Bildung des Verhältnisses f_d nötig ist, nämlich w_u .

So folgt

$$\frac{w_u}{a_b} = f_d \quad \text{und} \quad \frac{w_o + w_u}{a_b} = f_b \quad (3)$$

und hieraus durch Subtraktion:

$$\frac{w_o}{a_b} = f_b - f_d. \quad (4)$$

$$a_b = \frac{w_o}{f_b - f_d}. \quad (5)$$

Aus den Gleichungen (2) bis (5) ergeben sich nun sogleich, wenn $w_o + w_u = w_b$ genannt wird:

$$w_b = f_b a_b, \quad (6)$$

$$C_b = a_b \cdot \alpha + w_b \cdot \beta, \quad (7)$$

$$a_d = a_e + a_b, \quad (8)$$

$$w_d = w_e + w_b, \quad (9)$$

$$C_d = a_d \cdot \alpha + w_d \cdot \beta. \quad (10)$$

Zur Bestimmung der übrigen Größen führt folgende Betrachtung:

Wenn angenommen wird, daß die Kolonne durch Ausstrahlung keine Wärme verliert, so bleibt der Wärmegehalt der aufsteigenden Dämpfe von unten bis oben derselbe; denn es wird demselben nichts hinzugefügt und nichts von ihm entnommen. Also ist:

$$C_d = C_c = a_c \alpha + w_c \beta. \quad (11)$$

Aus dem Kondensator geht ein Teil der Dämpfe in den Kühler, das ist das Rektifikat $a_e + w_e$ und dessen Wärme ist:

$$C_e = a_e \alpha + w_e \beta. \quad (12)$$

Dem zweiten, größeren Teile des Dampfes, der in den Kondensator geht, wird seine latente Wärme entzogen und dieser dadurch niedergeschlagen.

Dieser Wärmeverlust ist gleich:

$$C_r = a_r \alpha + w_r \beta . \quad (13)$$

Der Rücklauf, welcher die Kolonne passiert, um endlich in die Blase zurückzufallen, hat unterwegs keine Gelegenheit, Wärme aufzunehmen oder zu verlieren; wenn dieser Rücklauf nun auch auf seinem Wege seine Zusammensetzung sehr ändert, indem er von seinem Leichtsiedenden an den aufsteigenden Dampf abgibt, und dafür im Verhältnis von $\alpha : \beta$ Schwersiedendes von ihm aufnimmt, so bleibt doch die Wärmemenge, die er zur Verdampfung nötig hatte, von Anfang bis zu Ende die gleiche.

Daher ist:

$$C_r = C_b = a_r \alpha + w_r \beta . \quad (14)$$

Wenn der Rücklauf $a_r + w_r$ Siedetemperatur hat, so muß sein Verhältnis $\frac{w_r}{a_r} = f_r$ in dem bestimmten naturgesetzlichen Zusammenhange zu dem über ihm schwebenden Dampf $a_e + w_e$ und zu dessen Verhältnis $\frac{w_e}{a_e} = f_e$ stehen.

Da f_e bekannt ist, so ist, wie oben angeführt, auch f_r bekannt. Experimentell gefundene Tabellen müssen hier aushelfen. Man findet also a_r und w_r aus:

$$\frac{w_r}{a_r} = f_r \quad C_b = a_r \alpha + f_r a_r \beta . \quad (15)$$

$$a_r = \frac{C_b}{\alpha + f_r \beta} \quad \text{oder} \quad \frac{C_r}{\alpha + f_r \beta} . \quad (16)$$

$$w_r = f_r a_r .$$

Endlich ist:

$$a_c = a_e + a_r \quad (17)$$

$$w_c = w_e + w_r$$

$$C_c = C_d = C_b + C_e = C_r + C_e . \quad (18)$$

Aus diesen 18 Gleichungen, die zum Teil eine aus der anderen folgen, kann man alle angeführten Größen berechnen, wenn außer den physikalischen Eigenschaften der zu verarbeitenden Stoffe bekannt sind:

1. die Zusammensetzung der Blasenfüllung,
2. die Leistung des Apparates in bestimmter Zeit,
3. die Zusammensetzung des Rücklaufs in die Blase (f_b),
oder statt 3

3a. die Wärmemenge, welche den Dämpfen im Dephlegmator entzogen wird.

Wir wissen schon, daß die Zusammensetzung des Rücklaufs in die Blase schwanken kann zwischen f und f_d , ohne die Wirkung des Apparates zu ändern, daß aber der Wärmeverbrauch des Apparates ganz wesentlich von dieser Zusammensetzung abhängig ist.

Der gesamte Wärmeverbrauch eines Apparates von bestimmter Leistung ist nach Gleichung 18:

$$C_d = C_b + C_e$$

und da $C_e (= a_e \alpha + w_e \beta)$ für eine bestimmte Leistung unveränderlich ist, so kann C_d nur kleiner werden, wenn C_b kleiner wird.

Es ist:

$$C_b = a_r \alpha + w_r \beta = a_b \alpha + w_b \beta \quad (19)$$

oder da

$$w_b = f_b a_b \quad (20)$$

folgt

$$C_b = a_b (\alpha + f_b \beta). \quad (21)$$

C_b wird also um so kleiner, je geringer das Gewicht von a_b und je kleiner das Verhältnis $f_b \left(= \frac{w_b}{a_b} \right)$ ist.

Ein Rektifizierapparat braucht für eine bestimmte Leistung um so weniger Wärme, je mehr sich die Zusammensetzung des Rücklaufs in die Blase $\left(\frac{w_b}{a_b} = f_b \right)$ derjenigen des Blaseninhaltes $\left(\frac{w}{a} = f \right)$ nähert.

Man kann dieses Ideal in der Praxis nicht erreichen, weil hierzu — wie durch späteres noch deutlicher werden wird — ausserordentlich hohe Kolonnen gehören würden, allein die Konstrukteure werden ihr Augenmerk auf diesen Punkt zu richten haben.

Betrachten wir noch einen Augenblick die Figur 2, so sehen wir aus der Blase aufsteigen:

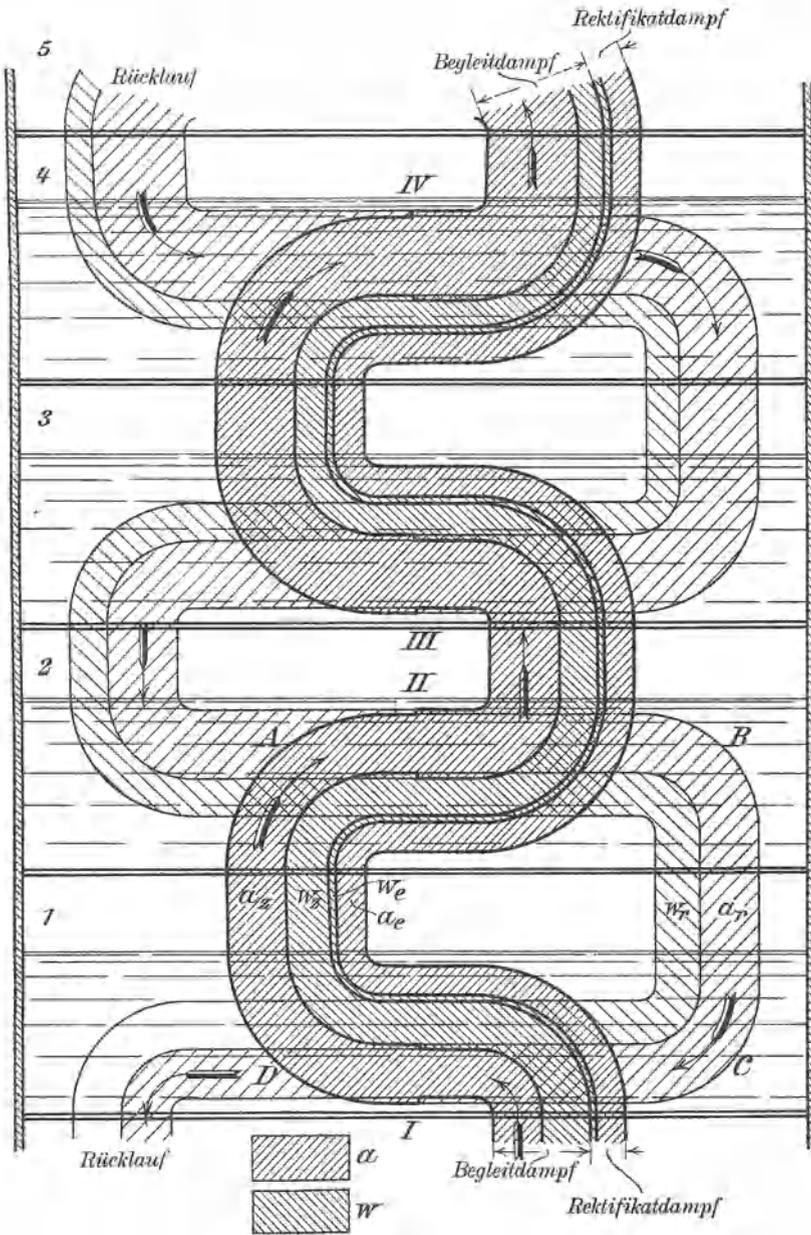
1. die Dämpfe $a_e + w_e$, welche die Kolonne, den Dephlegmator und den Kühler passieren, um den Apparat definitiv zu verlassen. Sie stellen das Rektifikat dar;

2. den Dampf w_r , der die Kolonne durchwandert und sie verläßt, um sie als Rücklauf mit a_r zusammen wieder zu betreten;

3. den Dampf w_i , welcher auf dem Wege durch die Kolonne sich niederschlägt und dafür aus dem Rücklauf sein Äquivalent a_i

Fig. 3.

Bildliche Darstellung der Dampf- und Flüssigkeitsbewegungen in der Kolonne eines Rektifizier-Apparats.



entwickelt. Dies a_i wird im Dephlegmator verflüssigt und während des Hinabgehens in der Kolonne durch den aufsteigenden Dampf w_i wieder verdampft;

4. den Dampf a_b , der die Kolonne durchströmt, im Dephlegmator niedergeschlagen wird und mit w_b ($= w_r + w_i$) zusammen in die Blase zurückkehrt.

IV. Vorgänge auf den Kolonnenböden. (Fig. 3.)

Wie bekannt, setzen sich die von den Kolonnenböden aufsteigenden Dämpfe zusammen:

1. aus denjenigen Dämpfen, die den Apparat definitiv verlassen $a_e + w_e$, diese bleiben auf allen Böden von unten bis oben unverändert;

2. aus denjenigen Dämpfen, welche neben den ad 1 genannten aufsteigen, und die, im Kondensator niedergeschlagen, den Rücklauf $a_r + w_r$ bilden. Diese letzteren ändern sich von Boden zu Boden. Auf jedem Boden geben sie etwas Schweresiedendes an den Rücklauf, der von diesem Boden fließt, ab, und nehmen dafür etwas Leichtesiedendes von dem auf diesen Boden kommenden oberen Rücklauf an, so daß ihre Verdampfungswärme dabei dieselbe bleibt $= C_b = C_r$.

Die beistehende Figur 3 soll diesen Vorgang bildlich darstellen; man sieht, wie an den Stellen I, II, III, IV das aufsteigende a_e zunimmt, das w_e aber abnimmt und wie der Rücklauf dafür ebensoviel von seinem a_r verliert und an w_r gewinnt.

Man kann sich das Geschehene auch folgendermaßen vorstellen:

Auf jedem Boden kondensiert sich von dem aufsteigenden Gemenge die Begleitung von $a_e + w_e$ vollkommen und fließt dann als Rücklauf von diesem Boden nach unten. Der Dampf $a_e + w_e$ bleibt ganz unberührt.

Die durch diese Kondensation auf jedem Boden frei werdende Wärme genügt gerade, um allen Rücklauf, der von oben auf diesen Boden kommt, zu verdampfen und das neue Gemisch dringt mit $a_e + w_e$ zusammen auf den nächst höheren Boden. Dort wird es wieder ganz kondensiert ($a_e + w_e$ bleibt dampfförmig) und ergibt den Rücklauf von diesem höheren Boden u. s. w.

Der Rücklauf, der von einem Boden herabfließend auf dem nächst tieferen ankommt, wird hier vollkommen verdampft und steigt als Dampf mit dem Rektifikat $a_e + w_e$ zusammen auf den

nächst höheren Boden, um dort verflüssigt zu werden und wieder als Rücklauf hinabzugehen.

Man kann an den Linien A , B , C , D der Figur 3 diesen Kreislauf verfolgen und man erkennt, wie der konstant gleiche Dampfstrom des Rektifikats $a_e + w_e$ von einem Boden zum andern geleitet wird von einem Dampf $a_z + w_z$, welcher, in der Flüssigkeit des nächsten Bodens sich kondensierend, einen neuen Begleiter erweckt, selbst aber auf den darunter liegenden Boden zurückkehrt, um seinen Dienst als Dampf wieder zu beginnen.

Die Menge und Zusammensetzung des auf einen Boden fließenden Rücklaufs ist genau gleich der Menge und Zusammensetzung des Dampfes, welcher von diesem Boden mit dem Rektifikatdampf $a_e + w_e$, als dessen Begleiter, aufsteigt. Je größer das Gewicht des auf einen Boden fließenden Rücklaufs im Verhältnis zum Gewicht des Rektifikatdampfes ist, um so weniger unterscheidet sich (prozentlich) der gesamte von diesem Boden aufsteigende Dampf vom Rücklauf.

Nun steht aber die Zusammensetzung des gesamten aus einem Boden aufsteigenden Dampfes ($a_e + w_e + a_z + w_z$) zur Zusammensetzung des Rücklaufs von demselben Boden ($a_r + w_r$) in dem öfter erwähnten, naturgesetzlichen Zusammenhange.

Hieraus folgt unmittelbar, daß die Differenz in der Zusammensetzung der Rückläufe zweier übereinander liegender Böden um so größer ist, je größer deren Menge im Verhältnis zum Rektifikatdampf ist, oder, was dasselbe bedeutet, die prozentliche Zunahme der Dämpfe an Leichtsiedendem von einem Boden zum andern wächst mit dem Gewichtsverhältnis von Rücklauf zu Rektifikatdampf.

Je mehr Rücklauf man für eine bestimmte Menge Rektifikat bildet, desto weniger Böden braucht die Kolonne zu haben, aber ein desto größerer Wärmeaufwand ist auch nötig, denn der Rücklauf muß als Dampf die Blase verlassen.

Man erkennt also auch durch diese Überlegung, was schon auf Seite 7 ausgedrückt wurde, daß die Kolonnen um so billiger arbeiten, je mehr Böden sie haben, weil sie dann mit wenig Rücklauf auskommen, daß aber auch niedrige Kolonnen gute Leistungen geben können, allerdings auf Kosten des Wärmeverbrauches, weil sie sehr viel Rücklauf brauchen.

Ceteris paribus ist der Dampfverbrauch der Kolonnen etwa proportional dem Gewichte des Rücklaufs.

V. Der Kondensator (Dephlegmator).

Der Kondensator ist dazu bestimmt, einen Teil der in ihn tretenden Dämpfe zu Rücklauf niederzuschlagen und nur denjenigen Teil in den Kühler entweichen zu lassen, der als fertiges Produkt (Rektifikat) gilt. Selbst wenn die niedergeschlagene Flüssigkeit und der übrig gebliebene Dampf genau dieselbe Zusammensetzung behielten, welche der Dampf hatte, aus dem sie beide stammen, so würde dennoch die Kolonne wohl funktionieren, weil die niedergeschlagenen Dämpfe und damit der Rücklauf dennoch reicher an Leicht siedendem wäre, als die auf dem obersten Kolonnenboden siedende Flüssigkeit, so daß diese sich bis zu einem Maximum anreichern könnte.

Allein im Kondensator findet auch eine gewisse Trennung der Stoffe statt.

Wir wissen, daß, wenn man ein Dampfgemisch zum Teil kondensiert, die bleibenden Dämpfe zu der gebildeten Flüssigkeit bezüglich ihrer Zusammensetzung in einem bestimmten, naturgesetzlichen Verhältnis stehen müssen, derart, daß die Dämpfe reicher an Leicht siedendem sind als die Flüssigkeit; hieraus folgt unmittelbar, daß die niedergeschlagene Flüssigkeit etwas ärmer an Leicht siedendem, die übrig gebliebenen Dämpfe aber etwas reicher daran werden müssen als der Entstehungsdampf.

Genau dieses findet im Kondensator statt. Der Rücklauf ($a_r + w_r$) enthält immer prozentlich etwas weniger, das Rektifikat ($a_e + w_e$) enthält immer prozentlich etwas mehr vom Leicht siedenden. Für eine Kolonne von bestimmten Maßen und für eine bestimmte Leistung ist eine bestimmte Menge Rücklauf nötig, d. h. es muß den Dämpfen im Kondensator eine bestimmte Menge von Wärme entzogen werden, und da die durch einen Quadratmeter Kühlfläche in der Zeiteinheit entziehbare Wärmemenge etwa proportional ist der Temperaturdifferenz zwischen Dampf und Kühlmittel, so ist es einleuchtend, daß man durch Veränderung der Menge und der Temperatur des Kühlmittels mit demselben Kondensator mehr oder weniger Rücklauf bilden kann.

Die Ansicht, als ob im Kondensator durch irgend welche Mittel eine bestimmte Temperatur erzeugt werden könnte, etwa diejenige des Siedepunktes des Leicht siedenden, um das Schwer siedende ganz oder zumeist zu kondensieren, und auf diese Weise eine Trennung zu bewirken, ist unhaltbar.

Wenn diese Anschauung richtig wäre, so würde man z. B. Alkohol- und Wasserdämpfe ganz trennen können, wenn man sie

durch einen auf 78° C. erhaltenen Raum leitet, oder man könnte Essigsäure und Wasser scheiden, indem man deren Dampfgemisch durch einen 100° C. warmen Raum führt.

Es ist bekannt, daß dies oder ähnliches keinen Erfolg hat.

Die Menge des Rücklaufs, der im Kondensator für einen bestimmten Fall gebildet werden muß, oder das Kühlbedürfnis desselben ist auf Seite 9 Gleichung (14) bestimmt worden. Es hängt ab:

1. Von der Leistung des Apparates in der Zeiteinheit nach Gewicht und Zusammensetzung des Produktes ($a_e + w_e$),
2. von der Zusammensetzung der Flüssigkeit in der Blase

$$\left(\frac{w}{a} = f\right),$$

3. von der Zusammensetzung des Rücklaufs in die Blase

$$\left(\frac{w_b}{a_b} = f_b\right).$$

Sobald diese Daten (a_e, w_e, f, f_b) gegeben sind, findet man nach Gleichung (14):

$$C_r = C_b = a_b \alpha + w_b \beta = a_r \alpha + w_r \beta. \quad (22)$$

Nach Gleichung (5) und (2) ist:

$$a_b = \frac{w_o}{f_b - f_d} \quad w_o = a_e f_d - w_e. \quad (23)$$

$$w_b = f_b a_b \quad (24)$$

$$G \cdot f_r = f_e \quad w_r = f_r a_r. \quad (25)$$

$$C_r = a_r (a + f_r \beta). \quad (26)$$

VI. Sollen Dampf und Rücklauf in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung durch den Kondensator strömen?

Gehen Dampf und Kondensat in gleicher Richtung durch den Dephlegmator, so bleibt der gesamte Rücklauf mit dem restierenden Dampf in Berührung, bis sie gemeinsam den Kondensator verlassen. Es steht also der gesamte Rücklauf mit dem gesamten Restdampf in dem mehrfach erwähnten naturgesetzlichen Verhältnis.

Wenn aber Dampf und Rücklauf den Kondensator in entgegengesetzter Richtung durchströmen, so wird in jedem Augenblick das gebildete Kondensat vom Dampf getrennt.

Kondensiert man von einem Dampfgemisch einen ganz geringen Teil, so wird sich die Zusammensetzung des restierenden Dampfes nur wenig ändern, aber die gewonnene Flüssigkeit wird so zusammengesetzt sein, wie sie es sein müßte, um den restierenden Dampf zu bilden, d. h. sie wird prozentlich mehr vom Schwersiedenden enthalten als der ursprüngliche Dampf.

Wenn man aber fast den ganzen Dampf kondensiert und nur ein ganz geringes Dampfquantum übrig läßt, so wird die Zusammensetzung der gebildeten Flüssigkeit nur wenig von der des ursprünglichen Dampfes abweichen, der restierende Dampf aber so zusammengesetzt sein, als wenn er aus einer Flüssigkeit, die seiner ursprünglichen Zusammensetzung gleicht, entstanden wäre.

Offenbar enthält also der Niederschlag aus einem Dampfgemisch prozentlich um so mehr vom Schwersiedenden, einen je geringeren Teil des Dampfes er ausmacht. Denn mit wachsender Menge des auf einmal erzeugten Kondensats wächst zwar der prozentliche Gehalt des übrig bleibenden Dampfes an Leichtsiedendem, aber naturgemäß auch der des Kondensates daran, bis bei gänzlicher Kondensation der Niederschlag gleich dem ursprünglichen Dampf ist.

Ein Beispiel für diese Vorgänge wird weiter hinten angegeben, Abschnitt XVIII.

Da nun jede Rektifikation den Zweck hat, das Leichtsiedende vom Schwersiedenden zu trennen, so sind diejenigen Kondensatoren die besseren, welche die Kolonne in dieser Arbeit unterstützen, und das sind die, in denen Dampf und Rücklauf in entgegengesetzter Richtung fließen, weil nur bei diesen eine allmähliche Abtrennung des Niederschlages in jedesmal kleinen Mengen gewährleistet ist (z. B. der Kondensator von C. Heckmann, D. R. P. No. 39557).

VII. Ist es vorteilhaft, statt eines Kondensators über der Kolonne deren viele und zwar zwischen je zwei Böden einen anzuordnen? (Fig. 4 und 5.)

Denkt man sich, wenn nur ein Kondensator über der Kolonne vorhanden ist, aus der Blase ein Dampfgemisch $a_d + w_d$ von bestimmtem Gewicht und bestimmter Zusammensetzung aufsteigend und einen Rücklauf $a_b + w_b$ von bestimmtem Gewicht und bestimmter Zusammensetzung in die Blase zurückkehrend, so verändert sich der Dampf von Boden zu Boden, bei immer gleich-

bleibendem Wärmeinhalt, indem er Leichtsiedendes (a) vom Rücklauf aufnimmt und Schwersiedendes (w) an ihn abgibt, derart, daß sich (Fig. 4) für Dampf und Rücklauf die Konturen I, 1, II, 2, III, 3, IV, 4, V, 5, VI, 6, bilden.

Ist aber je ein Dephlegmator zwischen je zwei Böden angeordnet, so wird zwar auch auf jedem Boden durch die Aufkochung der Dampf sich an Leichtsiedendem (a) anreichern, aber es wird ein Teil des Dampfes jedesmal durch jeden Dephlegmator niedergeschlagen und zum Rücklauf gegeben, so daß dann die Konturen $I, g, h, i, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, l$ entstehen.

Wenn in beiden Fällen der aus der Blase steigende Dampf und der Rücklauf in dieselbe ganz gleich sind, so sind im zweiten Fall (bei vielen Dephlegmatoren) die Menge der Dämpfe und Flüssigkeit in der Kolonne sehr viel geringer als im ersten, ja, nach oben hin sind die Mengen, welche den Dampf ($a_e + w_e$) begleiten, fast verschwindend klein.

Während bei einem Kondensator oben die ganze Masse des gebildeten Rücklaufs dem Dampf auf seinem ganzen Wege entgegenströmt, so verliert bei vielen Dephlegmatoren, die in der Kolonne selbst verteilt sind, der aufsteigende Dampf unterwegs schon den größten Teil dessen, was Rücklauf bilden soll. Die Rücklaufmenge nimmt nach oben hin mehr und mehr ab und wird ganz gering.

Das Dampfgewicht, welches einen Boden in der Zeiteinheit verläßt, ist gleich dem Gewichte des Rücklaufs auf diesen Boden plus dem in der Zeiteinheit zu leistenden Rektifikat, und wir wissen, daß die Verstärkung des Rektifikats pro Boden um so erheblicher wird, je größer das Verhältnis $\frac{\text{Rücklaufmenge}}{\text{Rektifikatmenge}}$ ist.

Eine Kolonne mit vielen Dephlegmatoren muß also für gleichen Wärmeverbrauch mehr Böden haben, oder sie muß bei gleicher Bodenzahl mehr Wärme verbrauchen.

Auch die folgende Betrachtung lehrt dasselbe:

Denken wir uns zwei Kolonnen, von denen die eine ihren einzelnen Kondensator oben trägt, während die zweite immer zwischen zwei Böden einen enthält. Soll mit beiden dieselbe Wirkung mit der gleichen Anzahl von Böden erzielt werden, so müssen die Dämpfe, die aus der Blase in den ersten Boden von unten treten, und die Dämpfe, die von jedem folgenden Boden auf den nächsthöheren gelangen, bei den korrespondierenden Böden der beiden Kolonnen die gleiche Zusammensetzung haben. Bei der

Fig. 4.

Bildliche Darstellung der nach oben hin stattfindenden Abnahme der Dampf- und Flüssigkeitsmengen in einer Rektifizierkolonne, welche über jedem Boden einen Dephlegmator hat.

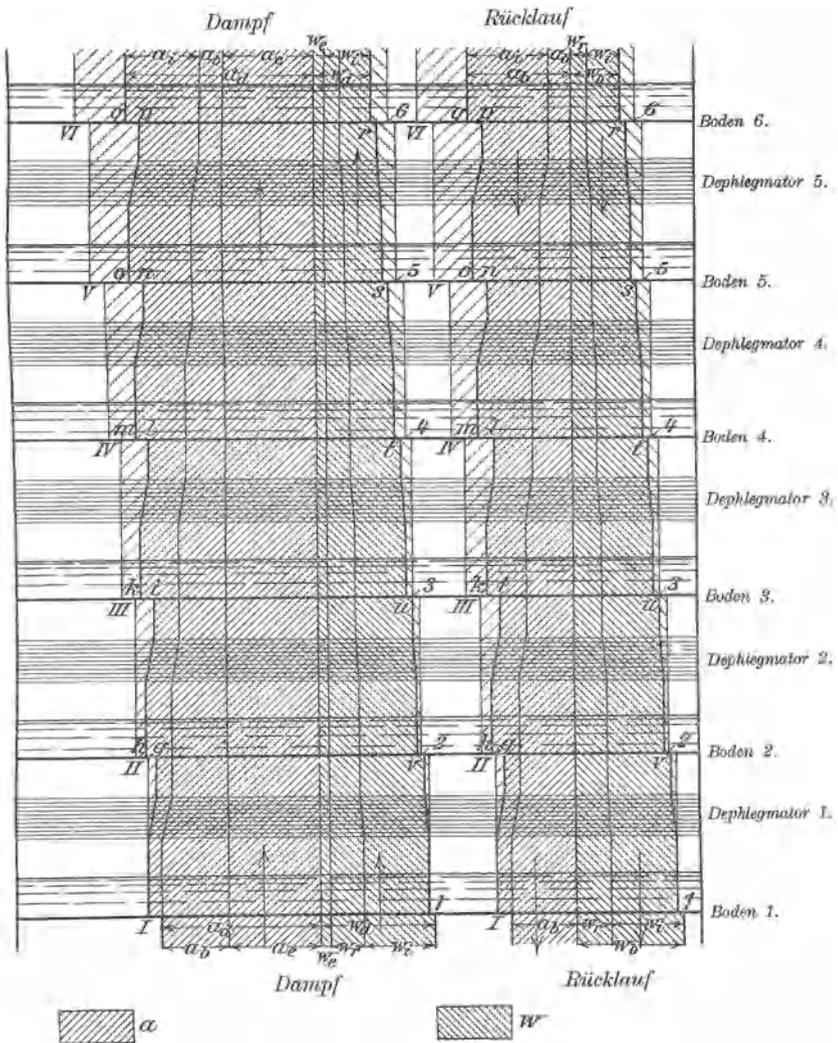
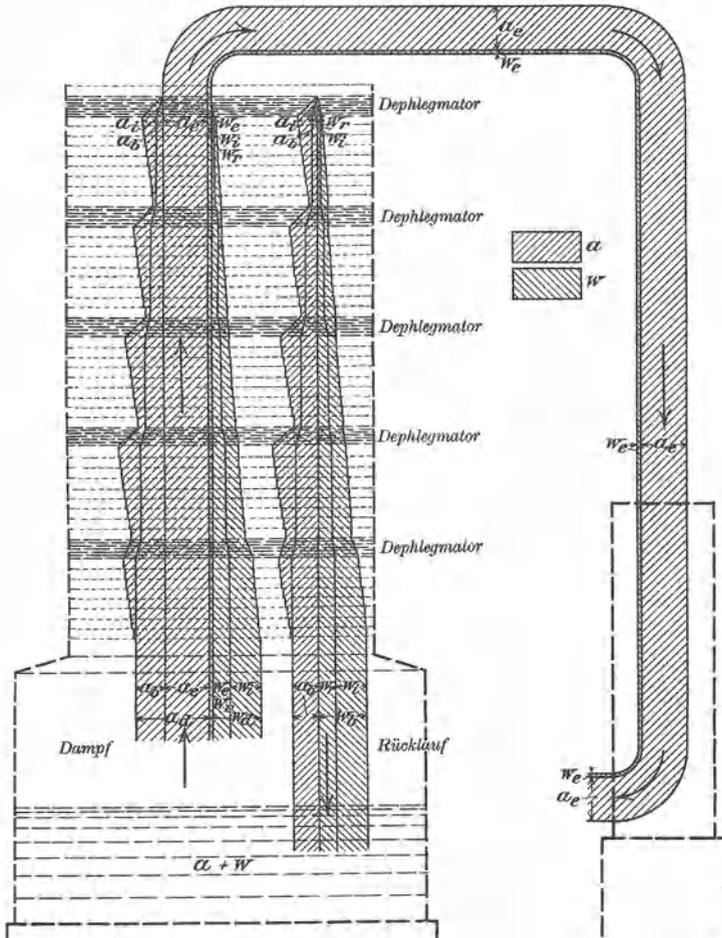


Fig. 5.

Bildliche Darstellung der nach oben hin stattfindenden Abnahme der Dampf- und Flüssigkeitsmengen in einer Rektifizierkolonne, welche über je 8 Böden einen Dephlegmator hat.



Kolonne mit den vielen Kondensatoren wird aber die Zusammensetzung des Dampfes aus einem Boden, ehe er in den nächsthöheren tritt, erst durch den Kondensator bis auf die richtige Zusammensetzung verstärkt. Folglich hat hier das Kondensat in diesem Kondensator erst die Zusammensetzung, welche bei der ersten Kolonne schon der Dampf aus dem Boden hat. Also ist die auf jedem Boden der zweiten Kolonne kochende Flüssigkeit ärmer als auf der ersten, also sind auch alle Bodenrückläufe ärmer, folglich muß die zweite Kolonne mehr Wärme verbrauchen. * Siehe Gleichung (21).

Oder man muß der zweiten Kolonne mehr Böden geben.

So zeigt es sich, daß die Verteilung der Kondensation auf die ganze Kolonne nur einen ungünstigen Einfluß auf den Fortschritt der Verstärkung der Dämpfe ausübt.

Wollte man die Kondensation nicht zwischen je zwei Böden, sondern in größeren Abstufungen zwischen mehreren Böden anstatt auf der höchsten Stelle allein ausüben, so würde diese Einrichtung die gleichen Mängel erzeugen. Auch in diesem Falle würde die Trennung des Leicht siedenden vom Schwersiedenden entweder nur mit höheren Kolonnen oder mit einem größeren Wärmeaufwand möglich sein.

Die Fig. 5 zeigt im schematischen Bilde die Zunahme und Abnahme der Stoffe und verdeutlicht die mangelhafte Wirkungsweise dieser Konstruktion.

VIII. Soll die Kolonne gegen Wärmeausstrahlung geschützt werden, oder ist es besser, sie unbekleidet zu lassen? (Fig. 6.)

Nach dem Vorhergehenden beantwortet sich diese Frage fast von selbst.

Die Wärmeausstrahlung der Wand zwischen je zwei Böden bewirkt da, wo sie von Flüssigkeit berührt wird, eine Abkühlung der letzteren. Diese ist ein Verlust an Wärme.

Da wo die Wand von Dämpfen berührt wird, wirkt die Abkühlung als kleine Dephlegmation ähnlich wie oben beschrieben und sie erzeugt daher auch eine Verzögerung der Wirkung, welche nur durch eine vermehrte Zahl von Böden oder durch Wärmeaufwand aufgehoben werden kann.

In der Fig. 6 sieht man aus den Konturen I, 1, VIII, 3 die Wirkung einer Kolonne ohne Wärmeverlust. Die Konturen I, 1, o, p zeigen den Einfluß der durch die Ausstrahlung erzeugten

Kondensation der Dämpfe und die Abnahme ihrer Mengen nach oben hin, gegenüber der Kolonne, die keinen Wärmeverlust erleidet.

Es ist also in allen Fällen vorteilhaft, die Rektifikationskolonne gegen Wärmeverlust zu schützen.

Eine Kolonne, in welcher eine Temperatur von 80—90° C. herrscht, würde pro qm und Stunde einen Wärmeverlust von etwa 900 Kalorien erleiden; für eine Kolonne von 1000 mm Durchmesser und 6000 mm Höhe käme dies einem nutzlosen Dampfaufwand von circa 30 Kilo pro Stunde gleich, so daß die Kosten für die Umhüllung mit Wärmeschutzmasse schnell eingebracht sind.

Zahlenbeispiele für diese Vorgänge befinden sich bei der Berechnung der Alkohol-Destillier- und Rektifizierapparate.

IX. Kann man aus einem Dampfgemisch nur durch Dephlegmation ohne Aufkochungen das Leicht siedende abtrennen?

Ein je geringerer Teil vom Ganzen das aus einem Dampfgemisch Niedergeschlagene ist, um so weniger vom Leicht siedenden wird es enthalten. Die ersten Tropfen des Niederschlages werden fast so zusammengesetzt sein, wie es die Flüssigkeit sein muß, aus der das Dampfgemisch selbst entstand.

Einen je erheblicheren Teil vom Ganzen das Niedergeschlagene, mit dem Dampf in Berührung bleibende, ausmacht, prozentlich um so mehr vom Leicht siedenden wird es enthalten.

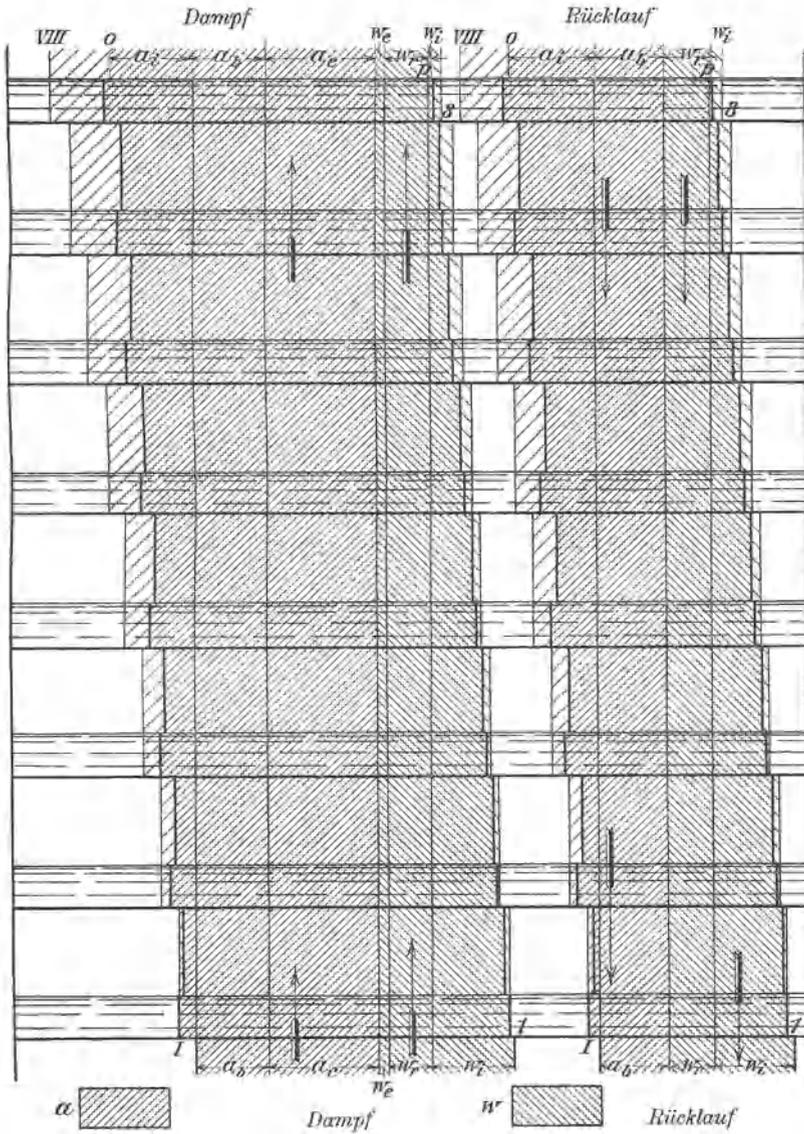
Im zweiten Fall ist das Gewicht des übrig bleibenden Dampfes zwar geringer, aber dies kleinere Gewicht ist an Leicht siedendem prozentlich viel reicher geworden, als im ersten Falle.

Wenn fast das ganze Dampfgemisch niedergeschlagen würde, so bekäme der übrig bleibende Dampf beinahe diejenige Zusammensetzung, welche er haben müßte, wenn er aus einer Flüssigkeit, die dem ganzen Dampfgemisch gleich ist, entstanden wäre.

Hieraus erhellt, daß man durch eine einzige, fast vollkommene Kondensation eines Dampfgemisches im Maximum einen kleinen Rest von Dampf als Produkt erhalten kann, dessen Zusammensetzung so beschaffen ist, als wäre er aus einer Flüssigkeit aufgestiegen, die dem Ursprungsdampfgemisch gleich war. Ferner erhellt, daß man durch allmähliche Kondensation und sofortige Abführung der kleinen Mengen des Niederschlages am Ende zu einer reichlicheren Menge des Produktes von viel höherem Prozentgehalt an Leicht siedendem gelangen kann, und daß dies um so mehr der Fall ist, in je kleineren Absätzen die Kondensation stattfindet.

Fig. 6.

Bildliche Darstellung der durch Abkühlung (Wärmeausstrahlung) verursachten Abnahme der Dampf- und Flüssigkeitsmengen in einer Rektifizierkolonne.



Vielleicht gibt es Flüssigkeitsgemische, bei deren Verarbeitung eine hohe, nur durch Abkühlung ohne Aufkochungen arbeitende Kolonne gegenüber den gewöhnlichen Rektifizierkolonnen Vorteile bietet. Bei den gewöhnlich zu verarbeitenden Stoffen aber, deren Dampfzusammensetzungen, wenn sie sehr reich an Leicht siedendem geworden sind, nicht sehr von der ihrer Ursprungsflüssigkeiten abweichen, ist dies keineswegs der Fall; denn hier würde der Dampf den höchsten Prozentgehalt an Leicht siedendem erst mit der Kondensation des vorletzten Tropfens erreichen.

Der von Herrn E. Dönitz erörterte und berechnete „ideale Destillierapparat“ (Zeitschrift für Spiritusindustrie 1885, No. 15) unterscheidet sich von dem soeben Gesagten dadurch, daß bei ihm die ganz allmählich erzeugten Niederschläge dem aufsteigenden Dampf entgegenfließen, also nicht von ihm gleich nach der Entstehung ganz getrennt werden. Hierdurch geben die an höheren Stellen der idealen Kolonnen gebildeten, also reicheren Niederschläge, unten von ihrem Reichtum an Leicht siedendem wieder an die aufsteigenden Dämpfe ab, so daß sie alle bei ihrem Eintritt in die Blase auch die Zusammensetzung des Blaseninhalts haben. Den geringst möglichen Wärmeverbrauch müßte diese Kolonne haben, wenn sie hinreichend hoch gebaut wird. Aber eine hinreichend hohe, gegen Ausstrahlung geschützte, vollkommene Kolonne mit sehr vielen Aufkochungen und einem Kondensator oben, braucht nicht mehr Wärme als diese ideale und hat außerdem noch gewisse Vorteile.

X. Soll der gesamte Rücklauf aus dem Kondensator auf den obersten Kolonnenboden geleitet werden, oder ist es besser, den Rücklauf etwa getrennt, nach seiner Qualität, auf mehrere Böden zu verteilen?

Der Dampf, welcher in den Kondensator geht, stammt aus der Flüssigkeit des obersten Kolonnenbodens. Durch die teilweise Kondensation dieses Dampfes wird der übrig bleibende Dampf prozentlich reicher an Leicht siedendem, als es der gesamte war und auch das Kondensat ist reicher daran als die Flüssigkeit, aus der der gesamte Dampf stammt.

Der Rücklauf aus dem Kondensator in seiner Gesamtheit ist also immer prozentlich besser, als die Flüssigkeit auf dem obersten Boden.

Wird, wie dies bei einigen Kondensatorkonstruktionen möglich ist, das Kondensat in mehreren Teilen aus demselben abgeleitet, so ist selbst der erste, schwächste Teil noch prozentlich

reicher an Leichtsiedendem, als die Flüssigkeit auf dem obersten Kolonnenboden.

Die Meinung, als müßte man die schlechten Rückläufe (Lutter und Flegmen) an tiefer liegende Stellen der Kolonnen leiten, um deren obere Teile davon zu befreien, hat also keine Berechtigung, weil eben die Rückläufe nicht schlechter sind, als die Flüssigkeit auf dem obersten Kolonnenboden.

Da außerdem, wie bekannt, die Trennung der Stoffe um so energischer von statten geht, je mehr Rücklauf im Verhältnis zum zu gewinnenden Produkt (Rektifikat) jeden Boden überströmt, so unterliegt es keinem Zweifel, daß stets aller Rücklauf von dem Kondensator auf den obersten Kolonnenboden geleitet werden muß.

XI. Die graphische Methode. (Fig. 7, 8 und 9.)

Man kann für ein Gemisch von Flüssigkeiten, deren physikalische Eigenschaften bekannt sind, die Gewichte der Gemischteile, welche sich in einem bestimmten Augenblick an bestimmten Stellen eines Rektifizierapparates als Dampf oder Flüssigkeit befinden, mittelst der graphischen Methode bestimmen.

Der Blaseninhalt ändert sich durch seinen Verlust an Leichtsiedendem ununterbrochen und damit verändert sich auch Dampf und Rücklauf an allen Stellen.

Auch durch vermehrte und verminderte Wärmezuführung und Wärmeentziehung kann man willkürlich auf diese Mengen einwirken.

Wenn gewisse Gewichte und Verhältnisse der Stoffe zu einer Zeit an bestimmten Stellen als vorhanden bekannt sind oder angenommen werden, so findet man durch die sogleich zu beschreibende Methode die an den anderen Stellen zu derselben Zeit vorhandenen Gewichte.

Wir nehmen als bekannt an:

1. das in der Zeiteinheit zu leistende Rektifikat nach Gewicht und Zusammensetzung ($a_e + w_e$),
2. die prozentliche Zusammensetzung des Blaseninhaltes:

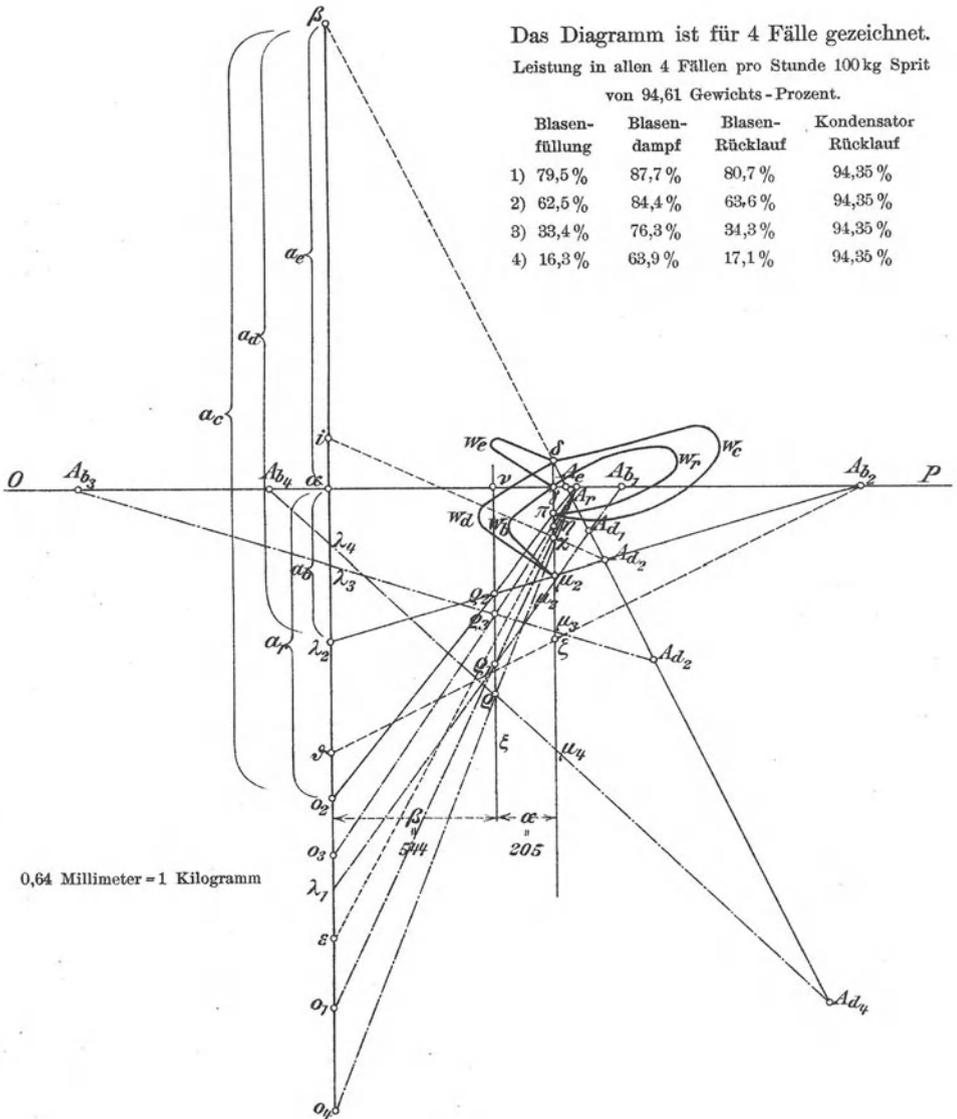
$$\left(\frac{w}{a} = f\right),$$

3. die prozentliche Zusammensetzung des Rücklaufs in die Blase:

$$\left(\frac{w_b}{a_b} = f_b\right).$$

Fig. 7.

Bildliche Darstellung der Gewichte von Alkohol und Wasser
 im Blasen Dampf $a_d + w_d$ — im Blasenrücklauf $a_b + w_b$ — im Kolonnendampf $a_c + w_c$
 im Kondensatorrücklauf $a_r + w_r$ — im Auslauf $a_e + w_e$



Dann ist die prozentliche Zusammensetzung des aus der Blase steigenden Dampfes und diejenige des vom Kondensator kommenden Rücklaufes auch bekannt, weil diese naturgesetzlich vom Blaseninhalt und Rektifikat abhängen.

Über die Zusammensetzung des Rücklaufs in die Blase Pos. 3 ist früher Abschnitt III das Nötige gesagt worden. Sie schwankt zwischen bekannten Grenzen und hängt ab von der Wärmeentziehung im Kondensator. Indem man sie verschieden annimmt, kann man durch die graphische (auch arithmetische) Rechnung finden, welche Wärmezuehung am vorteilhaftesten ist.

Wenn man für eine Reihe einander folgender Zusammensetzungen einer Blasenfüllung die zugehörigen Gewichte der Stoffe an den anderen Stellen des Apparates graphisch gefunden hat, so kann man sich ein gutes Bild von den während einer Operation wechselnden Zuständen im Apparat verschaffen.

Die durch Fig. 7 dargestellte graphische Bestimmung gilt für Alkohol und Wasser, für den Maßstab ein Kilo = 0,64 Millimeter, für die Produktion von 100 Ko. Alkohol von 94,61 Gew.-Proz., für eine Blasenfüllung von 62,5 Prozent und den Rücklauf in die Blase von 63,5 Prozent in einem Rektifizierapparat.

Benutzt ist die Tabelle I.

Die graphische Darstellung geschieht folgendermaßen:

Auf der Horizontalen OP errichtet man in beliebiger angemessener Entfernung voneinander zwei Lote und verlängert sie nach unten. Das Stück $\alpha\beta$ ($=a_e = 94,61$) wird gleich dem Gewichte des Leicht siedenden, und $\gamma\delta$ ($=w_e = 5,39$) wird gleich dem des Schwersiedenden im Rektifikat gemacht.

Dann zieht man die Gerade $\beta\delta A_e$ und verlängert sie.

Man trägt auf den Loten von β und δ aus zwei Linien ab, deren Längen dem Gewichtsverhältnis des Leicht siedenden zum Schwersiedenden im Dampf, der zu einer bestimmten Zeit aus der Blase geht, entsprechen ($\frac{\delta k}{\beta i} = f_d = \frac{w_d}{a_d} = \frac{15,6}{84,4}$) und zieht $ik A_{d_2}$.

Ebenso schlägt man auf der Verlängerung der Lote $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ von α und γ aus zwei Linien ab $\alpha\vartheta$ ($=a_b = 63,5$) und $\gamma\zeta$ ($=w_b = 36,5$) die dem Verhältnis des Leicht siedenden zum Schwersiedenden im Rücklauf in die Blase entsprechen und zieht $\vartheta\zeta A_{b_2}$.

Wenn man dann A_{b_2} und A_{d_2} zieht und verlängert, so sind:

$a_b = \alpha\lambda_2 = 30,95$ und $w_b = \gamma\mu_2 = 17,7$ die Gewichte des Rücklaufes in die Blase.

$a_d = \beta \lambda_2 = 125,56$ und $w_d = \delta \mu_2 = 23,09$ die Gewichte des Dampfes aus der Blase.

Denn alle Linien von einem Punkt A_b aus schneiden von den Loten unterhalb der Linien OP Stücke von gleicher Proportion $\left(\frac{w_b}{a_b}\right)$ ab. Ebenso schneiden alle Linien von einem Punkt A_d aus von den Loten von β und δ an, Stücke von gleicher Proportion $\left(\frac{w_d}{a_d}\right)$ ab.

Auf der Verlängerung der Lote $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ schlägt man von α und γ aus zwei Linien $\alpha\varepsilon$ ($= a_r = 94,35$) und $\gamma\eta$ ($= w_r = 5,65$) ab, deren Länge dem Gewichtsverhältnis des Leicht siedenden zum Schwersiedenden im Rücklauf in die Kolonne entsprechen und zieht $\varepsilon\eta$ $A_r \cdot \left(\frac{w_r}{a_r} = f_r = \frac{\gamma\eta}{\alpha\varepsilon}\right)$.

Wird dann $\alpha\gamma$ so geteilt, daß $\nu\gamma : \alpha\nu$ sich verhält wie die Verdampfungswärmen der Stoffe a und w , d. h. wie $\alpha : \beta$ ($= 205 : 544$), ein Lot bei ν gefällt, und durch dessen Schnittpunkt mit $\lambda_2 A_{b_2}$ (d. i. o_2) und A_r eine Linie gezogen, so sind:

$a_r = \alpha o_2 = 67,25$ und $w_r = \gamma \pi_2 = 4,02$ die Gewichte des Rücklaufs in die Kolonne.

$a_c = \beta o_2 = 161,86$ und $w_c = \delta \pi_2 = 9,41$ die Gewichte des Dampfes, der aus der Kolonne geht.

Denn es muß $a_r \alpha + w_r \beta = a_b \alpha + w_b \beta$ sein.

Wenn sich mit fortschreitender Verdampfung die Zusammensetzung der Blasenfüllung und des Rücklaufs in dieselbe geändert hat, so kann man für diese anderen Zustände andere Punkte A_{d_1} , A_{d_3} , A_{d_4} etc. und A_{b_1} , A_{b_3} , A_{b_4} etc. bestimmen, deren Verbindungslinien auf den Loten die Gewichte des Blasendampfes und des Rücklaufs in die Blase angeben. Die Kreuzungspunkte dieser Verbindungslinien mit $\nu\xi$ ergeben die Punkte o_1 , o_3 , o_4 etc. Diejenigen Linien, welche von A_r aus durch die Punkte o_1 , o_3 , o_4 gezogen werden, bestimmen von β und δ aus auf den Loten die Gewichte des Dampfes aus der Kolonne und von α und γ aus die Gewichte des Rücklaufs in die Kolonne.

So kann man, vom Beginn bis zum Ende eine Rektifikation verfolgend, sich Kenntnis von allen Zuständen in allen Arbeitsstadien verschaffen.

Es sei hier bemerkt, daß in Wirklichkeit die Zusammensetzung des Rücklaufs in die Blase stets viel reicher an Leicht siedendem ist, als der Inhalt selbst, weil die Kolonnen nie hoch genug sind, um so schlechte Rückläufe zu gestatten.

Fig. 8

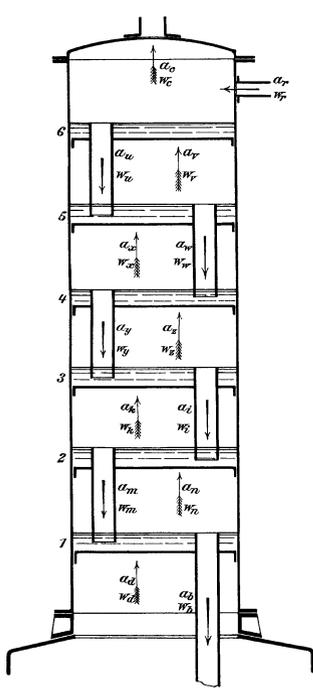
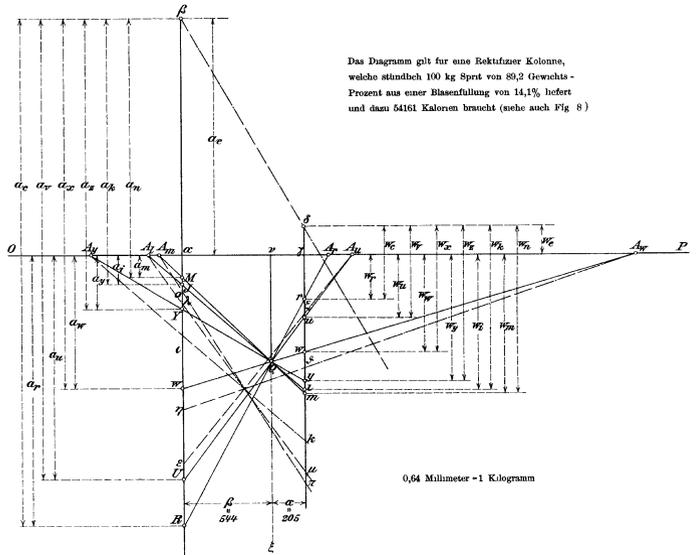


Fig. 9.

Bildliche Darstellung der Gewichte von Alkohol und Wasser im Dampf- und im Rücklauf auf jedem Boden einer Rektifizier-Kolonne.



In ähnlicher Weise kann man die Gewichte der Stoffe an jeder Stelle der Kolonne des Rektifizierapparates feststellen, wenn bekannt ist:

1. Das in der Zeiteinheit geleistete Produkt (Rektifikat) nach Gewicht und Zusammensetzung ($a_e + w_e$).

2. Das Gewicht und die Zusammensetzung des Rücklaufs an einer Stelle ($a_r + w_r$).

Dann ist die prozentliche Zusammensetzung des über dem Rücklauf schwebenden Dampfes auch bekannt, da sie naturgesetzlich von ihm abhängt.

Es sei die Aufgabe, die Gewichte von Alkohol und Wasser in den Dämpfen und Rückläufen aller Böden einer Kolonne zu bestimmen, die pro Stunde 100 Kilo Sprit von 89,2 Gew.-Proz. aus einer Flüssigkeit von 14,1 pCt. liefert, wenn der Rücklauf vom Kondensator bei 85,8 pCt. gleich 101,8 Kilo Alkohol von 16,8 Kilo Wasser ist. Um die gewählten Bezeichnungen zu verstehen, siehe Fig. 8.

Auf der Horizontalen OP (Fig. 9) errichtet man ebenso wie vorher, in beliebiger angemessener Entfernung voneinander zwei Lote, deren obere Teile $\alpha\beta$ ($= a_e = 89,21$) gleich dem Gewichte des Leicht siedenden, $\gamma\delta$ ($= w_e = 10,8$) gleich dem Gewichte des Schwersiedenden im Rektifikat gemacht werden.

Dann zieht man die Gerade $\beta\delta A_e$ und verlängert sie.

Hierauf schlägt man von dem unteren Teil der Lote die Linien αR ($= a_r = 101,8$) und γ_r ($= w_r = 16,8$) ab, gleich den Gewichten im Rücklauf und zieht $Rr A_r$, dann ist: $a_c = R\beta = 191,0$ und $w_c = r\delta = 27,6$ gleich den Gewichten des Dampfes, der aus der Kolonne geht.

Hierauf teilt man $\alpha\gamma$ bei ν , so daß $\gamma\nu : \alpha\nu$ sich verhält wie $\alpha : \beta$, das ist wie 205 : 544, und errichtet das Lot $\nu\xi$.

Der Schnittpunkt von Rr und $\nu\xi$ ist q .

Alle Linien, welche durch q gehen, schneiden von den Loten solche Stücke ab, welche entsprechend mit $\alpha = 205$ und $\beta = 544$ multipliziert und addiert, die gleiche Summe ergeben. Diese konstante Summe ist gleich $C_r = a_r 205 + w_r 544$ d. h. gleich der den Dämpfen im Kondensator entzogenen Wärme.

Da nun der Dampf aus der Kolonne bekannt ist, so ist auch die Zusammensetzung des Rücklaufs vom obersten Boden bekannt.

(Siehe Tabelle 1):

$$\left(\frac{w_c}{a_c} = f_c = G f_u = G \frac{w_u}{a_u} \right).$$

Man schlägt also auf den Loten von β und δ aus zwei Stücke $\alpha \varepsilon$ und $\gamma \zeta$ ab, die in dem nun bekannten Verhältnis $f_u = \left(\frac{w_u}{a_u}\right)$ zueinander stehen und zieht $\varepsilon \zeta A_u$.

Die Linie von A_u durch q schneidet die Lote bei U und u und es sind:

$\alpha U = a_u = 84,4$ und $\gamma u = w_u = 23,28$ die Gewichte des Rücklaufs vom obersten Boden.

$\beta U = a_v = 173,6$ und $\delta u = w_v = 34,13$ sind die Gewichte des Dampfes über dem fünften Boden. (83,5 pCt.)

Aus Tabelle 1 kennt man die Zusammensetzung des zu diesem Dampf gehörigen Rücklaufs. Sie ist: 57,8 pCt.

Man schlägt also auf den Loten die Linien $\alpha \eta = 57,8$ und $\gamma \vartheta = 42,2$ ab und zieht $\eta \vartheta A_w$ und $A_w q$, so sind:

$$\alpha W = a_w = 50 \text{ und } \gamma w = w_w = 36,5$$

die Gewichte des Rücklaufs vom fünften Boden und

$$\beta W = a_x = 139,2 \text{ und } \delta w = w_x = 47,2$$

die Gewichte des Dampfes über dem vierten Boden (74,6 pCt.).

Aus Tabelle 1 kennt man die Zusammensetzung des zu diesem Dampf gehörigen Rücklaufs; sie ist 29,9 pCt. Man schlägt also auf den Loten die Linien $\alpha \iota = 29,9$ und $\gamma k = 70,1$ und zieht $k \iota A_y$ und $A_y Yy$ so sind:

$$\alpha Y = a_y = 20,2 \text{ und } \gamma y = w_y = 47,3$$

die Gewichte des Rücklaufs von dem vierten Boden und

$$\beta Y = a_z = 109,4 \text{ und } \delta y = w_z = 58,1$$

die Gewichte des Dampfes über dem dritten Boden (65,3 pCt.).

Aus Tabelle 1 kennt man etc. etc.

So kann man bis zu Ende verfahren.

XII. Berechnung der Alkohol-Rektifizierapparate. Tabelle 1.

Wenn man auf Grund der vorhergehenden Betrachtungen die Vorgänge in den Rektifizierapparaten für bestimmte Stoffe mit Hilfe der Zahlenrechnung verfolgen will, so ist die genaue Kenntnis der physikalischen Eigenschaften dieser Stoffe unbedingt notwendig.

Das spezifische Gewicht, die spezifische Wärme, die Verdampfungswärme bei jedem Druck und die Zusammensetzung der Dampfgemische, welche über siedenden Flüssigkeitsgemischen von

bestimmter Zusammensetzung schweben, müssen bekannt sein, ehe man die Rechnung beginnen kann.

Diese Daten sind nicht für viele Stoffe mit der wünschenswerten Vollständigkeit experimentell festgestellt worden, aber für Alkohol und Wasser wenigstens so weit bekannt, daß man sich durch die Rechnung eine ziemlich deutliche Vorstellung der Vorgänge schaffen kann und daher sind diese Mischungen etwas eingehender berechnet worden.

Es wird nicht angenommen, daß die im nachstehenden gegebenen Zahlen absolut richtige seien; um diese zu erhalten, müßte man weit genauere experimentelle Unterlagen haben und viel umständlichere Rechnungen ausführen; es mag genügen, wenn im großen und ganzen die gefundenen Resultate der Wahrheit entsprechen.

Es bedeutet im nachfolgenden:

α = das Gewicht an Alkohol oder Alkoholdampf,

τw = das Gewicht an Wasser oder Wasserdampf,

$\alpha = 205$ die Verdampfungswärme des Alkohols,

$\beta = 544$ die Verdampfungswärme des Wassers.

Es wird immer, wo nicht ausdrücklich das Gegenteil gesagt ist, angenommen, daß die Flüssigkeit Siedetemperatur hat.

Ob zwar der Druck an verschiedenen Stellen des Apparates verschieden ist, und damit die Verdampfungswärme der Flüssigkeiten sich ändert, so sind, um der Einfachheit der Rechnung willen, immer diese mittleren Verdampfungswärmen 205 und 544 angenommen worden.

Prozentzahlen sind immer Gewichtsprocente, wenn nicht ausdrücklich das Gegenteil gesagt ist.

C sind die Kalorien des Dampfes (Summe der latenten Wärmen)

f ist das Verhältnis $\frac{\tau w}{\alpha}$.

Das Verhältnis von $\frac{\tau w}{\alpha} = f$ wird bei den Rechnungen oft gebraucht und daher ist zur Bequemlichkeit die vorstehende Tabelle 1 berechnet worden. Dieselbe gibt auf Grundlage der von E. Dönitz erweiterten Gröningschen Tabelle (Dr. Max Maerckers Handbuch für Spiritusfabrikation, Seite 626) in der ersten Spalte die Siedetemperatur, in der zweiten Spalte die Gewichtsprocente der Alkohol-Wassermischung an; in der vierten Spalte die Gewichtsprocente der daraus entstehenden Dämpfe, in der dritten und fünften Spalte die Zahl f , mit der man das Alkoholgewicht

Tabelle 1.

Erweiterte Gröningsche Tabelle und Angabe der Zahl f , mit welcher man die Gewichts-Prozente Alkohol a zu multiplizieren hat, um die Gewichts-Prozente Wasser w in der Flüssigkeit und im Dampf zu erhalten.

Siede- Temperatur °C.	Gewichts- Prozente der Flüssig- keit an Alkohol	$w = f a$ $f = \downarrow$	Gewichts- Prozente des Dampfes an Alkohol	$w = f a$ $f = \downarrow$	Siede- Temperatur °C.	Gewichts- Prozente der Flüssig- keit an Alkohol	$w = f a$ $f = \downarrow$	Gewichts- Prozente des Dampfes an Alkohol	$w = f a$ $f = \downarrow$
99,0	0,8	124,—	10,5	8,524	89,0	14,6	5,85	61,6	0,623
98,2	1,5	65,666	21,87	3,572	88,6	15,4	5,493	62,8	0,592
	1,6	61,5	23,5	3,255	88,3	16,3	5,135	63,9	0,565
97,4	2,4	40,666	29,—	2,449	87,9	17,1	4,848	64,8	0,543
	2,8	35,—	31,—	2,225	87,7	17,9	4,586	65,7	0,522
	3,—	32,333	32,12	2,103	87,4	18,8	4,319	66,5	0,504
96,6	3,2	30,25	33,3	2,—	87,1	19,6	4,102	67,3	0,485
95,8	4,—	24,—	36,5	1,739	86,9	20,5	3,879	68,1	0,468
95,2	4,8	19,833	39,5	1,531	86,6	21,3	3,694	68,8	0,451
	5,—	19,2	40,4	1,475	86,4	22,1	3,524	69,5	0,439
94,5	5,6	16,857	42,3	1,364	86,2	23,—	3,348	70,2	0,424
93,9	6,4	14,625	44,7	1,237		23,25	3,330	70,4	0,4204
	7,—	13,286	46,28	1,160	86,0	23,8	3,202	70,8	0,411
93,3	7,2	12,89	46,8	1,136	85,7	24,7	3,048	71,4	0,401
92,6	8,—	11,5	49,4	1,024	85,5	25,6	2,905	72,1	0,386
	8,25	11,3	49,85	1,006	85,3	26,4	2,787	72,7	0,375
92,1	8,9	10,236	51,2	0,953	85,1	27,3	2,663	73,2	0,366
	9,—	10,111	51,45	0,943	85,0	28,1	2,558	73,7	0,356
91,5	9,7	9,3	53,—	0,887	84,8	29,—	2,449	74,1	0,349
	10,—	9,—	53,6	0,865	84,7	29,9	2,344	74,6	0,341
91,1	10,5	8,524	54,6	0,831	84,5	30,7	2,257	75,—	0,333
90,6	11,3	7,849	56,2	0,778	84,4	31,6	2,164	75,5	0,324
	12,—	7,333	57,36	0,743	84,2	32,5	2,077	75,9	0,317
90,2	12,2	7,196	57,7	0,733	84,1	33,4	1,994	76,3	0,311
89,7	13,—	6,692	59,1	0,692	83,9	34,3	1,914	76,7	0,303
89,3	13,8	6,246	60,4	0,655	83,8	35,2	1,841	77,1	0,297
	14,1	6,147	60,8	0,6447	83,7	36,1	1,770	77,4	0,292

Siede- Temperatur °C.	Gewichts- Prozente der Flüssig- keit an Alkohol	$w = f a$ $f = \downarrow$	Gewichts- Prozente des Dampfes an Alkohol	$w = f a$ $f = \downarrow$	Siede- Temperatur °C.	Gewichts- Prozente der Flüssig- keit an Alkohol	$w = f a$ $f = \downarrow$	Gewichts- Prozente des Dampfes an Alkohol	$w = f a$ $f = \downarrow$
83,5	37,—	1,703	77,8	0,285	80,4	67,9	0,472	85,5	0,169
83,4	37,9	1,638	78,1	0,278	80,3	69,—	0,449	85,7	0,167
83,3	38,8	1,577	78,4	0,275	80,2	70,2	0,424	85,9	0,164
83,1	39,7	1,519	78,7	0,270	80,1	71,3	0,4025	86,1	0,161
83,0	40,7	1,457	79,—	0,266	80,0	72,5	0,379	86,3	0,159
82,9	41,6	1,404	79,3	0,259	79,9	73,6	0,357	86,6	0,155
82,8	42,5	1,353	79,6	0,256	79,8	74,8	0,336	86,8	0,152
82,7	43,5	1,300	79,9	0,251	79,7	75,9	0,317	87,—	0,149
82,6	44,4	1,250	80,2	0,246	79,7	77,1	0,297	87,2	0,146
82,5	45,4	1,202	80,4	0,243	79,6	78,3	0,277	87,4	0,144
82,4	46,3	1,159	80,7	0,239	79,5	79,5	0,257	87,7	0,140
82,3	47,3	1,114	81,—	0,234	79,4	80,7	0,239	87,9	0,138
82,1	48,3	1,070	81,2	0,231	79,3	82,—	0,219	88,1	0,135
82,0	49,2	1,032	81,5	0,227	79,2	83,2	0,202	88,5	0,129
81,9	50,2	0,992	81,8	0,222	79,2	84,5	0,183	88,8	0,126
81,8	51,2	0,953	82,—	0,219	79,1	85,8	0,165	89,2	0,121
81,7	52,2	0,915	82,3	0,215		86,43	0,157	89,7	0,1148
81,6	53,2	0,879	82,5	0,212		87,03	0,149	90,—	0,111
81,5	54,2	0,845	82,7	0,209		88,26	0,133	90,10	0,1098
81,4	55,2	0,811	83,—	0,205		89,49	0,117	90,66	0,103
81,3	56,2	0,779	83,2	0,202		90,28	0,107	91,10	0,0977
81,2	57,3	0,745	83,4	0,199		91,08	0,097	91,30	0,0953
81,2	58,3	0,715	83,6	0,196		91,84	0,0888	92,—	0,0869
81,1	59,3	0,686	83,8	0,193		92,46	0,0815	93,—	0,0752
81,0	60,4	0,655	84,—	0,191		92,556	0,0804	93,17	0,0733
80,9	61,4	0,628	84,2	0,187		93,—	0,0752	93,66	0,0675
80,8	62,5	0,600	84,4	0,184		93,5	0,0695	94,—	0,0638
80,7	63,6	0,572	84,6	0,182		94,—	0,0638	94,40	0,0593
80,6	64,6	0,548	84,8	0,179		94,35	0,0598	94,61	0,057
80,5	65,7	0,522	85,—	0,176		94,5	0,0582	94,70	0,056
80,5	66,8	0,479	85,2	0,173		95,—	0,0525	95,10	0,0515

multiplizieren muß, um das Wassergewicht in 100 KiLo der Mischung zu erhalten.

Weil für Alkohol-Wassermischungen von mehr als 85,8 pCt. die daraus entstehenden Dampfmischungen nirgend gefunden wurden, so sind die unterhalb des Striches stehenden Zahlen von mir hinzugefügt worden auf Grund des im Abschnitt XIII erörterten Diagramms. (Fig. 10.)

Neuerdings haben die Herren Prof. C. Blacher und Raschewsky in Riga sehr verdienstvolle Untersuchungen über die Dampfzusammensetzung über siedenden Flüssigkeiten angestellt und gefunden, daß die Gröningsche Tabelle namentlich in ihrem Mittelteile etwas zu hohen Alkoholgehalt der Dämpfe angibt, wahrscheinlich, weil die Kondensation der Dämpfe an den Wänden des Versuchs(-Metall?)-Gefäßes früher nicht berücksichtigt wurde. Bei den Blacher-Raschewskyschen Versuchen ist diese Kondensation vermieden worden, und aus ihnen ergibt sich die folgende Tabelle 2, die wohl als die theoretisch richtigere anzusehen ist.

Die Güte der genannten Herren setzt mich in den Stand, diese höchst wertvolle Tabelle hier zum erstenmal zu veröffentlichen. Wenn wir in dieser Auflage noch der älteren Gröningschen Tabelle folgen, so geschieht es, weil es hier im wesentlichen auf die Methode der Berechnung ankommt, und weil der zu zeigende Unterschied der Resultate der Buchungen praktisch nicht sehr

Tabelle 2.

*Tabelle über den Alkoholgehalt der Dämpfe,
die sich aus siedenden Alkoholwassermischungen entwickeln.
Nach Blacher-Raschewsky.*

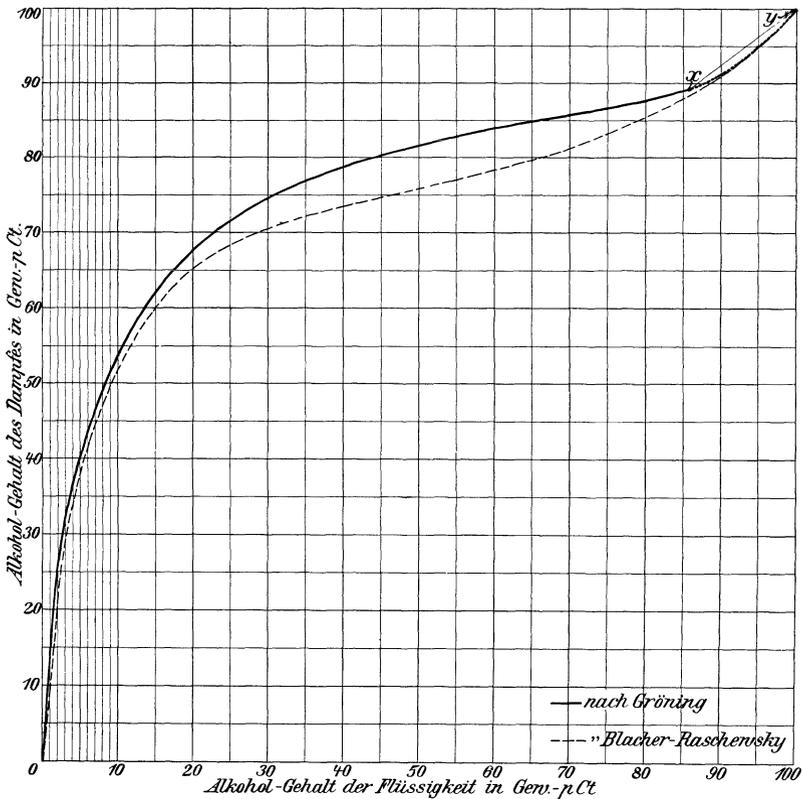
Gewichts-Prozente der Flüssigkeit an Alkohol	Gewichts-Prozente des Dampfes an Alkohol	Gewichts-Prozente der Flüssigkeit an Alkohol	Gewichts-Prozente des Dampfes an Alkohol	Gewichts-Prozente der Flüssigkeit an Alkohol	Gewichts-Prozente des Dampfes an Alkohol	Gewichts-Prozente der Flüssigkeit an Alkohol	Gewichts-Prozente des Dampfes an Alkohol
1,95	15,17	15,10	59,83	41,41	73,79	74,69	83,31
3,00	25,21	17,22	62,82	52,75	76,04	84,28	87,58
5,59	38,22	23,77	67,96	57,62	77,71	85,07	88,36
8,92	50,52	30,04	70,89	63,47	79,32	90,01	91,18
11,91	55,86	35,11	71,67	68,17	80,96	90,24	91,3
						99,234	99,239

ins Gewicht fällt, um so weniger, als in Wirklichkeit die Kondensation doch nie ganz ausgeschlossen wird und folglich für die Praxis eine andere, etwa in der Mitte der beiden hier angeführten Kurven liegende (Fig. 10) in Betracht käme.

XIII. Darstellung der Alkohol-Gewichtsprocente von Dampfmischungen, die über siedenden Alkohol-Wassermischungen von verschiedenem Gehalt schweben, durch ein Diagramm. (Fig. 10.)

Figur 10.

(Die ausgezogene Linie nach Grönung — die gestrichelte nach Blacher-Raschewsky.)



Um eine klare Vorstellung von dem Alkohol-Gehalt des Dampfes zu erhalten, der aus Alkohol-Wassermischungen entsteht, ist das in Fig. 10 dargestellte Diagramm gezeichnet. Als Abszissen sind die Gewichtsprocente der Alkoholflüssigkeit aufgetragen, als Ordinaten die dazu gehörigen Gewichtsprocente des Dampfes.

Die ausgezogene Linie ist nach der Gröningschen Tabelle 1 gezeichnet, die gestrichelte Linie ergibt sich aus der Tabelle 2 (Blacher-Raschewsky).

Man überblickt, daß die Dämpfe aus alkoholarmen Flüssigkeiten sehr viel alkoholreicher sind als diese, daß aber mit zunehmendem Alkoholreichtum der Flüssigkeit die Zunahme des Reichtums der Dämpfe nicht gleichen Schritt hält. Erst bei sehr hochprozentigen Flüssigkeiten wächst dann der Gehalt des Dampfes wieder stärker.

Gröning gibt die Dampfzusammensetzungen nur für Flüssigkeiten bis 85,8 Proz. Alkohol, aber da aus absolutem (100 Proz.) Alkohol sich auch ein Dampf von 100 pCt. Alkohol entwickeln muß, so wird man nicht sehr fehl gehen, wenn man die Punkte y, z durch eine gerade Linie verbindet, und die dadurch bestimmten Alkoholprozentage des Dampfes als nahezu richtig annimmt. Eine unterhalb dieser Linie punktierte Kurve ist vielleicht richtiger, auch scheinen für diese die Beobachtungen zu sprechen, welche einige Geschäftsfreunde des Hauses C. Heckmann an ihren Rektifizierapparaten auf meine Bitte gemacht haben, wofür ich denselben hier ausdrücklich danke. Auch die Blacher-Raschewsky Kurve fällt fast mit der letzteren zusammen.

Die durch die punktierte Linie angegebenen Zahlen sind es, welche in die Tabelle 1 unterhalb des Striches eingetragen wurden.

XIV. Berechnung des Wärmegehaltes und der Alkohol- und Wassergewichte an bestimmten Stellen der Rektifizierapparate. (Tabellen 3, 4, 5.)

Man kann nicht erwarten, daß die durch die Rechnung gefundenen Zahlen absolut richtige seien; gewisse, oben erwähnte, der Bequemlichkeit zu Liebe in den Kauf genommene Ungenauigkeiten und Vernachlässigungen sowohl, als auch der Mangel absolut zuverlässiger im Betriebe gewonnener experimenteller Beobachtungszahlen verhindern dies. Es soll nur der Weg angedeutet werden, auf dem man, mit allen Hilfsmitteln ausgestattet, zu genauen Resultaten gelangen könnte. Aber auch so geben die gefundenen Zahlen sehr beherzigenswerte Anweisungen, und wir haben gefunden, daß sie mit den hier und da an arbeitenden Apparaten gemachten Beobachtungen gut harmonieren.

Die Aufgabe sei die folgende: Ein Apparat liefert 100 Kilo Spirit von 94,61 Gew.-Proz. (96,5 pCt. Tr.) pro Stunde, die Blasenfüllung habe 42,5 Gew.-Proz., welches ist die geringste Wärmemenge, die verbraucht wird in der Blase und im Kondensator? Welches

sind die Gewichte an Alkohol und Wasser im Dampf aus der Blase $(a_d + w_d)$, im Rücklauf in die Blase $(a_b + w_b)$, im Dampf aus der Kolonne $(a_c + w_c)$, im Rücklauf in die Kolonne $(a_r + w_r)$?

Aus einem Alkoholwassergemisch von 42,5 pCt. $\left(f = \frac{w}{a} = 1,353\right)$ steigt nach Tabelle 1 ein Dampf auf von 79,6 Gewichtsprozenten $(f_d = 0,256)$.

Man berechnet zuerst w_o aus der Formel (2) Seite 7

$$w_o = f_d a_e - w_e,$$

worin

$$a_e = 94,61, \quad w_e = 5,39$$

ist

$$w_o = 18,83$$

und findet a_b aus der Formel (5) Seite 8

$$a_b = \frac{w_o}{f_b - f_d},$$

worin f_b von uns bestimmt werden muß.

Wir wissen, daß der Wärmeverbrauch eines Apparates am geringsten ist, wenn der Alkoholgehalt des Rücklaufs in die Blase dem der Blasenfüllung gleich ist. Da es aber unmöglich ist, dieses Ideal ganz zu erreichen, da vielmehr der Blasenrücklauf stets wenigstens um ein wenig hochprozentiger sein wird als der Inhalt, so nehmen wir hier den Rücklauf 43,5 pCt. an ($f_b = 1,3$), dann ist:

$$a_b = \frac{18,83}{1,3 - 0,256} = 18,04,$$

$$w_b = f_b a_b = 23,45,$$

ferner ist:

$$a_d = a_b + a_e = 112,65,$$

$$w_d = w_b + w_e = 28,84,$$

$$C_d = C_c = a_d \alpha + w_d \beta = 112,63 \cdot 205 + 28,84 \cdot 544 = 38\,782,2,$$

$$C_b = C_r = a_b \alpha + w_b \beta = 18,04 \cdot 205 + 23,45 \cdot 544 = 16\,455,0,$$

$$C_e = a_e \alpha + w_e \beta = 94,61 \cdot 205 + 5,39 \cdot 544 = 22\,327,2.$$

Wenn der aus dem Kondensator gehende Dampf 94,61 pCt. Alkohol enthält, so muß die Flüssigkeit, welche ihn mit dem Dampf zugleich verläßt, nach Tabelle 1 94,35 pCt. Alkohol enthalten, d. h.:

$$f_r = 0,0598 \text{ und da } w_r = f_r a_r = 0,0598 a_r$$

ist, so ergibt sich aus:

Tabelle 3.

*Geringster Wärme-Verbrauch in der Blase und im Kondensator
für die Erzeugung von 100 Kilo*

Alkohol Gew.-Proz. des Blasen- inhalts ($a + w$) $\%_0 =$ $w = f a$ $f =$	0,8 124	4 24	8 11,5	16,3 5,135	20,5 3,879
$\left[\begin{array}{l} \text{Leistung pro Zeiteinheit} \\ \text{100 ko Sprit von 94,61} \\ \text{Gew.-Proz.} \end{array} \right]$ $a_e =$ $w_e =$	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39
Gew.-Proz. des Blasendampfes $\%_0 =$ ($f d a_e = w_e + w_o$) $f d =$ ($w_o = f d a_e - w_e$); $w_o =$	10,5 8,524 801,05	36,5 1,739 159,13	49,4 1,024 91,49	63,9 0,565 48,04	68,1 0,468 38,88
Gew.-Proz. d. Rücklaufs i. d. Blase $\%_0 =$ $a_b = \frac{w_o}{f b - f d} \left\{ \begin{array}{l} \text{Rücklauf in} \\ \text{die Blase} \end{array} \right\}$ $f b =$ $w_b = f b \cdot a_b$ $a_b =$ $w_b =$	1 99 8,85 876,15	4,8 19,833 8,79 174,33	8,9 10,236 9,93 101,64	17,1 4,848 11,21 54,35	21,3 3,694 12,05 44,51
$a_d = a_b + a_e$ { Dämpfe in } $a_d =$ $w_d = w_b + w_e$ { der Blase } $w_d =$	103,46 881,54	103,40 179,72	104,54 107,03	105,82 59,74	106,66 49,90
Wärmeverbrauch in der Blase $C_d = a_d 205 + w_d 544$ $C_d =$	500760,0	118964,7	79655,0	54191,6	49010,9
Wärmeverbrauch im Kondensator $C_b = C_r = a_b 205 + w_b 544$; $C_r =$	478439,8	96637,5	57327,8	31864,4	26683,7
$C_e = a_e 205 + w_e 544$ $C_e =$	22327,2	22327,2	22327,2	22327,2	22327,2
Gew.-Proz. des Rücklaufs in die Kolonne $\%_0 =$ $f_r = 0,0598$ $C_r = a_r 205 + w_r 544$ $a_r =$ $a_r = \frac{C_r}{205 + 544 \cdot 0,0598}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{in} \\ \text{die Kolonne} \end{array} \right\}$ $w_r =$	94,35 2014,2 120,45	94,35 406,9 24,33	94,35 241,8 14,460	94,35 134,2 8,03	94,35 112,4 6,72
$a_c = a_e + a_r$ { Dämpfe } $a_c =$ $w_c = w_e + w_r$ { aus der } $w_c =$ Kolonne	2108,81 125,84	501,51 29,72	336,41 19,85	228,81 17,42	207,01 12,11

Tabelle 3.

*und kleinste Alkohol- und Wassergewichte der Dämpfe und Rückläufe
 Spirit von 94,61 Gewichts-Prozente.*

23,8 3,202	33,4 1,994	42,5 1,353	52,8 0,915	62,5 0,600	67,9 0,472	73,6 0,357	79,5 0,257	85,8 0,165
94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39
70,8 0,411 33,49	76,3 0,311 24,03	79,6 0,256 18,83	82,3 0,215 14,95	84,4 0,184 12,01	85,5 0,169 10,6	86,6 0,155 9,27	87,7 0,140 7,85	89,2 0,121 6,05
24,7 3,048 12,66 38,59	34,3 19,14 15,0 28,71	43,5 1,3 18,04 23,45	53,2 0,879 22,51 19,79	63,6 0,572 30,95 17,70	69 0,449 37,85 15,89	74,8 0,336 51,22 17,21	80,7 0,239 79,3 18,95	86,6 0,155 186,9 28,97
107,27 43,98	109,61 34,10	112,65 28,84	117,12 25,18	125,56 23,09	132,46 21,28	145,83 22,60	173,91 24,34	281,51 34,36
45915,4	41020,4	38782,2	37707,5	38300,6	38730,6	42189,5	48892,8	76401,3
23587,96	18693,4	16455,0	15380,3	15973,5	16403,4	19862,3	26563,3	54074,1
22327,2	22327,2	22327,2	22327,2	22327,2	22327,2	22327,2	22327,2	22327,2
94,35 99,3 5,94	94,35 78,7 4,71	94,35 69,2 4,14	94,35 64,75 3,87	94,35 67,25 4,02	94,35 69,06 4,13	94,35 83,62 5,0	94,35 111,8 6,69	94,35 227,8 13,62
193,91 11,33	173,31 10,10	163,81 9,53	159,36 9,26	161,86 9,41	163,67 9,52	178,23 10,39	206,41 12,08	322,41 19,01

Tabelle 4.

*Geringster Wärme-Verbrauch in der Blase und im Kondensator
für die Erzeugung von 100 Kilo*

Alkohol Gew.-Proz. des Blasen- inhalts ($a + w$) $w = f a$	$\%_0 =$ $f =$	0,8 124	4 24	8 11,15	16,3 5,135	20,5 3,879
[Leistung pro Zeiteinheit] 100 ko Sprit von 94,61 Gew.-Proz.]	$a_e =$	93,17	93,17	93,17	93,17	93,17
	$w_e =$	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83
Gew.-Proz. des Blasendampfes ($f d a_e = w_e + w_o$) ($w_o = f d a_e - w_e$);	$\%_0 =$ $f d =$ $w_o =$	10,5 8,524 787,35	36,5 1,739 155,19	49,4 1,024 88,57	63,9 0,565 45,81	68,1 0,468 36,77
Gew.-Proz.d.Rücklaufs i.d.Blase	$\%_0 =$	1	4,8	8,9	17,1	21,3
$a_b = \frac{w_o}{f_b - f_d} \left\{ \begin{array}{l} \text{Rücklauf in} \\ \text{die Blase} \end{array} \right.$	$f_b =$	99	19,833	10,236	4,848	3,694
	$w_b = f_b \cdot a_b$	8,76 861,3	8,57 169,97	9,61 98,37	10,69 51,86	11,39 42,07
$a_d = a_b + a_e$ { Dämpfe in $w_d = w_b + w_e$ { der Blase }	$a_d =$	101,87	101,74	102,78	103,86	104,56
	$w_d =$	868,13	176,80	105,20	58,69	48,90
Wärmeverbrauch in der Blase $C_d = a_d 205 + w_d 544$	$C_d =$	493146	117035,9	78298,7	53218,6	48036,4
Wärmeverbrauch im Kondensator $C_b = C_r = a_b 205 + w_b 544$; $C_r =$	$C_b =$	470310	94220,5	55483,3	30403,3	25221,0
$C_e = a_e 205 + w_e 544$	$C_e =$	22815,3	22815,3	22815,3	22815,3	22815,3
Gew.-Proz. des Rücklaufs in die Kolonne $f_r = 0,0804$ $C_r = a_r 205 + w_r 544$	$\%_0 =$ $a_r =$ $w_r =$	92,556 1890,8 152,02	92,556 378,8 30,46	92,556 223,4 17,96	92,556 122,2 9,82	92,556 101,4 8,15
$a_r = \frac{C_r}{205 + 544 \cdot 0,0804}$ { in Rücklauf die Kolonne }						
$a_c = a_e + a_r$ { Dämpfe aus der $w_c = w_e + w_r$ { Kolonne }	$a_c =$	1983,97	471,97	316,57	215,37	194,57
	$w_c =$	158,85	37,29	24,79	16,65	14,98

Tabelle 4.

*und kleinste Alkohol- und Wassergewichte der Dämpfe und Rückläufe
 Spirit von 93,17 Gewichts-Prozente.*

23,8 3,202	33,4 1,994	42,5 1,353	52,2 0,915	62,5 0,600	67,9 0,472	73,6 0,357	79,5 0,257	85,8 0,165
93,17 6,83	93,17 6,83	93,17 6,83	93,17 6,83	93,17 6,83	93,17 6,83	93,17 6,83	93,17 6,83	93,17 6,83
70,8 0,411 31,46	76,3 0,311 22,14	79,6 0,256 17,02	82,3 0,215 13,2	84,4 0,184 10,31	85,5 0,169 8,91	86,6 0,155 7,61	87,7 0,140 6,21	89,2 0,121 4,44
24,7 3,048 11,93 36,36	34,3 1,914 13,81 26,43	43,5 1,300 16,30 21,19	53,2 0,879 19,88 17,47	63,6 0,572 26,57 15,2	69 0,449 31,82 14,29	74,8 0,336 42,04 14,12	80,7 0,239 62,72 14,99	86,6 0,155 130,6 20,24
105,10 43,19	106,98 33,26	109,47 28,02	113,05 24,30	119,74 22,03	124,99 21,12	135,21 20,95	155,89 21,82	223,77 27,07
15040,8	40024,3	37684,2	36394,4	36531,0	37112,2	39114,8	43827,4	60598,9
22225,5	17208,9	14868,8	13579,0	13175,6	14296,8	16299,4	21012,1	37783,5
22815,3	22815,3	22815,3	22815,3	22815,3	22815,3	22815,3	22815,3	22815,3
92,556	92,556	92,556	92,556	92,556	92,556	92,556	92,556	92,556
89,3 7,18	69,1 5,55	59,8 4,8	54,5 4,38	53 4,26	57,4 4,6	65,5 5,26	84,4 6,78	152 12,22
182,47 14,01	162,27 12,38	152,97 11,63	147,67 11,21	146,17 11,09	150,57 11,43	158,67 12,09	177,57 13,61	245,17 19,05

Tabelle 5.

Alkohol- und Wassergewichte der Dämpfe und Rückläufe bei einem wirklich vorkommen kann, für die Erzeugung

Alkohol Gew.-Proz. des Blaseninhalts ($a + w$) $w = f a$	$\%_0 =$ $f =$	0,8 124	4 24	8 11,5	16,3 5,135	20,5 3,879
[Leistung pro Zeiteinheit] 100 ko Spirit von 94,61 Gew.-Proz.]	$a_e =$ $w_e =$	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39	94,61 5,39
Gew.-Proz. des Blasendampfes ($f d a_e = w_e + w_o$) ($w_o = f d a_e - w_e$);	$\%_0 =$ $f d =$ $w_o =$	10,5 8,524 801,05	36,5 1,739 159,13	49,4 1,024 91,49	63,9 0,565 48,04	68,1 0,468 38,88
Gew.-Proz.d.Rücklaufs i.d.Blase $a_b = \frac{w_o}{f_b - f_d} \left\{ \begin{array}{l} \text{Rücklauf in} \\ \text{die Blase} \end{array} \right.$ $w_b = f_b \cdot a_b$	$\%_0 =$ $f_b =$ $a_b =$ $w_b =$	1 99 8,85 876,15	4,8 19,833 8,79 174,33	9,24 9,828 10,39 102,11	42,7 1,346 61,49 82,80	51 0,9704 79,39 76,04
$a_d = a_b + a_e \left\{ \begin{array}{l} \text{Dämpfe in} \\ \text{der Blase} \end{array} \right.$ $w_d = w_b + w_e$	$a_d =$ $w_d =$	103,46 881,54	103,40 179,72	105 107,5	156,1 88,19	174 81,43
Wärmeverbrauch in der Blase $C_d = a_d 205 + w_d 544$	$C_d =$	500767,0	118964,7	80000	80000	80000
Wärmeverbrauch im Kondensator $C_b = C_r = a_b 205 + w_b 544$; $C_r =$	$C_b =$	478439,8	96637,47	57672,8	57672,8	57672,8
$C_e = a_e 205 + w_e 544$	$C_e =$	22327,2	22327,2	22327,2	22327,2	22327,2
Gew.-Proz. des Rücklaufs in die Kolonne $f_r = 0,0598$ $C_r = a_r 205 + w_r 544$ $a_r = \frac{C_r}{205 + 544 \cdot 0,0598}$	$\%_0 =$ $a_r =$ $w_r =$	94,35 2014,2 120,45	94,35 406,9 24,33	94,35 242,8 14,52	94,35 242,8 14,52	94,35 242,8 14,52
$a_c = a_e + a_r \left\{ \begin{array}{l} \text{Dämpfe} \\ \text{aus der} \\ \text{Kolonne} \end{array} \right.$ $w_c = w_e + w_r$	$a_c =$ $w_c =$	2108,81 125,84	501,51 29,72	337,46 19,91	337,46 19,91	337,46 19,91

$$C_r = a_r \alpha + f_r a_r \beta,$$

$$C_r = 16\,455 = a_r 205 + a_r \cdot 0,0598 \cdot 544$$

und hieraus

$$a_r = 69,2,$$

$$w_r = 0,0598 \cdot 69,2 = 4,14,$$

endlich ist:

$$a_c = a_r + a_e = 69,2 + 94,61 = 163,81,$$

$$w_c = w_r + w_e = 4,14 + 5,39 = 9,53.$$

Auf diese Weise ist die Tabelle 3 berechnet für Blasenfüllung von 0,8—85,8 pCt., für eine Leistung von 100 Kilo Spirit von 94,61 pCt. und für den Fall, daß der Blasenrücklauf nur etwa um 1 pCt. stärker als der Blaseninhalt ist, was nahezu den geringst möglichen Wärmeverbrauch ergibt.

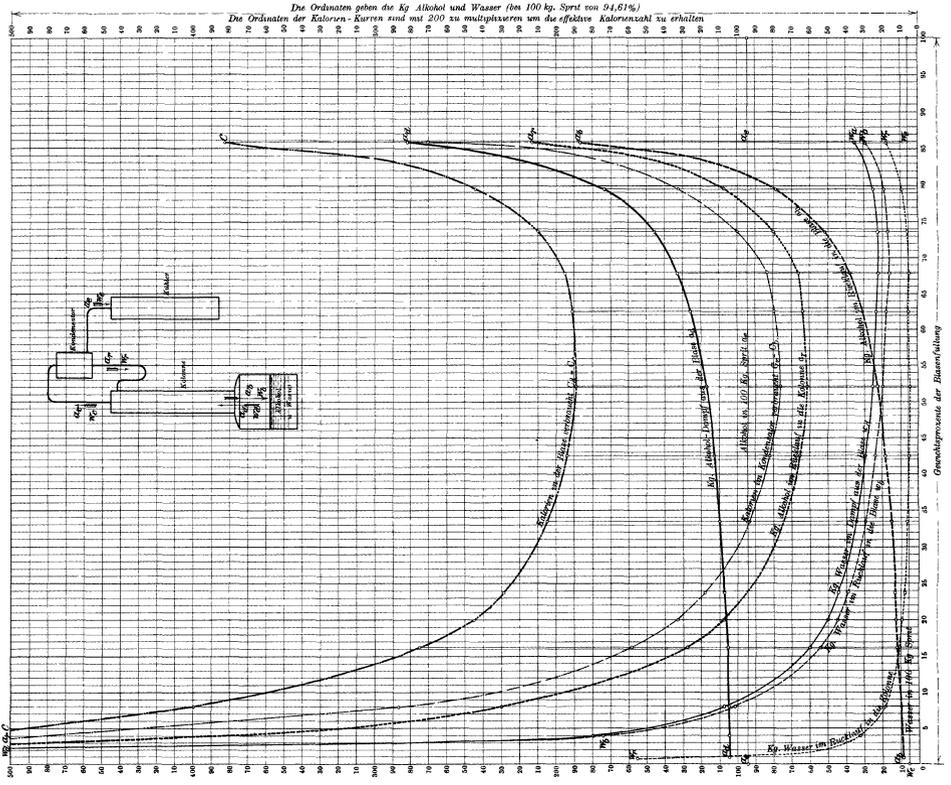
In derselben Weise ist auch die Tabelle 4 gefunden worden, nur mit dem Unterschiede, daß pro Stunde 100 Kilo Spirit von 93,17 Gew.-Proz. (bei Tabelle 3 waren es 94,61 pCt.) geleistet werden. Auch hier ist der Blasenrücklauf etwa 1 pCt. alkoholreicher als der Inhalt. Ein Vergleich der Zahlen lehrt den Unterschied im Wärmeverbrauch, wenn das Endprodukt etwas ärmer oder reicher an Alkohol ist.

Es ist schon oben besprochen worden, daß der Wärmekonsum der Apparate mit der zunehmenden Zahl der Böden abnimmt, daß es aber aus praktischen Gründen nicht wohl angeht, die Kolonnen mit so vielen Böden zu versehen, wie sie der theoretisch geringste Wärmearaufwand bedingen würde, man muß vielmehr immer auf einen größeren Wärmeverbrauch rechnen, weil der Rücklauf in die Blase in allen Fällen erheblich alkoholreicher ist als der Inhalt selbst.

So ist denn noch die Tabelle 5 aufgestellt worden, bei der ein Wärmearaufwand zu grunde gelegt ist, wie er tatsächlich vorkommt. Die Tabelle 5 gibt für Blasenfüllungen von 0,8—85,8 pCt. und bei einer stündlichen Leistung von 100 Kilo Spirit von 94,61 pCt. dieselben Größen wie die Tabellen 3 und 4.

Es muß erwähnt werden, daß die an arbeitenden Rektifizierapparaten vorgenommenen Untersuchungen über die Zusammensetzung der Dämpfe im Verhältnis zu den Alkoholwasser-Flüssigkeiten, aus denen sie entstanden, nicht immer und nicht an allen

Fig. 11.
 Alkohol- und Wasser-Gewichte der Dämpfe und Rückläufe bei dem geringsten möglichen Wärmeverbrauch,
 für Blasenfüllungen von 0,8 bis 85,8 Gew.-Proz. Siehe Tabelle 3.



Stellen eine vollkommene Übereinstimmung mit den Zahlen der Tabelle 1 (Gröning) gezeigt haben.

Die Dämpfe waren bisweilen etwas alkoholärmer als sie es nach Tabelle 1 hätten sein sollen. Dies würde zu gunsten der Tabelle 2 Blacher-Raschewsky sprechen.

Es darf aber auch nicht angenommen werden, daß von einem Boden der Kolonne zum nächst höheren nur Dampf tritt: die Wahrscheinlichkeit spricht dafür, und der Augenschein hat es deutlich gezeigt, daß eine erhebliche Menge von Tropfen, ja unter Umständen kleine Ströme von Flüssigkeiten von einem Boden zum andern aufsteigen.

Auch die vollkommene Kondensation der in die Flüssigkeit eines Bodens tauchenden Dämpfe kann bezweifelt werden; man darf vielmehr annehmen, daß ein gewisser Teil der Dämpfe unverändert durch die Flüssigkeit streicht.

Alle diese Vorgänge bewirken aber, neben dem nie vollkommen zu beseitigenden Verlust durch Abkühlung an den Kolonnenwänden, daß der Destillationsprozeß (d. h. die Trennung der Stoffe durch Verdampfung) von einem Boden zum andern nicht so große Fortschritte macht, als er es theoretisch tun müßte. Eine bestimmte Anzahl von Böden in einer Kolonne wird daher niemals die der Berechnung nach stattfindende Wirkung ausüben können, es wird immer eine größere Zahl von Böden zur Erzielung dieser Wirkung nötig sein, aber die Konstrukteure von Rektifizierapparaten werden wohl die nötigen Vorkehrungen treffen, um die oben erwähnten hindernden Einflüsse so viel als tunlich einzuschränken.

Bei der Berechnung der Tabellen 3, 4, 5, 6 ist auf die oben genannten hindernden Einflüsse nur insoweit Rücksicht genommen worden, als es die Tabelle eo ipso tut, weil dies doch nur schätzungsweise hätten eingeführt werden können. In diesem Umstande sind aber die Abweichungen begründet, welche besonders die Tabelle 6 (siehe später) gegen die Wirklichkeit zeigt.

XV. Darstellung der Zahlen der Tabellen 3 und 5 durch Diagramme.

(Fig. 11 und 12.)

Um mit einem Blick die Veränderungen zu übersehen, welche Flüssigkeit, Dämpfe und Kalorien während eines Abtriebes des Apparates erleiden, ist das Diagramm Fig. 11 gezeichnet.

Dieses bezieht sich auf den Fall des geringsten Wärme-

verbrauchs des Apparates, das ist der Fall, wenn der Rücklauf in die Blase so alkoholarm wie möglich ist. Das Diagramm ist nach den Zahlen der Tabelle 3 ausgeführt.

Als Abszissen sind die Gewichtsprozent des Alkohols der Blasenfüllung aufgetragen, und als Ordinaten sind die Kilogramme Alkohol und Wasser abgesteckt, die als Dampf aus der Blase steigen a_d und w_d , als Rücklauf in die Blase zurückkehren a_b und w_b , als Dampf in den Kühler gehen a_e und w_e und als Rücklauf in die Kolonne zurückfließen a_r und w_r .

Die Wärmemengen (Kalorien) (C_d), welche in der Blase verbraucht werden, und die, welche im Kondensator dem Dampf entzogen werden (C_r), sind gleichfalls auf den Ordinaten angegeben, doch ist wegen der Größe dieser Zahlen, deren 200ster Teil abgeschlagen, so daß man die Ordinatenzahl der Kalorien mit 200 multiplizieren muß, um die wirklichen Größen zu erhalten.

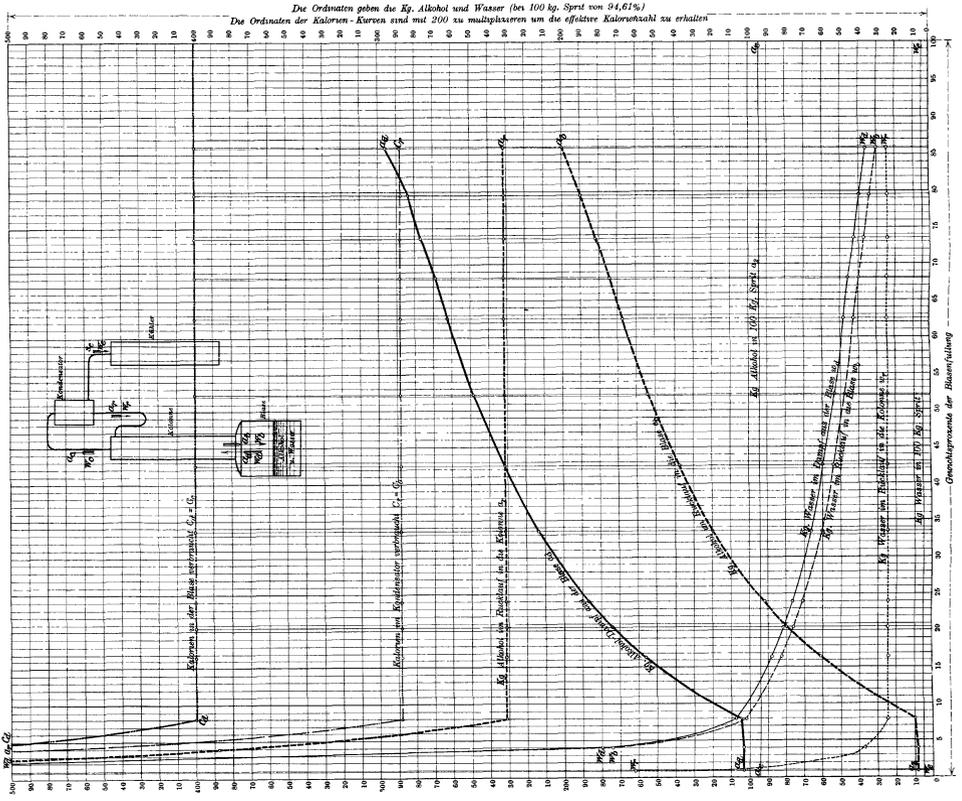
Es zeigt sich recht deutlich, daß der Dampfverbrauch des Apparates in hohem Maße abhängig ist von dem Alkohol-Prozentgehalt der Blasenfüllung und man erkennt, was auf den ersten Augenblick verwunderlich erscheint, daß es mehr Wärme kostet, um 100 Kilogramm Alkohol von 94,61 pCt. aus einer Flüssigkeit von 85,8 pCt. Alkohol zu gewinnen, als aus einer solchen von 50 pCt.

Am wenigsten Wärme verbraucht der Alkohol-Rektifizierapparat in dem Augenblick, in dem seine Blasenfüllung 52,2 pCt. hat; ist der Gehalt der Blase an Alkohol ärmer oder reicher, so wächst der Dampfkonsument erheblich. Bei sehr alkoholarmen Flüssigkeiten steigt für dieselbe Leistung in bestimmter Zeit der nötige Wärmeaufwand in so hohem Maße, daß man, wie ja auch bekannt, nur durch direktes Einblasen von Dampf die letzten Reste von Alkohol entfernen kann.

Aber auch sehr alkoholreiche Flüssigkeiten verbrauchen sehr viel Kalorien in der Blase.

Der Dampfverbrauch in der Blase wird bedingt durch die Wärmeentziehung im Kondensator und hält mit derselben gleichen Schritt; der im Kondensator zu bewirkende Niederschlag ist sehr viel größer bei alkoholarmen und alkoholreichen Blasenfüllungen als bei solchen von ca. 50 pCt. In welchem Maße die Gewichte an Alkohol und Wasser, die in der Blase verdampft werden müssen, und die, welche in die Kolonne zurückkehren, mit dem Alkoholgehalt der Blase steigen und fallen, verdeutlicht das Diagramm sehr gut.

Fig. 12.
 Alkohol- und Wasser- Gewichte der Dämpfe und Rückläufe bei konstantem Wärmeverbrauch von 80/000 Kalorien,
 für Blasenstellungen von 0,8 bis 85,8 Gew.-Proz. Siehe Tabelle 5



Der Grund für diese großen Schwankungen ist leicht zu erkennen, denn alkoholarme Flüssigkeiten bedingen, daß mit den aus ihnen aufsteigenden Alkoholdämpfen sehr viel Wasserdampf mitgeht, der zu seiner Erzeugung viel Wärme verbraucht; außerdem aber muß noch mit diesem großen Wasserdampfquantum sehr viel Alkohol mit emporsteigen, um den Rücklauf in die Blase wenigstens so alkoholreich zu machen, wie es die Blasenfüllung ist.

Dies alles vermindert sich bei zunehmenden Alkoholgehalt der Blasenfüllung; aber doch nur bis zu einem gewissen Punkte. Denn da alkoholreiche Blasenfüllungen nun nicht mehr ihnen selbst so unähnliche Dämpfe entwickeln wie die alkoholarmen, und da auch das in die Blase zurückkehrende Wasser sehr viel Alkohol mit sich bringen muß, so ereignet es sich, daß die große Menge des zu Verdampfenden in diesem Falle mehr Wärme verschlingt, als es etwas alkoholärmere Flüssigkeiten tun.

Das Diagramm Fig. 12 ist nach der Tabelle 5 gezeichnet; es stellt den Fall dar, wenn bei einem von 85,8—8 pCt. abnehmenden Alkoholgehalt der Blasenfüllung immer die gleiche Wärme (80 000 Kalorien) in die Blase geführt, und immer die gleiche Menge Wärme (57 672,8 Kalorien) im Kondensator entzogen wird, um 100 Kilo Sprit von 94,61 pCt. zu erhalten. Diese Wärmemengen reichen in der Praxis tatsächlich aus. Ist der Blaseninhalt schwächer als 8 pCt geworden, so muß man allerdings zur Erzielung der gleichen Gewichtsmenge gleichprozentigen Sprits noch erheblich mehr Wärme zuführen, und dies markiert sich in der Kalorienlinie bei 8 pCt. durch eine scharfe Ablenkung.

Die Abszissen und Ordinaten haben dieselbe Bedeutung wie in Fig. 11.

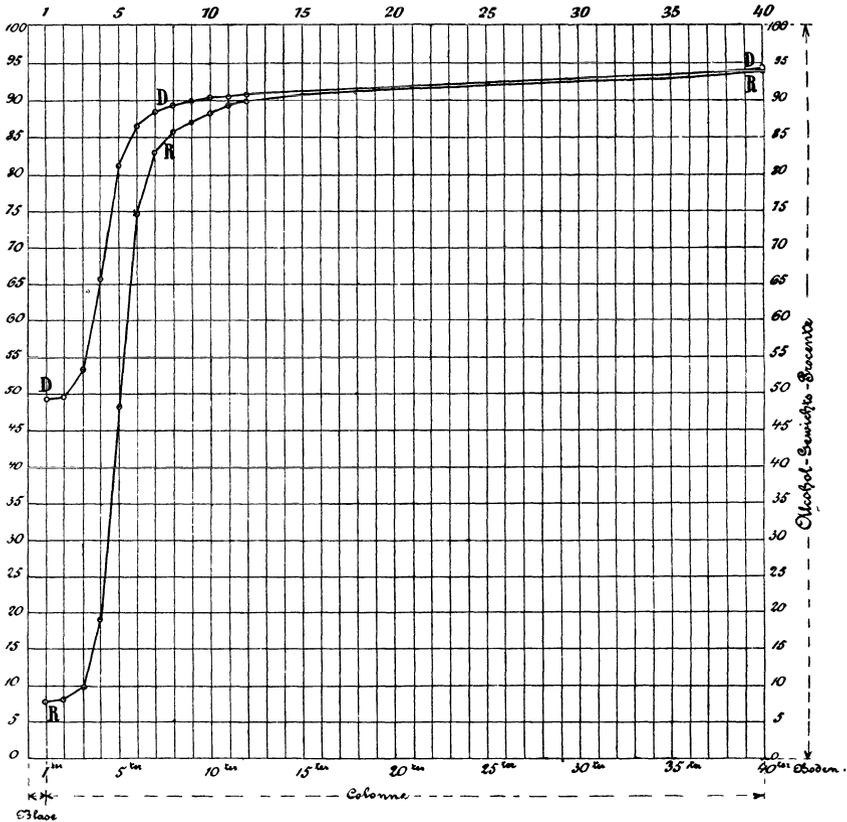
Dies Diagramm läßt deutlich erkennen, in welcher Weise bei gleichbleibendem Wärmearaufwande und bei zunehmendem Alkoholgehalt der Blase die Alkoholmengen im Dampf aus der Blase und im Rücklauf in die Blase wachsen, die Wassermengen aber abnehmen.

Solange die im Kondensator entzogene Wärme konstant bleibt, muß auch das Gewicht an Alkohol und Wasser, das im Kondensator niedergeschlagen wird, konstant bleiben (für die gleiche Menge Sprit von gleichem Prozentgehalt), daher zeigt das Diagramm für a_r und w_r gerade, horizontale Linien. In der Praxis bleibt allerdings beides vom Beginn bis zum Schluß eines Abtriebes nicht ganz konstant.

XVI. Berechnung der Gewichte und des Prozentgehaltes der Flüssigkeiten und Dämpfe auf sämtlichen Böden einer Spritkolonne. Tabelle 6. (Fig. 13.)

Nachdem im Vorhergehenden die Gewichte und Zusammensetzungen der Flüssigkeiten und Dämpfe an den beiden Enden der Rektifizierkolonne (d. h. oben und unten) für viele Fälle festgestellt sind, bleibt noch übrig, auch in der Kolonne selbst von

Figur 13.



Darstellung der Zusammensetzung der Dämpfe und Flüssigkeiten (Rückläufe) auf jedem Boden einer Alkohol-Rektifizierkolonne nach Tabelle 6.

Boden zu Boden die sich vollziehenden Änderungen zu verfolgen, was mit Hilfe der früher erörterten Formeln keine Schwierigkeiten bietet.

Aus den schon auseinandergesetzten Gründen kann nicht erwartet werden, daß die mit Hilfe unvollkommener Unterlagen gewonnenen Zahlenwerte denen der Wirklichkeit durchaus gleich seien, man muß mit möglichst großer Annäherung zufrieden sein.

Die nachstehende Tabelle 6 ist entworfen worden für eine Kolonne, die 100 Kilo Sprit von 94,61 Gew.-Proz. liefert mit einem Wärmeverbrauch von 80 000 Kalorien, während die Blasenfüllung 7,45 pCt. und der Rücklauf in dieselbe 7,84 pCt. hatte. Es stellt sich heraus, daß für diesen Fall theoretisch 40 Böden nötig sind. Für eine prozentlich höhere Blasenfüllung (bis circa 50 pCt.) könnten die entsprechenden Böden unten fehlen, und ebenso könnte für ein prozentlich alkoholärmeres Produkt die Zahl der Böden oben vermindert werden.

Die Berechnung hat auf folgende Weise stattgefunden:

100 Kilo Sprit von 94,61 pGt. haben 22 327 Kalorien Verdampfungswärme; wenn also 80 000 Kalorien in der Blase aufgewendet worden sind, so müssen 57 673 Kalorien im Kondensator entzogen worden sein und diese sind konstant bei jedem Rücklauf von einem Boden auf den andern.

1. Nach der Tabelle 1 gehört zu einem Dampf von 94,61 pCt. ($a_e = 94,61 - w_e = 5,39$) eine Flüssigkeit (Rücklauf) von 94,35 pCt.

$$a_r : w_r = 94,35 : 5,65 ,$$

$$f_r = \frac{w_r}{a_r} = \frac{5,65}{94,35} = 0,06$$

und da der Rücklauf 57 673 Kalorien entspricht, so ist nach der Gleichung (14), Seite 9:

$$C_r = a_r 205 + w_r 544 ,$$

$$57\,673 = a_r 205 + a_r 0,06 \cdot 544 ,$$

$$a_r = 243 ,$$

$$w_r = 243 \cdot 0,06 = 14,58 ;$$

der Rücklauf aus dem Kondensator in die Kolonne enthält also

243 Kilo Alkohol und

14,58 Kilo Wasser.

Der Dampf, der aus der Kolonne geht, ist gleich der Summe von Rücklauf plus Sprit.

$$a_c = a_r + a_e = 243 + 94,61 = 337,61 \text{ Kilo Alkohol,}$$

$$w_c = w_r + w_e = 14,58 + 5,39 = 19,97 \text{ Kilo Wasser,}$$

der Dampf aus der Kolonne hat also:

$$\frac{337,61}{337,61 + 19,97} = 94,4 \text{ Gew.-Prozent Alkohol.}$$

2. Zu einem Dampf von 94,4 pCt. gehört ein Rücklauf von 94 pCt., dessen Verhältnis

$$f_r = 0,0638$$

ist und so folgt aus der Gleichung (14):

$$57\,673 = a_r 205 + a_r 0,0638 \cdot 544,$$

daß die Rücklauf-Flüssigkeit vom obersten Boden auf den nächst tieferen enthalten muß:

$$a_r = 240,5 \text{ Kilo Alkohol,}$$

$$w_r = 240,5 \cdot 0,0638 = 15,34 \text{ Kilo Wasser.}$$

Der Dampf, der aus diesem zweiten Boden nach oben aufsteigt, ist gleich dem Rücklauf auf ihn von oben plus dem Spirit, das heißt:

$$a_d = 240,5 + 94,61 = 335,11 \text{ Kilo Alkohol,}$$

$$w_d = 15,34 + 5,39 = 20,73 \text{ Kilo Wasser.}$$

Dieser Dampf hat also $\frac{335,11}{335,11 + 20,73} = 94,11$ pCt.

3. Zu diesem Dampf gehört dann wieder ein Rücklauf von 93,65 pCt. etc. etc.; so von Boden zu Boden fortschreitend, kommt man endlich unten zu den Gewichten und Prozenten an Alkohol und Wasser, die sich in der Blase befinden, und man findet die Anzahl der Böden, die unter den angenommenen Umständen für die Kolonne nötig sind.

In der Tabelle 6 sind die Resultate der fortgesetzten Rechnung zusammengestellt worden, und man kann in ihr den verschiedenen Grad der Geschwindigkeit des Fortschritts der Destillation deutlich erkennen.

Um nun aber die Vorstellung über die in der Kolonne vor sich gehenden Verwandlungen noch klarer zu gestalten, als es durch die Betrachtung der Zahlen in einer Tabelle geschieht, so ist in der Fig. 13 ein Diagramm dieser Tabelle aufgezeichnet worden.

Auf der Abszissenlinie sind in gleichen Abständen von einander die Ordinaten errichtet und zwar für jeden Boden eine Ordinate, auf welcher dann die Gewichtsprocente des Rücklaufs R und des Dampfes D für diesen Boden aufgetragen wurden.

So bildet sich die untere Kurve R , welche die Gewichtsprocente des von jedem Boden herabfließenden Rücklaufs zeigt und die obere Kurve D , welche die Gewichtsprocente des von diesem Boden aufsteigenden Dampfes angibt.

Tabelle 6.

Gewichte und Prozentgehalte der Flüssigkeiten und Dämpfe auf jedem einzelnen Boden einer Sprit-Rektifizier-Kolonne, die 100 Kilo Sprit von 94,61 pCt. aus einer Blasenfüllung von 7,45 pCt. liefert, mit einem Wärmeverbrauch von 80000 Kalorien.

Nummer des Bodens	Dampf aus dem Boden aufsteigend			Rücklauf vom Boden herabfließend		
	Alkohol Kilo	Wasser Kilo	Gewichts-Prozente	Alkohol Kilo	Wasser Kilo	Gewichts-Prozente
	Sprit in den Kühler gehend			Rücklauf vom Kondensator		
	94,61	5,39	94,61	243	14,58	94,3
40	337,61	19,97	94,4	240,5	15,34	94,0
39	335,11	20,73	94,11	238,8	16,0	93,65
38	333,41	21,39	93,9	237,7	16,45	93,5
37	332,31	21,84	93,8	236,1	17,05	93,25
36	330,71	22,44	93,6	234,5	17,63	93,0
35	329,11	23,02	93,4	233,3	18,08	92,79
34	327,91	23,47	93,3	232,7	18,34	92,74
33	327,31	23,73	93,24	232,4	18,48	92,64
32	327,01	23,87	93,19	232,2	18,57	92,59
31	326,81	23,96	93,1	231,0	18,71	92,54
30	325,61	24,10	93,0	230,5	18,88	92,46
29	325,11	24,27	92,9	230,0	18,9	92,36
28	324,61	24,29	92,8	229,5	19,0	92,3
27	324,11	24,39	92,7	229,2	19,15	92,2
26	323,81	24,54	92,5	229,0	19,69	92,0
25	323,61	25,08	92,3	228,5	19,9	91,9
24	323,11	25,29	92,2	228,3	19,95	91,8
23	322,91	25,34	92,1	228,0	20,08	91,75
22	322,61	25,47	92,0	227,3	20,34	91,7
21	321,61	25,73	91,9	226,7	20,6	91,68
20	321,31	25,99	91,8	225,6	20,98	91,58
19	320,21	26,37	91,7	225,2	21,17	91,48
18	319,81	26,56	91,6	224,7	21,34	91,38
17	319,31	26,73	91,5	224,0	21,5	91,20
16	318,61	26,89	91,4	223,8	21,7	91,1
15	318,41	27,09	91,3	222,3	22,2	91,0
14	316,91	27,59	91,1	219,0	22,4	90,28
13	313,61	27,79	91,0	217,8	23,95	90,13
12	312,41	29,34	90,9	216,5	24,46	89,9
11	311,11	29,85	90,66	214,7	25,15	89,49
10	309,31	30,54	90,3	210,0	26,88	88,37
9	304,61	32,27	90,0	201,0	29,98	87,03
8	295,61	35,37	89,3	192,2	31,71	85,8
7	286,81	37,10	88,5	183,1	36,98	83,2
6	277,71	42,37	86,75	150,2	50,47	74,8
5	244,81	55,86	81,3	73,75	78,02	48,3
4	168,36	63,41	66,85	23,11	97,29	19,2
3	117,72	102,68	53,4	11,17	101,79	9,9
2	105,78	107,18	49,68	9,08	102,5	8,15
1	103,69	107,89	49,0	8,757	102,72	7,84
Dampf aus der Blase	103,367	108,11	48,87	Rücklauf in die Blase. Inhalt der Blase: 7,45 pCt.		

Man überblickt, wie auf den alleruntersten Böden eine langsame Zunahme der Gewichtsprocente des Dampfes stattfindet, wie dann in der folgenden Periode ein rapides Steigen derselben vor sich geht, das sich schon auf den mittleren wieder verlangsamt.

Auf die Gestaltung der Kurven *R* und *D* übt den Haupteinfluß die Schwankung des Verhältnisses der Dampfbzusammensetzung zur zugehörigen Flüssigkeitszusammensetzung.

Schon wenige Böden in einer Kolonne reichen aus, einen ziemlich hochprozentigen Sprit zu erzeugen, aber um sehr reine Produkte zu erhalten, muß man die Anzahl der Böden unverhältnismäßig vermehren.

XVII. Zahlenbeispiele für die verzögernde Wirkung, welche die Wärmeausstrahlung der Kolonne und kleine zwischen je zwei Böden angeordnete Kondensatoren ausüben. (Tabelle 7.)

Die Gründe für die verzögernde Wirkung jeder Wärmeentziehung der Kolonne, sei sie durch Wärmeausstrahlung, sei sie durch Anordnung vieler kleinerer Kondensatoren zwischen den Böden statt eines großen über denselben verursacht, sind früher Abschnitt VII auseinandergesetzt.

Hier ist nun in der Tabelle 7 an vier verschiedenen Alkohol-Rektifikations-Kolonnen der Einfluß dieser Wärmeentziehung durch zahlenmäßige Verfolgung der Vorgänge von Boden zu Boden verdeutlicht.

Gleich ist bei allen vier Kolonnen die stündliche Leistung von 100 Kilo Sprit von 89,2 Gew.-Proz. aus einer Blasenfüllung von circa 14,0 Gew.-Proz. mit einem Wärmeverbrauch von $24\,161 + 30\,000 = 54\,161$ Kalorien, wovon die 24 161 Kalorien dem gewonnenen Produkt (Sprit) verbleiben, die 30 000 Kalorien aber den aufsteigenden Dämpfen entzogen werden.

Verschieden bei allen vier Kolonnen ist die Art der Entziehung dieser 30 000 Kalorien.

Kolonne 1 ist gegen Wärmeausstrahlung vollkommen geschützt und hat nur einen Kondensator über sich, der 30 000 Kalorien aufnimmt.

Der Rücklauf jedes Bodens repräsentiert diese 30 000 Kalorien. Sie ist die, welche die geringste Zahl von Böden braucht, nämlich nur 6.

Kolonne 2. Ebenso wie vorher eingerichtet, aber gegen Ausstrahlung nicht geschützt, verliert sie dadurch auf jedem Boden

225 Kalorien (0,25 qm Außenfläche für jeden Boden. — 1 qm verliert in einer Stunde circa 900 Kalorien).

Die Rückflußmenge nimmt daher nach oben hin von Boden zu Boden ab, und diese Kolonne braucht schon 9 Böden.

Kolonne 3. Bei dieser Kolonne ist zwischen je zwei Böden ein Kondensator eingeschaltet, der 3000 Kalorien aufnehmen kann, und es ist die Einrichtung getroffen, daß der Rücklauf eines Bodens auf den nächst tieferen fließt, ohne den zwischenliegenden Kondensator zu berühren. Der Rücklauf aus jedem Kondensator fällt auf den zugehörigen Boden. Die Dämpfe über den Bodenflüssigkeiten diffundieren nicht mit den Dämpfen in dem zugehörigen Kondensator.

Bei dieser Konstruktion findet zwischen zwei Böden immer eine zweimalige Verstärkung der Dämpfe statt, nämlich in der Bodenflüssigkeit und im Kondensator, aber man sieht aus der Tabelle, daß hierdurch die, wegen der verminderten Menge des Rücklaufs, nach oben hin bewirkte Verzögerung der Dampfverstärkung nicht aufgehoben wird.

Diese Kolonne braucht für dieselbe Leistung 10 Böden.

Kolonne 4. Gleichfalls zwischen je 2 Böden ein Kondensator, der 3000 Kalorien entzieht; aber die Dämpfe über den Bodenflüssigkeiten und in den Kondensatoren diffundieren und haben gleichen Gehalt, die Rückläufe von Boden zu Boden gehen durch die zwischengeschalteten Kondensatoren. Diese Anordnung erfordert wegen des ganz geringen Rücklaufs oben für gleiche Leistung die meisten, nämlich 11 Böden.

Diese Beispiele lehren also, daß jede Kolonne mit Aufkochungen vor Wärmeentziehung geschützt und mit nur einem über ihr angebrachten Kondensator versehen sein soll, weil sonst entweder die Kolonne unnötigerweise hoch gemacht werden muß, oder weil die entzogene Wärme direkt verloren geht.

XVIII. Zahlenbeispiele dafür, daß bei Rektifikation ohne Aufkochungen nur durch Dephlegmation die Niederschläge in den geringstmöglichen Mengen erzeugt und abgeführt werden müssen. (Tabelle 8.)

Die kleine Tabelle 8 mag als Beispiel des im Abschnitt VI Gesagten dienen.

Wenn aus einem bekannten Dampfgemisch $a + w$ durch teilweise Kondensation ein Dampf $a_e + w_e$ entstehen soll, dessen $\frac{w_e}{a_e} = f_e$

Tabelle 7.

Berechnung der nötigen Anzahl von Böden in Alkohol-Rektifizier-Leistung von 100 Kilo Spirit von 89,2 pCt. aus 14prozent. Flüssigkeit

Übliche Konstruktion der Kolonne mit einem Dephlegmator ganz oben.
Wärmeaufnahme desselben 30000 Kalorien.

Durch Umhüllung gegen Wärmeverlust durch Ausstrahlung geschützt	Nicht umhüllt, daher Wärmeverlust durch Ausstrahlung auf jedem Boden 225 Kalorien
Kolonne I	Kolonne II
$\text{Sprit} \begin{cases} D = 89,2\% & (a_e = 89,2 \\ C_e = 24161 & (w_e = 10,8 \\ C_r = 30000 & \text{Dephlegmator} \\ R = 85,8\% & (a_r = 101,8 \\ f_r = 0,165 & (w_r = 16,8 \\ D = 87,37\% & (a_d = 191,0 \\ & (w_d = 27,6 \\ R = 78,3\% & (a_r = 84,4 \\ f_r = 0,277 & (w_r = 23,38 \\ C_r = 30000 \end{cases}$	$\text{Sprit} \begin{cases} D = 89,2\% & (a_e = 89,2 \\ C_e = 24161 & (w_e = 10,8 \\ C_r = 27975 & \text{Dephlegmator} \\ R = 85,8\% & (a_r = 94,9 \\ f_r = 0,165 & (w_r = 15,65 \\ D = 87,4\% & (a_d = 184,1 \\ & (w_d = 26,46 \\ R = 78,3\% & (a_r = 77,3 \\ f_r = 0,277 & (w_r = 21,4 \\ C_r = 28200 & \text{Verlust 225 Kal.} \end{cases}$
$\begin{cases} D = 83,5\% & (a_d = 173,6 \\ & (w_d = 34,18 \\ R = 57,8\% & (a_r = 50 \\ f_r = 0,73 & (w_r = 36,5 \\ C_r = 30000 \end{cases}$	$\begin{cases} D = 83,8\% & (a_d = 166,5 \\ & (w_d = 32,2 \\ R = 59,3\% & (a_r = 49,2 \\ f_r = 0,686 & (w_r = 33,6 \\ C_r = 28425 & \text{Verlust 225 Kal.} \end{cases}$
$\begin{cases} D = 74,6\% & (a_d = 139,2 \\ & (w_d = 47,2 \\ R = 29,9\% & (a_r = 20,2 \\ f_r = 2,344 & (w_r = 47,3 \\ C_r = 30000 \end{cases}$	$\begin{cases} D = 75,7\% & (a_d = 134,4 \\ & (w_d = 44,4 \\ R = 32\% & (a_r = 21,1 \\ f_r = 2,12 & (w_r = 44,7 \\ C_r = 28650 & \text{Verlust 225 Kal.} \end{cases}$

D bedeutet Dampf.

R „ Rücklauf.

C_e „ die Kalorien, welche der Dampf enthält.

C_r „ die Kalorien, welche der Rücklauf darstellt, d. h. welche zu seiner Erzeugung ihm entzogen sind.

Tabelle 7.

Kolonnen vier verschiedener Konstruktionen bei einer stündlichen und einem bei allen gleichen Wärmearaufwand von 54161 Kalorien.

Die Kolonne hat über sich keinen, aber dafür über jedem Boden einen Dephlegmator, der je 3000 Kalorien aufnimmt. Kein Ausstrahlungsverlust.

Der Rücklauf jedes Bodens fließt getrennt auf den tieferen Boden. Der Kondensator-Niederschlag fließt getrennt auf denselben Boden	Der Rücklauf jedes Bodens fließt durch den nächst tieferen Kondensator und mit dem Niederschlag desselben zusammen ab
Kolonne III	Kolonne IV
Sprit $\left\{ \begin{array}{l} D = 89,2\% \\ C_e = 24161 \end{array} \right. \left(\begin{array}{l} a_e = 89,2 \\ w_e = 10,8 \end{array} \right.$ Dephlegmator 3000 Kalorien $R = 85,8\% \left(a_r = 10,18 \right.$ $f_r = 0,165 \left(w_r = 1,68 \right.$ $D = 88,8\% \left(a_d = 99,38 \right.$ $R = 84,5\% \left(w_d = 12,48 \right.$ $f_r = 0,183 \left(a_r = 9,86 \right.$ $C_r = 3000 \left(w_r = 1,80 \right.$	Sprit $\left\{ \begin{array}{l} D = 89,2\% \\ C_e = 24161 \end{array} \right. \left(\begin{array}{l} a_d = 89,2 \\ w_d = 10,8 \end{array} \right.$ Dephlegmator 3000 Kalorien $R = 85,8\% \left(a_r = 10,18 \right.$ $f_r = 0,165 \left(w_r = 1,68 \right.$ $C_r = 3000$
$D = 88,7\% \left(\begin{array}{l} a_d = 99,06 \\ w_d = 12,60 \end{array} \right.$ Dephlegmator 3000 Kalorien $R = 84,1\% \left(a_r = 9,74 \right.$ $f_r = 0,189 \left(w_r = 1,84 \right.$ $D = 87,8\% \left(\begin{array}{l} a_d = 108,80 \\ w_d = 14,44 \end{array} \right.$ $R = 80,1\% \left(a_r = 18,19 \right.$ $f_r = 0,23 \left(w_r = 4,18 \right.$ $C_r = 6000$	$D = 88,8\% \left(\begin{array}{l} a_d = 99,38 \\ w_d = 12,48 \end{array} \right.$ Dephlegmator 3000 Kalorien $R = 84,5\% \left(a_r = 19,74 \right.$ $f_r = 0,183 \left(w_r = 3,61 \right.$ $C_r = 6000$
$D = 87,7\% \left(\begin{array}{l} a_d = 107,39 \\ w_d = 14,98 \end{array} \right.$ Dephlegmator 3000 Kalorien $R = 79,5\% \left(a_r = 8,69 \right.$ $f_r = 0,257 \left(w_r = 2,23 \right.$ $D = 87,2\% \left(\begin{array}{l} a_d = 116,01 \\ w_d = 17,21 \end{array} \right.$ $R = 77,1\% \left(a_r = 24,6 \right.$ $f_r = 0,297 \left(w_r = 7,3 \right.$ $C_r = 9000$	$D = 88,3\% \left(\begin{array}{l} a_d = 108,94 \\ w_d = 14,41 \end{array} \right.$ Dephlegmator 3000 Kalorien $R = 82,6\% \left(a_r = 28,1 \right.$ $f_r = 0,211 \left(w_r = 5,93 \right.$ $C_r = 9000$

Übliche Konstruktion der Kolonne mit einem Dephlegmator ganz oben,
Wärmeaufnahme desselben 30000 Kalorien.

Durch Umhüllung gegen Wärmeverlust durch Ausstrahlung geschützt	Nicht umhüllt, daher Wärmeverluste auf jedem Boden 225 Kalorien
Kolonne I	Kolonne II
$D = 65,3\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 109,4 \\ w_d = 58,1 \end{array} \right.$ $R = 17,5\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 10,85 \\ w_r = 51,1 \end{array} \right.$ $f_r = 4,717$ $C_r = 30000$	$D = 66,5\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 100,3 \\ w_d = 55,8 \end{array} \right.$ $R = 18,8\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 11,3 \\ w_r = 48,8 \end{array} \right.$ $f_r = 18,8$ $C_r = 28875$ Verlust 225 Kal.
$D = 61,7\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 100,0 \\ w_d = 61,9 \end{array} \right.$ $R = 14,6\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 8,84 \\ w_r = 51,7 \end{array} \right.$ $f_r = 5,85$ $C_r = 30000$	$D = 62,15\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 100,5 \\ w_d = 59,6 \end{array} \right.$ $R = 15,0\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 8,87 \\ w_r = 50,2 \end{array} \right.$ $f_r = 5,66$ $C_r = 29100$ Verlust 225 Kal.
$D = 61,0\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 98,04 \\ w_d = 62,5 \end{array} \right.$ $R = 14,2\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 8,6 \\ w_r = 52 \end{array} \right.$ $f_r = 6,048$ $C_r = 30000$	$D = 61,7\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 98,07 \\ w_d = 61 \end{array} \right.$ $R = 14,6\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 8,65 \\ w_r = 50,6 \end{array} \right.$ $f_r = 5,85$ $C_r = 29325$ Verlust 225 Kal.

Die Kolonne hat über sich keinen, aber dafür über jedem Boden einen Dephlegmator, der je 3000 Kalorien aufnimmt. Kein Ausstrahlungsverlust.

Kolonne III	Kolonne IV
<p>Der Rücklauf jedes Bodens fließt getrennt auf den tieferen Boden. Der Kondensator-Niederschlag fließt getrennt auf denselben Boden</p> <p>$D = 85,8\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 113,8 \\ w_d = 18,1 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 69,6\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 6,78 \\ w_r = 2,96 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 0,437$</p> <p>$D = 85,1\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 120,58 \\ w_d = 21,05 \end{array} \right.$</p> <p>$R = 66,3\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 24,9 \\ w_r = 12,7 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 0,51$</p> <p>$C_r = 12000$</p>	<p>Der Rücklauf jedes Bodens fließt durch den nächst tieferen Kondensator und mit dem Niederschlag desselben zusammen ab</p> <p>$D = 87,5\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 117,3 \\ w_d = 16,73 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 78,7\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 34,0 \\ w_r = 9,18 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 0,27$</p> <p>$C_r = 12000$</p>
<p>$D = 83\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 114,1 \\ w_d = 23,5 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 55,2\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 5,0 \\ w_r = 4,055 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 0,811$</p> <p>$D = 81,3\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 119,1 \\ w_d = 27,5 \end{array} \right.$</p> <p>$R = 48,6\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 19,24 \\ w_r = 20,20 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 1,058$</p> <p>$C_r = 15000$</p>	<p>$D = 86,1\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 123,2 \\ w_d = 19,98 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 71,3\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 35,4 \\ w_r = 14,25 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 0,4025$</p> <p>$C_r = 15000$</p>
<p>$D = 77,8\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 108,44 \\ w_d = 31,0 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 37\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 2,65 \\ w_r = 4,51 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 1,703$</p> <p>$D = 75,8\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 111,0 \\ w_d = 35,5 \end{array} \right.$</p> <p>$R = 32,2\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 13,4 \\ w_r = 28,1 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 2,098$</p> <p>$C_r = 18000$</p>	<p>$D = 83,2\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 124,6 \\ w_d = 25,08 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 56,2\%$</p> <p>$f_r = 0,779$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 28,6 \\ w_r = 22,2 \end{array} \right.$</p> <p>$C_r = 18000$</p>

Übliche Konstruktion der Kolonne mit einem Dephlegmator ganz oben.
Wärmeaufnahme desselben 30000 Kalorien.

Durch Umhüllung gegen Wärmeverlust durch Ausstrahlung geschützt	Nicht umhüllt, daher Wärmeverlust auf jedem Boden 225 Kalorien
Kolonne I	Kolonne II
$D = 60,9\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 97,8 \\ w_d = 62,8 \end{array} \right.$ $14,1\%$ Blasenfüllung $f = 6,147$	$D = 61,44\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 97,85 \\ w_d = 61,4 \end{array} \right.$ $R = 14,5\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 8,6 \\ w_r = 51,8 \end{array} \right.$ $f_r = 5,94$ $C_r = 29550$ Verlust 225 Kal.
	$D = 61,25\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 97,8 \\ w_d = 61,88 \end{array} \right.$ $R = 14,4\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 8,58 \\ w_r = 51,48 \end{array} \right.$ $f_r = 6,0$ $C_r = 29775$ Verlust 225 Kal.
	$D = 61,1\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 97,98 \\ w_d = 62,28 \end{array} \right.$ $R = 14,3\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 8,62 \\ w_r = 51,85 \end{array} \right.$ $f_r = 6,015$ $C_r = 30000$ Verlust 225 Kal.

Die Kolonne hat über sich keinen, aber dafür über jedem Boden einen Dephlegmator, der je 3000 Kalorien aufnimmt. Kein Ausstrahlungsverlust.

Kolonne III	Kolonne IV
<p>Der Rücklauf jedes Bodens fließt getrennt auf den tieferen Boden. Der Kondensator-Niederschlag fließt getrennt auf denselben Boden</p> <p>$D = 72,5\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 102,6 \\ w_d = 38,9 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 26,1\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 1,71 \\ w_r = 4,86 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 2,85$</p> <p>$D = 69,7\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 104,3 \\ w_d = 43,76 \end{array} \right.$</p> <p>$R = 22,3\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 10 \\ w_r = 34,74 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 3,474$</p> <p>$C_r = 21000$</p>	<p>Der Rücklauf jedes Bodens fließt durch den nächst tieferen Kondensator und mit dem Niederschlag desselben zusammen ab</p> <p>$D = 78,1\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 117,8 \\ w_d = 33 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 37,9\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 20 \\ w_r = 32,76 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 1,638$</p> <p>$C_r = 21000$</p>
<p>$D = 68,5\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 99,2 \\ w_d = 45,54 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 20,9\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 1,33 \\ w_r = 4,99 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 3,787$</p> <p>$D = 66,5\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 100,53 \\ w_d = 50,5 \end{array} \right.$</p> <p>$R = 18,8\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 2,40 \\ w_r = 40,5 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 4,319$</p> <p>$C_r = 24000$</p>	<p>$D = 71,8\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 109,0 \\ w_d = 42,76 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 25,1\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 13,1 \\ w_r = 39,1 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 2,985$</p> <p>$C_r = 24000$</p>
<p>$D = 65,7\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 98,6 \\ w_d = 51,3 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 17,9\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 1,11 \\ w_r = 5,04 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 4,586$</p> <p>$D = 63,8\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 99,7 \\ w_d = 56,3 \end{array} \right.$</p> <p>$R = 16,3\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 9,0 \\ w_r = 46,2 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 5,135$</p> <p>$C_r = 27000$</p>	<p>$D = 67,2\%$ $\left(\begin{array}{l} a_d = 102,4 \\ w_d = 49,9 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 19,6\%$ $\left(\begin{array}{l} a_r = 11,1 \\ w_r = 45,1 \end{array} \right.$</p> <p>$f_r = 4,102$</p> <p>$C_r = 27000$</p>

Übliche Konstruktion der Kolonne mit einem Dephlegmator ganz oben.
Wärmeaufnahme desselben 30000 Kalorien.

Durch Umhüllung gegen Wärmeverlust durch Ausstrahlung geschützt Kolonne I	Nicht umhüllt, daher Wärmeverlust auf jedem Boden 225 Kalorien Kolonne II
	$D = 60,9\% \quad \left(\begin{array}{l} a_r = 97,82 \\ w_d = 62,65 \end{array} \right.$ $f = 6,147 \quad \left. \begin{array}{l} 14,1\% \\ \end{array} \right\} \text{Blasenfüllung}$

Die Kolonne hat über sich keinen, aber dafür über jedem Boden einen Dephlegmator, der je 3000 Kalorien aufnimmt. Kein Ausstrahlungsverlust.

Kolonne III	Kolonne IV
<p>Der Rücklauf jedes Bodens fließt getrennt auf den tieferen Boden. Der Kondensator-Niederschlag fließt getrennt auf denselben Boden</p> <p>$D = 63,2\%$ $\left(\begin{array}{l} ad = 98,2 \\ wd = 57,0 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 15,7\%$ $\left(a_r = 0,96 \right.$</p> <p>$f_r = 5,374$ $\left. \left(w_r = 5,16 \right. \right.$</p> <p>$D = 61,5\%$ $\left(\begin{array}{l} ad = 99,13 \\ wd = 62,1 \end{array} \right.$</p> <p>$R = 14,5\%$ $\left(a_r = 8,9 \right.$</p> <p>$f_r = 5,817$ $\left. \left(w_r = 51,8 \right. \right.$</p> <p>$C_r = 3000$</p>	<p>Der Rücklauf jedes Bodens fließt durch den nächst tieferen Kondensator und mit dem Niederschlag desselben zusammen ab</p> <p>$D = 64,0\%$ $\left(\begin{array}{l} ad = 100,3 \\ wd = 55,9 \end{array} \right.$</p> <p>Dephlegmator 3000 Kalorien</p> <p>$R = 16,4\%$ $\left(a_r = 10,0 \right.$</p> <p>$f_r = 5,1$ $\left. \left(w_r = 51,0 \right. \right.$</p> <p>$C_r = 30000$</p>
<p>$D = 61,0\%$ $\left(\begin{array}{l} ad = 98,1 \\ wd = 62,6 \end{array} \right.$</p> <p>$14,2\%$ $\left. \right\}$ Blasenfüllung</p> <p>$f = 6,048$ $\left. \right\}$</p>	<p>$D = 61,7\%$ $\left(\begin{array}{l} ad = 99,2 \\ wd = 61,8 \end{array} \right.$</p> <p>kein Dephlegmator</p> <p>$R = 14,7\%$ $\left(a_r = 8,93 \right.$</p> <p>$f_r = 5,8$ $\left. \left(w_r = 51,79 \right. \right.$</p> <p>$C_r = 30000$</p>
	<p>$D = 61,07\%$ $\left(\begin{array}{l} ad = 99 \\ wd = 67,7 \end{array} \right.$</p> <p>$14,2\%$ $\left. \right\}$ Blasenfüllung</p> <p>$f = 6,048$ $\left. \right\}$</p>

Table 8.

Vergleich der verschiedenen Endresultate, wenn aus 100 Kilo Alkoholwasserdampf von 50 Gewichts-Prozenten einmal in 6 Stufen, einmal in 2 Stufen ein Dampf von 88 pCt. erzeugt wird.

	Dampf		Niederschlag		Dampf		Niederschlag	
	Kilo	Gew.-Proz.	Kilo	Gew.-Proz.	Kilo	Gew.-Proz.	Kilo	Gew.-Proz.
100 Kilo Alkoholwasserdampf von 50 Gew.-Proz.	100	$a = 50$ $w = 50$	—	—	—	—	—	—
1. ergeben durch teilweise Kondensation:	77,6	$a_e = 60,4$ $w_e = 30,7$	22,4	13,8	$a_r = 2,1$ $w_r = 19,3$	$a_r = 48$ $w_r = 49,546$		
2. Der Restdampf, wieder teilweise kondensiert gibt:	59,9	$a_e = 70,2$ $w_e = 17,1$	17,7	23	$a_r = 4,1$ $w_r = 13,6$	$a_r = 1,9$ $w_r = 0,44$		
3. do.	55,1	$a_e = 75$ $w_e = 13,8$	4,8	30,7	$a_r = 1,5$ $w_r = 3,3$			
4. do.	43,8	$a_e = 81,5$ $w_e = 8,1$	11,3	49,2	$a_r = 5,6$ $w_r = 5,7$			
5. do.	35,62	$a_e = 85$ $w_e = 5,3$	8,18	65,7	$a_r = 5,4$ $w_r = 2,78$			
6. do.	19,8	$a_e = 88$ $w_e = 2,4$	15,82	81,5	$a_r = 12,9$ $w_r = 2,92$			

100 Kilo Alkoholwasserdampf von 50 Gew.-Proz. ergeben also bei teilweiser Kondensation:
 in 6 Stufen 19,8 Kilo Alkoholwasserdampf von 88 pCt.
 in 2 Stufen 0,1138 Kilo Alkoholwasserdampf von 88 pCt.

Der nach einer Kondensation gebliebene Restdampf wird von der folgenden Kondensation ganz von den vorher gebildeten Niederschlägen getrennt.

$$\begin{aligned}
 a &= 50 & w &= 50 & \left. \begin{array}{l} f = 1,0 \\ f_e = \text{wird angenommen} \\ a_r = ? & w_e = ? \\ a_r = ? & w_r = ? \end{array} \right\} \text{dann ist: } f_r &= \text{bekannt} \\
 a_e &= \frac{a f_r - w}{f_r - f_e} & w_e &= \frac{a f_r - w}{f_r - f_e} \\
 w_e &= f_e a_e & a_r &= a - a_e \\
 w_r &= w - w_e
 \end{aligned}$$

bestimmt ist, so findet man die Unbekannten a_e , w_e , a_r , w_r folgendermaßen. Es ist:

$$\frac{w_e}{a_e} = f_e \quad \text{und} \quad \frac{w_r}{a_r} = f_r. \quad (27)$$

f_r ist bekannt, da f_e bekannt ist.

$$w_r = w - w_e \quad a_r = a - a_e. \quad (28)$$

$$\frac{w - w_e}{a - a_e} = f_r \quad w_e = a_e f_e. \quad (29)$$

$$w - a_e f_e = f_r (a - a_e). \quad (30)$$

$$a_e = \frac{a f_r - w}{f_r - f_e}. \quad (31)$$

a_e ist um so größer, je größer f_r ist, d. h. je alkoholärmer der Niederschlag ist, und das ist um so mehr der Fall, je geringer sein Gewicht ist. In je geringerer Menge der Dampf kondensiert und das Kondensat abgeführt wird, um so mehr und um so Hochgrädigeres bleibt übrig.

In dem durch die Tabelle 8 verdeutlichten Falle erübrigt man aus 100 Kilo Alkohol-Wasserdampf von 50 Gew.-Proz. durch zwei sehr reichliche Kondensationen nur 0,1138 Kilo Produkt von 88 pCt., während man aus demselben Gewicht an Ursprungsdampf durch sechs aufeinander folgende, viel geringere Kondensationen zuletzt 19,8 Kilo Produkt von 88 pCt. behält.

Es darf, um einen oft angetroffenen Irrtum zu berichtigen, bei dieser Gelegenheit daran erinnert werden, daß also nicht die Länge der Zeit in Betracht kommt, welche man dem Vorgange der Kondensation gewährt, sondern daß einzig und allein die Anzahl der aufeinander folgenden partiellen Kondensationen, mit sogleich nach ihrem Eintritt erfolgender Absonderung des Kondensats, für die Menge und den Gehalt des Endproduktes von Bedeutung ist.

Noch eine Überlegung mag hier Platz finden. — Ebenso wie bei der Kondensation die Abtrennung des Rücklaufs in kleinen Mengen der Verstärkung des Produktes günstig ist, ebenso ist es für die Erzeugung hochprozentigen Produktes günstig, wenn die Verdampfung aus der Masse des ursprünglichen Gemisches in recht kleinen Mengen geschieht. Da der Dampf um so hochprozentiger ist, in je geringeren Mengen er aus einer bestimmten

Flüssigkeitsmasse entwickelt wird, so ist es vorteilhaft, wenn für eine festgesetzte stündliche Leistung der Inhalt der Blase recht groß gewählt wird, weil mit ihrer Größe auch die Menge des hochprozentig gewonnenen Produktes wächst.

B. Die kontinuierlichen Destillier-Apparate.

XIX. Allgemeines.

Während man die Rektifizierapparate auf einmal mit einer bestimmten Menge eines Flüssigkeitsgemisches füllt, und dieses dann möglichst scharf und genau in seine Bestandteile zerlegen läßt, führt man in die kontinuierlichen Destillierapparate ununterbrochen eine gleichmäßige Menge der zu trennenden Mischung ein und erwartet eine ziemlich gute, nicht aber vollkommene Trennung derselben in ihre Einzelstoffe. Meistens bestehen die zu destillierenden Mischungen aus mehr als zwei Bestandteilen und dann ist eine vollkommene Scheidung aller voneinander mit den üblichen kontinuierlichen Apparaten nicht wohl zu bewirken, während, wenn diese Mischung nur aus zwei Bestandteilen zusammengesetzt ist, eine Trennung ebenso vollkommen kontinuierlich bewirkt werden kann, wie sie bei den Rektifizierapparaten periodisch geschieht.

Es handelt sich bei dem kontinuierlichen Destillierapparat um dieselben Erwägungen, die uns bei den Rektifizierkolonnen beschäftigen, jedoch unter etwas veränderten Umständen.

Die im Abschnitt III gebrachten Formeln haben auch hier Gültigkeit, aber die notwendige Berücksichtigung der Eintrittstemperaturen der zu scheidenden Mischung, und der Zwang, diese ganz und gar vom Leichtsiedenden zu befreien, beeinflussen nicht unerheblich den Gang der Überlegung.

Wie bei den Rektifizierapparaten, so sollen auch hier die tatsächlichen Verhältnisse klar gelegt, der Wärmeverbrauch festgestellt, die an verschiedenen Stellen der Apparate sich bewegenden Dämpfe und Flüssigkeiten dem Gewichte nach bestimmt und, so viel es angeht, auch durch Zahlenbeispiele verdeutlicht werden.

Man verwendet die kontinuierlichen Destillierapparate mit einigen Ausnahmen hauptsächlich zur Abtrennung des Alkohols von anderen Flüssigkeiten, besonders von Wasser, und daher mag es natürlich erscheinen, wenn im folgenden zumeist auch die Spiritus-Destillierapparate (kontinuierlichen Brennapparate) im Auge behalten sind.

Fig. 16.

Bildliche Darstellung eines kontinuierlichen Destillier-Apparates mit übereinander stehenden Kolonnen nebst Angabe der Bezeichnungen der Flüssigkeiten und Dämpfe an den verschiedenen Stellen desselben.

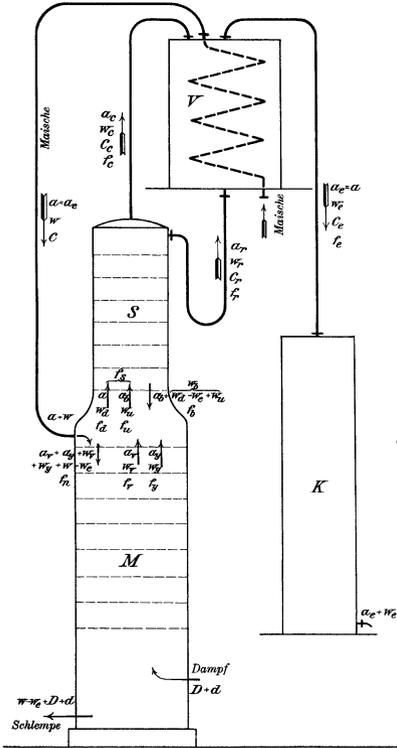
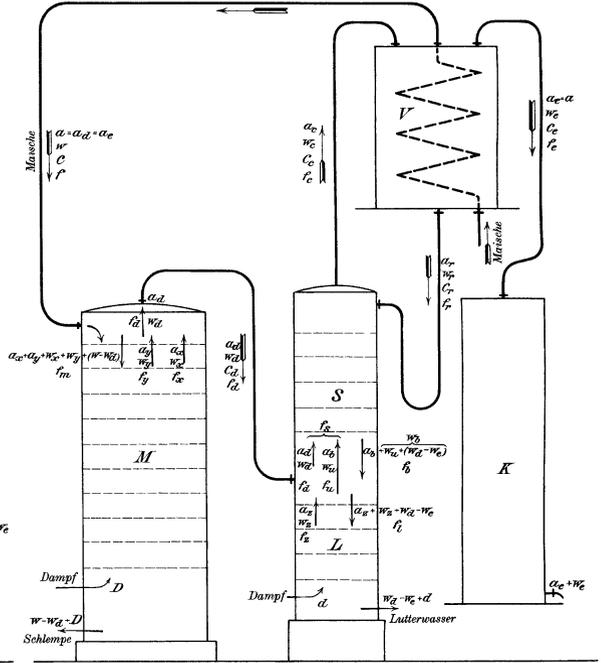


Fig. 14.

Bildliche Darstellung eines kontinuierlichen Destillier-Apparates mit nebeneinander stehenden Kolonnen nebst Angabe der Bezeichnungen der Flüssigkeiten und Dämpfe an den verschiedenen Stellen desselben.



XX. Bezeichnungen. (Fig. 14 und 16.)

Im Nachstehenden werden zumeist dieselben Bezeichnungen angewendet, die bei den Rektifizierapparaten galten: den etwas veränderten Umständen angepaßt, ist die Bedeutung einiger Buchstaben hier eine etwas andere, jedoch bezeichnen gleiche Buchstaben, wenn nicht immer Gleiches, so doch immer Entsprechendes.

Es bedeutet:

a = das Gewicht des Leicht siedenden (Alkohol),

α = seine Verdampfungswärme (205 Kalorien),

w = das Gewicht des Schwersiedenden (Wasser),

β = seine Verdampfungswärme (544 Kalorien),

C = die Verdampfungswärme des Gemisches.

Es ist:

$$C = a\alpha + w\beta$$

f = das Verhältnis des Schwersiedenden zum Leicht siedenden in einer Mischung.

Es ist:

$$\frac{w}{a} = f \qquad w = fa$$

a, w, C, f = Gewichte, Wärme-Gehalt, Verhältnisse der in den Apparat geführten Mischung (Maische),

a_e, w_e, C_e, f_e = Gewichte, Verdampfungswärme, Verhältnisse im Dampf, der in den Kühler geht,

a_r, w_r, C_r, f_r = do. do. do. im Rücklauf in die Rektifikations-(Spiritus)-Kolonne,

a_c, w_c, C_c, f_c = do. do. do. im Dampf aus der Rektifikationskolonne,

a_d, w_d, C_d, f_d = do. do. do. im Dampf, der aus der Maischkolonne geht,

a_b, w_b, C_b, f_b = do. do. do. im Rücklauf aus der Spirituskolonne in die Maischkolonne oder in die Lutterkolonne,

a_x, w_x, C_x, f_x = do. do. do. des Dampfes im zweiteiligen Apparat (Fig. 14), der dazu dient, nach geschehener Anwärmung der Maische, die nötigen Dämpfe aus derselben zu entwickeln,

a_y, w_y, C_y, f_y = Gewichte, Verdampfungswärme und Verhältnisse des Dampfes der zur Anwärmung der Maische auf deren Siedetemperatur gebraucht wird,

a_z, w_z, C_z, f_z = do. do. do. des Dampfes aus der Lutterkolonne,

$\alpha_v, w_v, C_v, f_v =$ do. do. do. des Dampfes im einteiligen Apparat (Fig. 16), der dazu dient, die nötigen Dämpfe aus der Maische zu entwickeln,

$\alpha_i, w_i =$ Gewichte der Stoffe, die sich in der Kolonne ineinander umsetzen,

$w_u =$ das Gewicht des Schwersiedenden (Wasser), welches mit a_b aufsteigt,

$f_u =$ das Verhältnis desselben zu a_b ,

$f_s =$ das Verhältnis von Wasser zu Alkohol im Dampf zwischen Spiritus- und Lutterkolonne,

$f_l =$ do. do. do. im Rücklauf vom obersten Boden der Lutterkolonne,

$f_m =$ do. do. do. im Rücklauf vom obersten Boden der Maischkolonne, im zweiteiligen Apparat (Fig. 14),

$f_n =$ do. do. do. vom obersten Boden der Maischkolonne im einteiligen Apparat (Fig. 16),

$C_m =$ gesamter Wärmeverbrauch der Maischkolonne,

$C_D =$ do. do. do. des ganzen Apparates,

$G =$ die Beziehung, in der $\frac{w}{a}$ im Dampf zu $\frac{w}{a}$ in der Ursprungsflüssigkeit steht; ist z. B. $\frac{w}{a} = f =$ dem Verhältnis der Stoffe in der Ursprungsflüssigkeit, $\frac{w_d}{a_d} = f_d =$ dem Verhältnis der Stoffe im Dampf, so ist: $\frac{w_d}{a_d} = G \cdot \frac{w}{a}$ und $f_d = G \cdot f$,

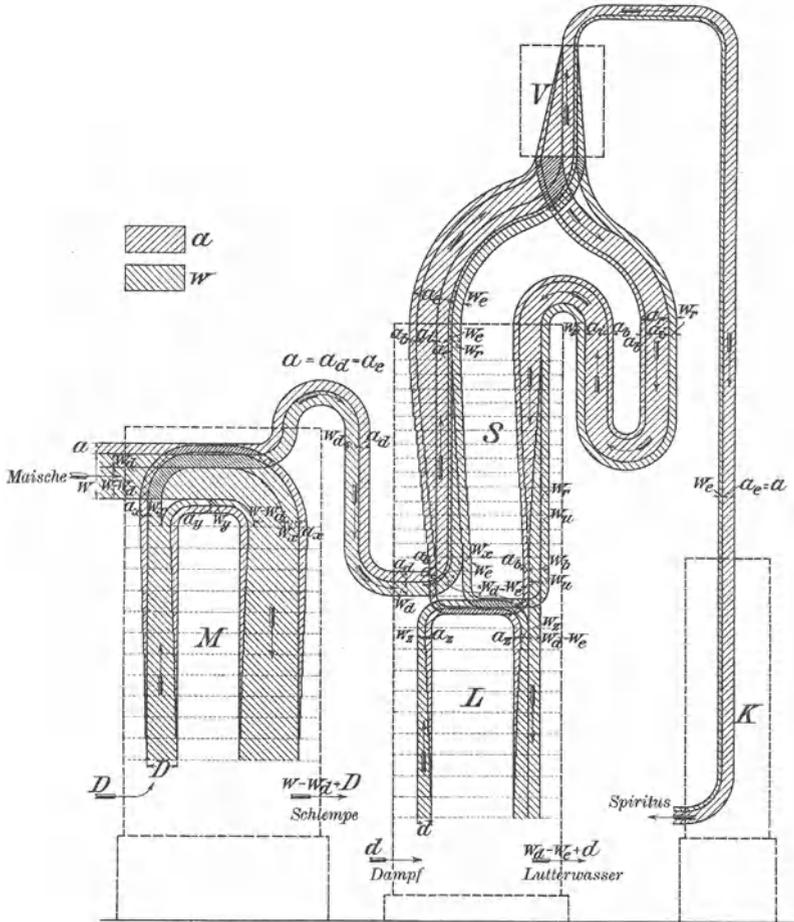
$k =$ die laufenden Nummern der Gleichungen, welche mit dem Index k bezeichnet sind, gelten nur für den Fall des kleinsten Dampfverbrauchs z. B.: (38 k).

Absehend von einer Anzahl besonderer Konstruktionen von kontinuierlichen Destillierapparaten, die hier nicht erörtert zu werden brauchen, da auch für diese mutatis mutandis die vorgetragene Methode der Betrachtung gilt, sind in den Fig. 14 und 16 die Schemata der beiden gebräuchlichsten Anordnungen der am weitesten verbreiteten Apparatkonstruktion gezeichnet, und in diese zu größerer Deutlichkeit die betreffenden Bezeichnungen eingetragen worden.

Entweder ist die Rektifikations-(Spiritus-)Kolonne (S) gleich über die Maischkolonne (M) gesetzt (Fig. 16), oder die erstere findet neben der Maischkolonne ihren Platz (Fig. 14). Im letzteren Falle muß unter der Spirituskolonne (S) noch eine besondere

Fig. 15.

Bildliche Darstellung der Dampf- und Flüssigkeitsbewegungen in einem kontinuierlichen Destillier-Apparat mit nebeneinander stehenden Kolonnen.



Lutterkolonne (L) angeordnet werden, um den Rücklauf der Spirituskolonne zu entgeisten. In beiden Fällen geht die Maische in einer Schlange durch den Vorwärmer (V), in welcher sie durch die aus der Spirituskolonne aufsteigenden Dämpfe ($a_c + c$) vorgewärmt wird und tritt dann in die Maischkolonne (M), um in dieser, nach und nach entgeistet, hinabzuzießen und sie als Schlempe, frei von Alkohol, zu verlassen. In die Maischkolonne strömt unten Heizdampf ein; die aus der Kolonne steigenden Dämpfe gelangen in die Spirituskolonne (S), werden darin verstärkt und im Vorwärmer (V) zum Teil kondensiert. Das Nichtkondensierte ($a_e + w_e$) geht in den Kühler (K) und aus diesem als Spiritus fort; das Kondensierte fließt als Rücklauf ($a_r + w_r$) in die Spirituskolonne (S) zurück. Der alkoholhaltige Rücklauf aus der Spirituskolonne ($a_b + w_b$) gelangt zur vollkommenen Entgeistung entweder in die Lutterkolonne (L) (Fig. 14), oder in die Maischkolonne (M) (Fig. 16) und wird im letzteren Falle mit der Maische zusammen abgetrieben.

XXI. Spirituskolonne neben der Maischkolonne. (Fig. 15.)

Die Fig. 15 soll, ähnlich wie die Fig. 2 für die Rektifizierapparate, die Bewegung der Stoffe in diesen Destillierapparaten verdeutlichen.

Ununterbrochen tritt die Maische $a + w$ oben in die Maischkolonne (M) ein, unten wird ununterbrochen Wasserdampf (D) eingeführt; die vom Alkohol ganz befreite Maische, aber vermehrt um das Dampfgewicht (D), wird unten als Schlempe entlassen. Oben aus der Kolonne strömt Dampf ($a_d + w_d$), enthaltend allen Alkohol, den die Maische besaß, und so wenig Wasser wie tunlich; denn es erhellt ohne weiteres: Je weniger Wasser mit dem Alkohol (a_d) mitgeht, je hochprozentiger also der Dampf ($a_d + w_d$) ist, desto weniger Wärme wird gebraucht, um die Maische zu entgeisten.

Es ist immer $a = a_d = a_e$.

Tritt die Maische mit der an dieser Stelle des Apparates herrschenden Siedetemperatur in den Apparat, so ist der ganze Wärmearaufwand zur Erzeugung des Dampfes:

$$C_d = a_d \alpha + w_d \beta,$$

aber in den meisten Fällen kommt die Maische mit einer unterhalb des Siedepunktes liegenden Temperatur in die Maischkolonne, und dann muß sie erst auf die Siedetemperatur gebracht werden.

Dies geschieht dadurch, daß sich in der Maische von dem von unten aufsteigenden Dampf so viel niederschlägt, als nötig ist, um die der Maische zum Sieden fehlende Wärmemenge zuzuführen. Diese Wärmemenge sei gleich C_y .

Von den aus dem vorletzten Boden (von oben) aufsteigenden Dämpfen dient also $a_y + w_y$ dazu, die Maische zu erwärmen und $a_x + w_x$ dient dazu, die Dämpfe $a_d + w_d$ zu bilden.

Die Dämpfe $a_x + w_x + a_y + w_y$, auf dem obersten Boden niedergeschlagen (nachdem sie ihre latente Wärme an die Maische abgegeben, teils zur Erwärmung der Maische, teils zur Verdampfung von $a_d + w_d$, fließen, zusammen mit dem Rest des aus der Maische nicht verdampften Wassers $w - w_d$ als Rücklauf in die Kolonne hinab. Von Boden zu Boden vermindert sich der Alkoholgehalt des Rücklaufs, weil er von den aufsteigenden Dämpfen aufgenommen wird, um den Kreislauf wieder zu beginnen.

Wenn das Gewicht, die Zusammensetzung, die spezifische Wärme, die ursprüngliche und die Siedetemperatur der Maische bekannt sind, so kann man die Wärmemenge berechnen, welche nötig ist, sie bis zum Sieden zu erhitzen.

Die spezifische Wärme von Flüssigkeitsmischungen läßt sich aber nicht für alle Stoffe und wahrscheinlich auch nicht für die Alkohol-Wassermischung unmittelbar aus derjenigen der einzelnen Stoffe ableiten. Die spezifische Wärme von Mischungen muß wohl experimentell gefunden werden und ist auch nicht für alle Alkohol-Wassermischungen zweifellos festgestellt. Solange diese sicheren Angaben fehlen, ist man gezwungen, sich mit Näherungswerten zu begnügen.

Die Zusammensetzung des Dampfes $a_y + w_y$ muß stets dieselbe sein, wie die des Dampfes $a_x + w_x$, da sie ja beide nur Teile der aus demselben Boden aufsteigenden Dämpfe sind.

Hat die Maische beim Eintritt Siedetemperatur, so ist keine Erwärmung derselben notwendig, C_y , a_y und w_y sind dann = 0, und die aus der Kolonne gehenden Dämpfe $a_d + w_d$ sind dann höchstens so hochprozentig, wie es die Zusammensetzung der Ursprungsflüssigkeit, d. h. der Maische, zuläßt. In diesem Falle ist:

$$a_x = a_d \quad \text{und} \quad w_x = w_d.$$

Ist aber eine Erwärmung der Maische durch Niederschlagen der Dämpfe $a_y + w_y$ nötig, so erfolgt durch den Hinzutritt der Niederschläge eine Anreicherung derselben an Alkohol, denn die

Dämpfe $a_y + w_y$, sind stets prozentlich reicher an Alkohol als die Maische selbst, und die Dämpfe, welche aus der Kolonne gehen ($a_d + w_d$), können, wenn die Maische sehr kalt in die Kolonne tritt, wenn also viel Dampf zu ihrer Erwärmung niedergeschlagen werden muß, erheblich reicher an Alkohol sein, als sie es aus der bloßen Maische wären.

Oben in der Maischkolonne finden folgende Bewegungen statt:

Es fließt auf den obersten Boden der Maischkolonne die Maische $a + w$.

Es tritt von unten auf diesen Boden der Dampf:

$$a_y + w_y + a_x + w_x .$$

Es steigt von diesem Boden auf der Dampf:

$$a_d + w_d, \text{ worin } a_d = a .$$

Es fließt von diesem Boden der Rücklauf:

$$a_y + w_y + a_x + w_x + (w - w_d) .$$

Zwischen diesen Stoffen besteht die allgemein gültige Beziehung, daß der den obersten Boden verlassende Dampf ($a_d + w_d$) so zusammengesetzt sein muß, wie es die Zusammensetzung der Ursprungsflüssigkeit (das ist hier der Rücklauf) bedingt.

$$\frac{w_d}{a_d} = G \frac{w_x + w_y + (w - w_d)}{a_x + a_y} . \quad (32)$$

G drückt die Beziehung zwischen Dampf und Ursprungsflüssigkeit aus (siehe Seite 60).

Nun ist aber:

$$C_y = a_y \alpha + w_y \beta . \quad (33)$$

und da

$$\frac{w_y}{a_y} = f_x .$$

ist, so folgt:

$$a_y = \frac{C_y}{\alpha + f_x \beta} . \quad (34)$$

und

$$w_y = \frac{C_y}{\frac{\alpha}{f_x} + \beta} . \quad (35)$$

Diese Werte in die Gleichung (32) eingesetzt, geben ihr die Gestalt:

$$f_d = \frac{w_d}{a_d} = G \frac{w_x + \frac{C_y}{\frac{\alpha}{f_x} + \beta} + (w - w_d)}{a_x + \frac{C_y}{\alpha + f_x \beta}} = G f_m. \quad (36)$$

Mit Hilfe dieser allgemein gültigen Gleichung kann man, wenn C_y (d. h. die der Maische zum Sieden fehlende Wärmemenge) bekannt ist, für jedes angenommene oder beobachtete Verhältnis von $\frac{w_d}{a_d} = f_d$ die Größen a_x , w_x , w_d etc. bestimmen. Auch kann man durch sie alles Wünschbare finden, wenn nicht $\frac{w_d}{a_d}$, wohl aber die verbrauchte Wärme C_x bekannt ist, wie in Anmerkung 1 gezeigt wird. Aber das größte Interesse für die Praxis hat doch der Fall, in welchem der Wärmeverbrauch der geringste ist, der Fall also, in welchem man mit der geringsten Menge an Heißdampf die Maische entgeisten kann. Dieser günstigste Fall

Anmerkung 1. Wenn zur Lösung der allgemeinen Gleichung 36 $\frac{w_d}{a_d} = f_d$ gegeben ist, etwa durch direkte Beobachtung, und weil $a_d = a$ (gleich dem Gehalt der Maische an Alkohol) immer bekannt ist, so folgt:

$$w_d = f_d a$$

und

$$C_d = a \alpha + w_d \beta.$$

Nun ist die Wärme zur Verdampfung von $a + w_d$ gleich derjenigen zur Verdampfung von $a_x + w_x$, nämlich $= C_x$

$$C_d = C_x = a_x \alpha + w_x \beta$$

und man erhält:

$$a_x = \frac{C_d}{\alpha + f_x \beta}$$

$$w_x = \frac{C_d}{\frac{\alpha}{f_x} + \beta};$$

ferner ist, wenn f_d bekannt ist, auch das zugehörige Verhältnis des Rücklaufs f_m bekannt, und wenn man diese Ausdrücke in die Gleichung 36 einsetzt, so lautet diese:

$$f_m = \frac{\frac{C_d + C_y}{\frac{\alpha}{f_x} + \beta} + (w - w_d)}{\frac{C_d + C_y}{\alpha + f_x \beta}}. \quad (37)$$

und aus ihr kann man f_x ausrechnen, da es die einzige Unbekannte darin ist.

tritt ein, wenn mit dem Alkohol der Maische $a (= a_d = a_e)$ die geringste Menge Wasser w_d mitgeht, wenn also der aus der Maischkolonne entweichende Dampf am hochprozentigsten ist, und offenbar findet dies statt, wenn der von unten auf den obersten Boden steigende Dampf $a_x + w_x + a_y + w_y$ ebenso hochprozentig ist wie der, welcher die Kolonne verläßt, wenn also:

$$\frac{w_d}{a_d} = f_d = \frac{w_x}{a_x} = \frac{w_y}{a_y} = \frac{w_x + w_y}{a_x + a_y} = f_x = f_y$$

wird, dann ist:

$$a_x = a_d \quad \text{und} \quad w_x = w_d.$$

Dies in die Gleichung (36) eingesetzt, gibt:

$$\frac{w_d}{a_d} = G \frac{w_d + \frac{C_y}{a} + (w - w_d) \frac{\alpha}{f_x + \beta}}{a_d + \frac{C_y}{a + f_x \beta}} \quad (38k)$$

und hieraus folgt, da die rechte Seite der Gleichung doch nur das Verhältnis von Alkohol zu Wasser im Rücklauf vom obersten Boden darstellt, welches genannt wird:

$$f_m = \left(\frac{w_d + w_y + (w - w_d)}{a_d + a_y} \right) \quad \text{und} \quad \frac{w_d}{a_d} = G \cdot f_m$$

$$f_m = \frac{w + \frac{C_y}{a} + \beta}{a + \frac{C_y}{f_d \beta}} \quad (39k)$$

Aus dieser Gleichung findet man für den ökonomisch günstigsten Fall alles Wünschenswerte, was die Maischkolonne angeht, allein man kann die Gleichung nicht ohne weiteres ausrechnen.

Das gefundene f_x liefert dann sofort a_x, w_x, a_y, w_y etc.

Ist aber nicht f_d , sondern die in der Maischkolonne (außer C_y) verbrauchte Wärme C_x gegeben, so findet man aus:

$$a \alpha + f_d a \beta = C_x = C_d$$

das Verhältnis:

$$f_d = \frac{C_d - a \alpha}{a \beta}$$

und hieraus die anderen Größen wie vorher.

Die Größen a , C_y , α , β , w sind bekannt, aber obgleich die Verhältnisse f_m und f_d einander vollständig bedingen, so ist doch der mathematische Ausdruck für diese gegenseitige Bezeichnung, wie schon öfter betont, nicht bekannt. Daher ist man gezwungen, mit Hilfe der Tabelle 1 durch einiges Probieren die Gleichung zu lösen, indem man ein beliebiges f_d einsetzt, die rechte Seite ausrechnet und dann in Tabelle 1 nachsieht, ob das Resultat mit dem zu f_d gehörigen f_m stimmt. Ist dies nicht der Fall, so muß man so lange andere f_d einsetzen, bis die ausgerechnete rechte Seite dem (aus Tabelle 1 gefundenen) zugehörigen f_m gleichkommt.

Sind die richtigen Größen für f_d und f_m gefunden, so ergeben sich die andern gewünschten Daten leicht wie folgt:

$$w_d = f_d a, \quad (40 k)$$

$$a_x = a_d, \quad (41 k)$$

$$w_x = w_d, \quad (42 k)$$

$$a_y = \frac{C_y}{\alpha + f_d \beta}, \quad (43 k)$$

$$w_y = \frac{C_y}{\alpha}, \quad (44 k)$$

$$\frac{\alpha}{f_d} = \beta$$

$$C_d = a_d \alpha + w_d \beta, \quad (45 k)$$

und der gesamte Dampfverbrauch der Maischkolonne ist

$$C_m = C_d + C_y. \quad (46 k)$$

Die kleinste Anzahl der Böden auszurechnen, mit welcher man in der Maischkolonne für den geringsten Dampfverbrauch auskommt, wird nicht gut gelingen, weil hierzu die ganz genaue Kenntnis der Eigenschaften ganz schwacher Alkohol-Wassermischungen fehlt; allein die Erfahrung, als gute Lehrmeisterin, hat hier in wünschenswerter Weise ausgeholfen.

Hat man zu wenig Böden in der Maischkolonne, so braucht man mehr Heizdampf (D) als nötig ist, erhält dann einen zu schwachen Dampf aus derselben, weil w_d zu groß wird und verbraucht auch in der Spirituskolonne unnötigerweise noch mehr Heizdampf (d) zur Verstärkung.

Nun tritt der in der Maischkolonne erzeugte Dampf: $a_d + w_d$ (oder, was dasselbe ist: $a_e + w_d$) in die Spirituskolonne ein,

(Fig. 14 und 15) um in dieser noch von einem Teil seines Wassers befreit zu werden.

Der gesamte Dampf $a_e + w_d$ steigt in der Spirituskolonne empor, aber nur ein Teil ($a_e + w_e$) desselben soll in den Kühler gehen, $w_d - w_e$ soll abgeschieden in die Lutterkolonne zurücklaufen. Aber da vom untersten Boden der Spirituskolonne nicht reines Wasser fließen kann, so muß mit dem Wasser $w_d - w_e$ zusammen eine gewisse Alkoholmenge die Spirituskolonne verlassen, diese sei $= a_b$.

Nun leuchtet ein, daß dieser Alkohol, der die Spirituskolonne unten verläßt, auch unten in diese eingetreten sein muß, und daß er dieses nicht allein kann, sondern nur mit einem gewissen Wassergewicht zusammen. Dies sei $= w_u$.

So folgt aus dieser Überlegung ohne weiteres die Zusammensetzung der Dämpfe und Flüssigkeiten, die sich in dem Raum zwischen Spiritus- und Lutterkolonne bewegen.

Es steigt in die Lutterkolonne empor der Dampf:

$$a_e + w_d + a_b + w_u.$$

Es fließt vom untersten Boden der Spirituskolonne auf den obersten Boden der Lutterkolonne:

$$a_b + w_u + (w_d - w_e).$$

Es steigt aus der Lutterkolonne auf der Dampf:

$$a_z + w_z.$$

Es fließt vom obersten Boden der Lutterkolonne hinab:

$$a_z + w_z + (w_d - w_e)$$

und es gilt zwischen diesen Größen die allgemeine Beziehung:

$$f_s = \frac{w_d + w_u}{a + a_b} = G \frac{w_z + (w_d - w_e)}{a_z} = G f_l. \quad (47)$$

Diese Gleichung folgt aus der Notwendigkeit, daß alle die Dämpfe, die in die Spirituskolonne steigen, eine solche Zusammensetzung haben müssen, wie sie ihre Ursprungsflüssigkeit (d. h. in diesem Falle diejenige, welche in die Lutterkolonne fließt) bedingt.

Der Buchstabe G deutet diese Bezeichnung, in der die Dämpfe zur Flüssigkeit stehen, an. (Siehe Seite 60.)

In der Gleichung (47) sind bekannt nur a , w_d , w_e und man bedarf, um sie zu lösen, noch fernerer Angaben. Auch sind die Umstände eines speziellen Falles durch diese wenigen Daten noch

nicht bestimmt. Man muß, wie ja an sich deutlich ist, um alle in einem Apparat vorkommenden Bewegungen zu erfahren, mehr von ihm kennen als nur die in ihn gelangende Mischung und das ihn verlassende fertige Produkt. Man muß wissen, mit welchem Aufwand an Wärme er arbeitet, oder welche speziellen Vorkommnisse seine Arbeit begleiten.

Weil die Behandlung dieser allgemeinen Fälle hier aber zu weit führen würde, so ist sie in die Anmerkung 2 verwiesen,

Anmerkung 2. Wenn in einem gegebenen Fall für einen bestimmten Apparat alle wünschbaren Größen gefunden werden sollen, so kann man die Gleichung 47 dazu benutzen, allein es muß dann dieser bestehende oder gedachte Apparat näher gekennzeichnet werden. Leider genügt zu dieser Kennzeichnung nicht die bloße Angabe der Anzahl seiner Aufkochungen; denn wenn auch in Wirklichkeit von der Anzahl der Böden Qualität und Quantität des Rücklaufs und damit die verbrauchte Wärme direkt abhängt, so besitzen wir doch noch nicht die intime Kenntnis der physikalischen Eigenschaften der zu destillierenden Stoffe, um bloß aus der Bodenzahl durch die Rechnung Rücklauf oder Dampfverbrauch sicher zu bestimmen. Solange diese Kenntnisse fehlen, muß man also durch gemachte Annahmen oder durch direkte Messungen Menge und Zusammensetzung des Rücklaufs aus der Spirituskolonne oder die verbrauchte Wärme feststellen.

Zur Bestimmung alles Rücklaufs genügt es, die Zusammensetzung des Rücklaufs vom untersten Boden der Spirituskolonne und die vom obersten Boden der Lutterkolonne, etwa durch Entnahme von Proben, zu erfahren.

Zur Bestimmung der verbrauchten Wärme kann die Messung der Menge und Temperaturzunahme des Wassers und der Maische aus dem Kondensator (Vorwärmer) dienen.

Die schönen und zuverlässigen Beobachtungen an arbeitenden Brennapparaten, welche Herr Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Delbrück veröffentlicht hat, sind meines Wissens die ersten gewesen. Später sind dann noch mehrere Versuche, besonders zur Bestimmung des Wärmeverbrauchs in der Zeitschrift für Spiritus-Industrie veröffentlicht worden. Von großem Interesse wären Untersuchungen über die Zusammensetzung von Dampf und Flüssigkeit an verschiedenen Stellen der Apparate im Betriebe.

Es wäre lehrreich und erfreulich, wenn noch öfter solche Beobachtungen gewissenhaft gemacht würden. Derartige Mitteilungen würde ich gern mit Dank in Empfang nehmen.

Ist (außer a und w_d) gegeben das Verhältnis des Rücklaufs von der Spritkolonne = f_b , und das des Rücklaufs vom obersten Boden der Lutterkolonne = f_i , so ist aus Tabelle 1 sofort dasjenige des in die Spirituskolonne gehenden Dampfes = f_s bekannt, und man hat:

$$f_s = \frac{w_d + w_u}{a + a_b}$$

und:

$$f_b = \frac{w_u + (w_d - w_v)}{a_b},$$

woraus folgt:

$$a_b = \frac{w_d + w_u - a f_s}{f_s}$$

während wir aus der Gleichung (47) den für die Praxis wichtigsten Fall ableiten wollen, in dem der Dampfverbrauch am geringsten ist.

Dann gestaltet sich die Ausrechnung sehr einfach.

Die richtige Stelle für die Einführung des Maischkolonnendampfes $a_d + w_d$ in die Spirituskolonne ist die, an welcher der in der letzteren aufsteigende Dampf dieselbe Zusammensetzung hat wie der Dampf $a_d + w_d$, denn, wird die Einführung höher

und:

$$a_b = \frac{w_u + (w_d - w_e)}{f_b}.$$

Die beiden rechten Seiten sind dann gleich und geben:

$$(w_d + w_u - a f_s) f_b = (w_u + [w_d - w_e]) f_s$$

und hieraus:

$$w_u = \frac{(w_d - w_e) f_s + (a f_s - w_d) f_b}{f_b - f_s}.$$

Das gefundene w_u liefert:

$$a_b = \frac{w_u + (w_d - w_e)}{f_b}.$$

Aus a_b und w_u berechnet sich die in der Kolonne verbrauchte Wärme:

$$C_u = C_z = a_b \alpha + w_u \beta.$$

Da nun:

$$C_z = a_z \alpha + w_z \beta$$

ist, oder:

$$a_z = \frac{C_z}{\alpha + f_z \beta}$$

und

$$w_z = \frac{C_z}{\frac{\alpha}{f_z} + \beta},$$

so kann man aus der Gleichung (47)

$$f_l = \frac{\frac{C_z}{\frac{\alpha}{f_z} + \beta} + (w_d - w_e)}{\frac{C_z}{a + f_z \beta}} \quad (48)$$

f_z berechnen, so daß hierdurch auch a_z und w_z gefunden werden.

Endlich ist:

$$C_b = C_r = C_z + C_d - C_e,$$

worin $C_e = a_e \alpha + w_e \beta$ bekannt ist, da ja a_e und w_e bekannt sind.

oder tiefer bewirkt, so ist entweder die Spiritus- oder die Lutterkolonne zu kurz.

Die geringste Dampfmenge wird verbraucht, wenn der Rücklauf vom untersten Boden der Spirituskolonne diejenige Zusammensetzung hat, die er als Ursprungsflüssigkeit des Dampfes $a_d + w_d$ haben müßte.

Aus dem Verhältnis $\frac{w_e}{a_e} = f_e$ folgt nach Tabelle 1 das Verhältnis des Rücklaufs $\frac{w_r}{a_r} = f_r$, weil dieser die Ursprungsflüssigkeit von $a_e + w_e$ ist, und so findet man:

$$a_r = \frac{C_r}{\alpha + f_r \beta}$$

$$w_r = \frac{C_r}{\frac{\alpha}{f_r} + \beta}.$$

Ist zur Kennzeichnung des Apparates außer a und w_d die im Kondensator (Vorwärmer) entzogene Wärme $C_b = C_r$ gegeben, so kann man folgendermaßen verfahren:

Es ist:

$$f_s = \frac{w_d + w_u}{a + a_b}.$$

Da a_e und w_e bekannt sind, so ist auch:

$$C_e = a_e \alpha + w_e \beta$$

bekannt.

Die im Apparat (abgesehen von der Maischerwärmung) verbrauchte Wärme ist also:

$$C_A = C_b + C_e$$

oder, was dasselbe ist:

$$C_A = (a + a_b) \alpha + f_s (a + a_b) \beta,$$

woraus:

$$a_b = \frac{C_A}{\alpha + f_s \beta} - a.$$

Sodann ist auch die in der Lutterkolonne aufgewendete Wärme bekannt C_z , denn sie ist $= C_e + C_b - C_d$ und man hat:

$$C_z = a_b \alpha + w_u \beta,$$

woraus folgt:

$$w_u = \frac{C_z - a_b \alpha}{\beta}$$

und hierin den Wert von a_b eingesetzt

$$w_u = \frac{C_z - \left(\frac{C_A}{\alpha + f_s \beta} - a \right) \alpha}{\beta}$$

Nach allem Vorhergehenden und nach dem bei den Rektifizierkolonnen Gesagten (Seite 10) ist dies ohne weiteres klar. Im ökonomisch günstigsten Falle ist also:

$$f_s = \frac{w_d + w_u}{a_e + a_b} = G \frac{w_u + (w_d - w_e)}{a_b} = G f_b. \quad (51 k)$$

Nun muß aber für diesen Fall auch

$$\frac{w_u}{a_b} = G \frac{w_u + (w_d - w_e)}{a_b} \quad (52 k)$$

sein, weil der Rücklauf nur dann die geringste Wärmemenge repräsentiert, wenn er die Zusammensetzung der Ursprungsflüssigkeit des entwickelten Dampfes hat, d. h. es muß

$$f_s = \frac{w_d + w_u}{a_d + a_b} = \frac{w_u}{a_b} = \frac{w_d}{a_d} = f_d \text{ sein.} \quad (53 k)$$

so daß sich endlich ergibt:

$$f_s = \frac{w_d + \frac{C_z - \left(\frac{C_A}{\alpha + f_s \beta} - a \right) \alpha}{\beta}}{\frac{C_A}{\alpha + f_s \beta}} \quad (49)$$

Durch probeweises Einsetzen verschiedener Werte für f_s gelangt man schließlich zu einem solchen, der die ganze rechte Seite der Gleichung $= f_s$ macht, und der ist der gesuchte.

Ist f_s gefunden, so ist auch nach der Tabelle 1 der zugehörige Wert von f_l bekannt, und wenn man in die rechte Seite der Gleichung 47 die Werte für a_z und w_z einsetzt:

$$a_z = \frac{C_z}{\alpha + f_z \beta}$$

$$w_z = \frac{C_z}{\frac{\alpha}{f_z} + \beta},$$

so stellt sie sich so dar:

$$f_l = \frac{\frac{C_z}{\frac{\alpha}{f_z} + \beta} + (w_d - w_e)}{\frac{C_z}{\alpha + f_z \beta}}, \quad (50)$$

hieraus findet man f_z , da sie die einzige Unbekannte ist, und mit deren Hilfe a_z und w_z . Mit Benutzung der obigen Gleichung bekommt man dann auch a_b und w_u . Aus dem bekannten C_r ergeben sich a_r und w_r , und so sind denn alle gesuchten Größen gefunden.

f_d ist von der Maischkolonne her bekannt und ebenso das von ihm abhängende f_b .

Und weil immer

$$f_b = \frac{w_u + (w_d - w_e)}{a_b},$$

$$a_b = \frac{w_u}{f_d}$$

ist, folgt aus diesen Gleichungen

$$w_u = \frac{f_d(w_d - w_e)}{f_b - f_d}. \quad (54)$$

Die gesamte Wärme, welche in der Lutterkolonne wenigstens aufgewendet werden muß, ist demnach

$$C_u = a_b \alpha + w_u \beta \quad (55 k)$$

und weil diese in der ganzen Kolonne konstant bleibt, ist:

$$C_u = C_z = a_z \alpha + w_z \beta = a_z(\alpha + f_z \beta) = a_b(\alpha + f_u \beta).$$

Aus dem Vorhergehenden (Seite 10) wissen wir, daß im günstigsten Falle der Rücklauf auf den und die Flüssigkeit auf dem obersten Lutterboden die gleiche Zusammensetzung haben können, dann ist:

$$\frac{w_z + (w_d - w_e)}{a_z} = \frac{w_u + (w_d - w_e)}{a_b}.$$

Dann müssen auch die Dämpfe einander gleichen:

$$\frac{w_z}{a_z} = \frac{w_u}{a_b} = f_z = f_u,$$

so daß sich ergibt:

$$a_z = a_b \quad \text{und} \quad w_z = w_u.$$

Der Rücklauf aus dem Kondensator (Vorwärmer) ist seiner Zusammensetzung nach $\frac{w_r}{a_r} = f_r$ bekannt, weil er in dem Verhältnis der Ursprungsflüssigkeit zum Spiritus $\frac{w_e}{a_e} = f_e$ steht.

Da die im Kondensator entzogene Wärme sein muß:

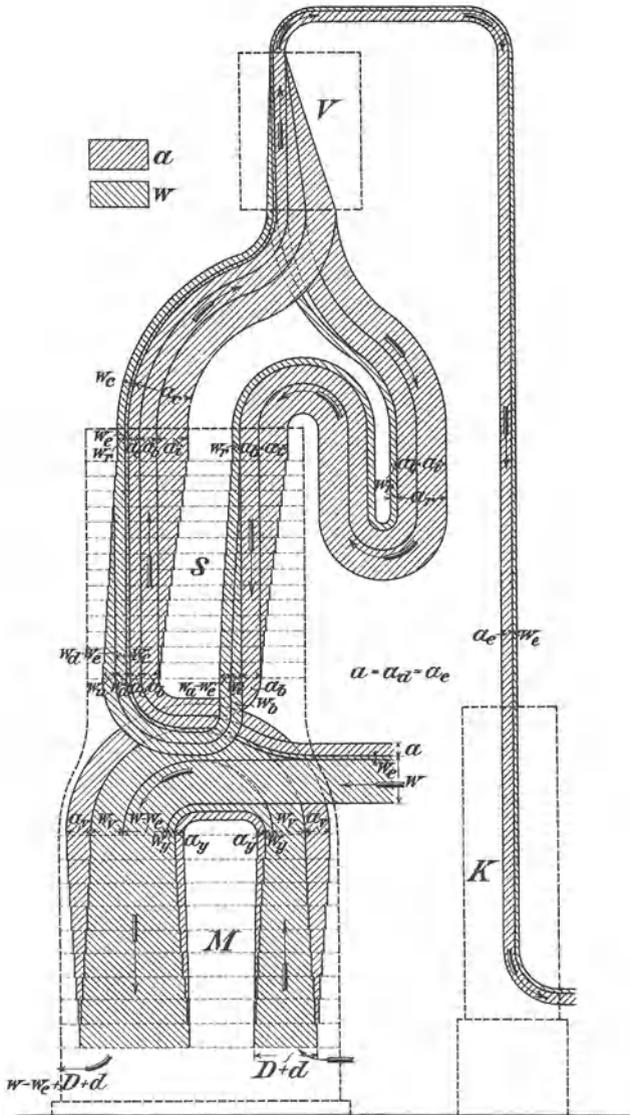
$$C_r = C_d + C_u - C_e,$$

so ist sie bekannt, und es ergeben sich:

$$a_r = \frac{C_r}{\alpha + f_r \beta},$$

Fig. 17.

Bildliche Darstellung der Dampf- und Flüssigkeitsbewegungen in einem kontinuierlichen Destillier-Apparat mit übereinander stehenden Kolonnen.



$$w_r = \frac{C_r}{\frac{\alpha}{f_r} + \beta} = f_r a_r .$$

Die gesamte im ganzen Apparat für die Destillation der Maische verbrauchte Wärme ist demnach:

$$C_D = C_d + C_y + C_u . \quad (56 k)$$

So sind denn die Gewichte von Alkohol und Wasser an den wichtigsten Stellen, im Falle des geringsten Wärmeverbrauches, sowie dieser selbst, für kontinuierliche Destillierapparate mit nebeneinander stehenden Kolonnen berechnet.

XXII. Kontinuierliche Destillier-Apparate mit der Spirituskolonne über der Maischkolonne. (Fig. 16 und 17.)

Die Vorgänge, welche sich in einem Apparat dieser Konstruktion abspielen, sind durch die Fig. 17 bildlich darzustellen versucht worden, während die Fig. 16 dazu dient, die Stellen des Apparates zu zeigen, an denen die gewählten Bezeichnungen Geltung haben sollen.

Es soll nun, wie früher für den Fall der nebeneinander stehenden Kolonnen, jetzt auch für den der übereinander gesetzten die Bestimmung der Alkohol- und Wassergewichte und Wärmemengen an bestimmten wichtigen Stellen vorgenommen werden.

Bei dieser Konstruktion gibt es nur einen Dampfengang unten in der Maischkolonne; die Maische selbst, welche im allgemeinen eine mehr oder weniger erheblich unterhalb ihres Siedepunktes liegende Eintrittstemperatur hat, gelangt auf den obersten Boden der Maischkolonne.

Die Dämpfe, die aus der Maischkolonne aufsteigen, müssen die Maische erst zum Sieden erhitzen, zu welchem Zweck ein Teil derselben $a_y + w_y$ in der Maische niedergeschlagen wird.

In die nun siedende Maische tritt ferner Dampf ($a_v + w_v$) ein, dessen prozentliche Zusammensetzung gleich derjenigen von $a_y + w_y$ ist, da beide ja von demselben Boden, aus derselben Flüssigkeit stammen.

$$\frac{w_v}{a_v} = \frac{w_y}{a_y} = f_v = f_y .$$

Auch $a_v + w_v$ wird in der Maischkolonne kondensiert, aber durch diese Kondensation werden aus der kochenden Maische

andere Dämpfe entwickelt, welche im allgemeinen eine andere prozentliche Zusammensetzung haben, als:

$$a_v + w_v + a_y + w_y.$$

Die aus der Maische tretenden Dämpfe müssen zunächst enthalten: allen Alkohol derselben: $a = a_d = a_e$, sodann soviel Wasser (w_d) als nötig ist, um ein Dampfgemisch ($a_d + w_d$) zu bilden, das über der den obersten Boden der Maischkolonne verlassenden Flüssigkeit sich befinden kann. (Tabelle 1.)

Da man nun als Endprodukt nicht eine Mischung $a_d + w_d$, sondern eine wasserärmere, nämlich $a_d + w_e$ haben will, so muß aus diesem Dampf das Wasser $w_d - w_e$ abgeschieden werden.

Das Wasser $w_d - w_e$ fließt also aus der Spirituskolonne auf den obersten Boden der Maischkolonne zurück und weil es nicht allein, sondern nur in Begleitung einer gewissen Alkoholmenge zurückfließen kann, diese Alkoholmenge ihrerseits aber, um die Spirituskolonne verlassen zu können, auch vorher in dieselbe eingetreten sein muß, so folgt, daß eine Alkoholmenge a_b mit dem Dampf $a_d + w_d$ zusammen aufsteigen muß.

Aber mit der Alkoholmenge a_b muß naturgemäß ein bestimmtes Wassergewicht w_u mitgehen, so bemessen, daß das Verhältnis $\frac{w_u}{a_b} = f_d$ ist und dieses w_u fließt mit $a_b + (w_d - w_e)$ auch zusammen aus der Spirituskolonne zurück. Es ist $f_d = f_u = f_s$.

So finden wir, daß zwischen Maischkolonne und Spirituskolonne folgende Bewegungen stattfinden:

Es tritt auf den obersten Maischkolonnenboden die Maische:

$$a + w.$$

Es steigt aus diesem obersten Boden auf der Dampf:

$$a_d + w_d + a_b + w_u.$$

Es fließt vom untersten Spirituskolonnenboden hinab:

$$a_b + w_u + (w_d - w_e).$$

Es tritt von unten auf den obersten Maischkolonnenboden der Dampf:

$$a_v + w_v + a_y + w_y.$$

Es fließt vom obersten Maischkolonnenboden hinab:

$$a_v + w_v + a_y + w_y + (w - w_e)$$

und es ergibt sich hieraus die allgemein gültige Gleichung

$$f_s = f_d = \frac{w_d + w_u}{a + a_b} = G \frac{w_v + w_y + (w - w_e)}{a_v + a_y} = G f_n, \quad (57)$$

die der Ausdruck der Notwendigkeit dafür ist, daß zwischen dem aus dem obersten Boden der Maischkolonne steigenden Dampf und der von diesem Boden hinabfließenden Flüssigkeit bezüglich ihrer Zusammensetzung die Beziehung bestehen muß, welche zwischen Dampf und Ursprungsflüssigkeit naturgesetzlich ist. (Siehe Tabelle 1.)

Der Buchstabe G drückt diese Beziehung aus.

Dieser allgemein gültigen Gleichung kann man nun dadurch, daß man einige Größen anders ausdrückt, eine geänderte Form geben.

Es ist nämlich, wie bekannt:

$$w_d = f_d a,$$

$$w_u = f_d a_b,$$

$$\frac{w_v}{a_v} = \frac{w_y}{a_y} = f_v = f_y,$$

und da der Wärmegehalt von $a_y + w_y$ bekannt ist, denn er ist gleich dem der Maische zum Sieden Fehlenden, so ist:

$$C_y = a_y \alpha + f_v a_y \beta,$$

$$a_y = \frac{C_y}{\alpha + f_v \beta},$$

$$w_y = \frac{C_y}{\frac{\alpha}{f_v} + \beta}.$$

Durch Einsetzung dieser Werte bekommt die allgemeine Gleichung (57) die Form:

$$f_s = f_d = \frac{w_d + w_u}{a + a_b} = G \frac{w_v + \frac{C_y}{\frac{\alpha}{f_v} + \beta} + (w - w_e)}{a_v + \frac{C_y}{\alpha + f_v \beta}} = G f_n. \quad (58)$$

Diese Gleichung, in welcher nur a , w , α , β , w_e , C_y bekannt sind (nämlich die Maische und der Spiritus), kann man nicht ohne

Kenntnis noch anderer Daten auflösen und wie man in allgemeinen Fällen zu verfahren hat, wird in Anmerkung 3 gesagt werden.

Anmerkung 3. Wie schon in den früheren korrespondierenden Fällen ausgedrückt wurde, gehört zur allgemeinen Bestimmung aller Größen dieser Gleichung (58) und der aus ihr folgenden noch die Kenntnis eines ferneren Datums. Die Anzahl der Aufkochungen eines Apparates und die Menge des von ihm erzeugten Rücklaufes bedingen die demselben für eine bestimmte Leistung eigentümliche Zusammensetzung des Rücklaufes und hier- von hängt der Wärmearaufwand ohne weiteres ab.

Es kann also noch gegeben sein der Rücklauf aus der Spirituskolonne nach Gewicht und Zusammensetzung oder die vom Apparat zur Verdampfung verbrauchte Wärme: C_v .

Ist z. B. gegeben das Verhältnis des Rücklaufes vom untersten Boden der Spirituskolonne f_b und das des Rücklaufes vom obersten Boden der Maischkolonne f_u , so folgt hieraus sogleich dasjenige des Dampfes vom obersten Boden der Maischkolonne $f_s = f_d$ und hieraus:

$$w_d = f_s a .$$

Aus Gleichung (54):

$$w_u = \frac{f_s (w_d - w_e)}{f_b - f_s}$$

und

$$a_b = \frac{w_u}{f_s} ,$$

so daß mit den oben genannten Angaben der Rücklauf:

$$a_b + w_u + (w_d - w_e)$$

bekannt ist.

Die verbrauchte Wärme ist:

$$C_s = C_v = (a + a_b) \alpha + (w_d + w_u) \beta$$

und

$$C_v = a_v (\alpha + f_v \beta) ,$$

woraus:

$$a_v = \frac{C_v}{\alpha + f_v \beta} ,$$

$$w_v = \frac{C_v}{\frac{\alpha}{f_v} + \beta} .$$

Dies in die rechte Seite der Gleichung (58) eingesetzt, ergibt:

$$f_u = \frac{\frac{C_v + C_y}{\frac{\alpha}{f_v} + \beta} + (w - w_e)}{\frac{C_v + C_y}{\alpha + f_v \beta}} \quad (59)$$

woraus man f_v findet, denn es ist die einzige Unbekannte, und dadurch sind a_v und w_v bestimmt.

Gewöhnlich ist der Fall wichtiger als die andern, bei dem der geringste Wärmeverbrauch stattfindet.

Die Wärme, welche der Rücklauf darstellt, ist bekanntlich:

$$C_r = C_b = C_s - C_e = C_v - C_e,$$

und weil C_e bekannt ist, denn es ergibt sich aus den bekannten Größen a_e und w_e , so ist auch C_r zu finden.

Endlich ist auch $\frac{w_r}{a_r} = f_r$ aus Tabelle 1 offenbar, denn der Rücklauf aus dem Kondensator stellt die Ursprungsflüssigkeit des Spiritus vor, daher:

$$a_r = \frac{C_r}{\alpha + f_r \beta},$$

$$w_r = \frac{C_r}{\frac{\alpha}{f_r} + \beta}.$$

Ist für einen gewissen Apparat von bestimmter Leistung außer den Daten der Maische und des Spiritus nur noch die für die Destillation verbrauchte Wärme C_v gegeben, so kann man die Gleichung (58) folgendermaßen umformen:

Aus

$$C_v = a_v \alpha + w_v \beta$$

ergibt sich

$$a_v = \frac{C_v}{\alpha + f_v \beta}$$

und

$$w_v = \frac{C_v}{\frac{\alpha}{f_v} + \beta}.$$

Sodann findet man die Wärme des Rücklaufes C_b aus

$$C_b = C_v - C_e.$$

Nun ist:

$$C_b = a_b \alpha + (w_u + w_d - w_e) \beta$$

und

$$w_u = f_d a_b \qquad f_d = f_s$$

und

$$w_d = f_d a.$$

Setzt man diese Werte ein, und macht eine kleine Umformung, so findet sich:

$$a_b = \frac{C_b - (f_d a - w_e) \beta}{\alpha + f_d \beta},$$

und

$$w_u = \frac{C_b - (f_d a - w_e) \beta}{\frac{\alpha}{f_d} + \beta}.$$

Wir wissen aus früherem, daß eine Rektifikationskolonne dann für eine bestimmte Leistung die geringste Wärmemenge erfordert, wenn der Rücklauf vom untersten Boden den geringsten Gehalt an Leicht siedendem hat, d. h. hier, wenn der Rücklauf aus der Spirituskolonne am alkoholärmsten ist. Dieser äußerste Grenzfall tritt ein, wenn dieser Rücklauf so beschaffen ist, daß er die Ursprungsflüssigkeit für den aufsteigenden Dampf darstellen könnte, d. h. also, wenn $f_d = G \cdot f_b = G \cdot f_n$ ist. Das bedeutet, daß im allergünstigsten Fall die Zusammensetzung des Rücklaufs vom obersten Boden der Maischkolonne und auf ihn gleich sind $= f_b = f_n$, und daß der Dampf, der von unten auf diesen obersten Boden steigt gleich dem ist, der aus ihm geht, d. h. es ist dann:

$$a_v = a + a_b \quad w_v = w_d + w_u \quad f_v = f_y = f_s = f_d \quad f_n = f_b$$

und die Gleichung (58) bekommt dann die Form:

$$f_d = G \frac{w_d + w_u + \frac{C_y}{\frac{\alpha}{f_d} + \beta} + (w - w_e)}{a + a_b + \frac{C_v}{\alpha f_d \beta}}. \quad (61 \text{ k})$$

Die noch unbekanntenen Größen w_d , w_u , a_b kann man nun durch bekannte umschreiben, nämlich:

$$w_d = f_d a \quad \text{und} \quad w_u = \frac{f_d(f_d a - w_e)}{f_b - f_d} \quad (\text{S. Gl. } 54 \text{ k})$$

$$a_b = \frac{f_d a - w_e}{f_b - f_d}.$$

Hieraus gestaltet sich die Gleichung (58) folgendermaßen:

$$f_s = f_d = \frac{f_d a + \frac{C_b - (f_d a - w_e) \beta}{\frac{\alpha}{f_d} + \beta}}{a + \frac{C_b - (f_d a - w_e) \beta}{\alpha + f_d \beta}} = G \frac{\frac{C_v + C_y}{\frac{\alpha}{f_v} + \beta} + (w - w_e)}{\frac{C_v + C_y}{\alpha + f_v \beta}} = G f_n. \quad 60$$

Sie ist nicht sehr bequem. Unbekannt darin sind f_d und f_v . Man setzt in die linke Seite so lange verschiedene Werte f_d ein, bis diese Seite ausgerechnet gleich dem angenommenen f_d wird. Aus Tabelle 1 findet man das zu f_d gehörige f_n der Ursprungsflüssigkeit und hieraus f_v .

Sind diese Werte festgestellt, so ergeben sich die andern Größen leicht aus den oben besprochenen Gleichungen und Beziehungen.

Auch kann man auf der linken Seite (Gleichung 61 k) f_b statt f_d setzen, indem man auf der rechten Seite den Faktor G fortfallen läßt.

So kommt man zu der Formel:

$$f_b = \frac{f_d a + \frac{f_d(f_d a - w_e)}{f_b - f_d} + \frac{C_y}{\frac{\alpha}{f_d} + \beta} + (w - w_e)}{a + \frac{f_d a - w_e}{f_b - f_d} + \frac{C_y}{\alpha + f_d \beta}} \quad (62 k)$$

Diese für die Kenntnis der Apparate mit übereinander gestellten Kolonnen wichtige Gleichung (62 k) kann man, wie auch frühere ähnliche, nicht direkt auflösen, sondern nur durch probe- weises Einsetzen eines beliebigen Wertes für f_d in die rechte Seite. Ergibt die Ausrechnung dann auf der rechten Seite einen Wert für f_b , welcher nach Tabelle 1 zu dem angenommenen f_d stimmt, so ist die Gleichung gelöst. Paßt die ausgerechnete Zahl nicht, so muß man so lange andere Werte für f_d einsetzen, bis die ausgerechnete rechte Seite den Wert für f_b ergibt, der zu dem eingesetzten gehört. (Tabelle 1.)

Sind die Verhältnisse f_d und f_b einmal richtig festgestellt, so findet sich das andere leicht, denn es ist:

$$w_d = f_d a,$$

$$w_u = \frac{f_d(w_d - w_e)}{f_b - f_d},$$

$$a_b = \frac{w_u}{f_d},$$

ferner ist:

$$C_s = (a + a_b) \alpha + (w_d + w_u) \beta,$$

und weil

$$C_e = a_e \alpha + w_e \beta$$

ist, so folgt:

$$C_r = C_s - C_e.$$

Aus dem bekannten Verhältnis von $\frac{w_e}{a_e} = f_e$ folgt die Kenntnis des Verhältnisses $f_r = \frac{w_r}{a_r}$ und hieraus

$$a_r = \frac{C_r}{\alpha + f_r \beta},$$

$$w_r = \frac{C_r}{\frac{\alpha}{f_r} + \beta}.$$

Der gesamte Wärmearaufwand des Apparates ist:

$$C_D = C_s + C_y = C_d + C_u + C_y,$$

so daß nun alle gewünschten Gewichte und Wärmemengen auch für die Destillierapparate mit übereinander stehenden Kolonnen bekannt sind.

Freilich ist die Ausrechnung der Formel (62 *k*) etwas umständlich, woran die mangelnde Kenntnis des Verhältnisses G schuld ist, aber schon eine kleine Übung genügt, bald zum Ziele zu gelangen.

Für die Rechnung sind die Formeln des zweiteiligen Apparates bequemer, weil sie kürzer sind, und daß die Resultate genau dieselben sein müssen, ob man die Formeln für den zweiteiligen oder den einteiligen Apparat anwendet, unterliegt schon darum keinem Zweifel, weil kein Grund ersichtlich ist, aus dem die Endresultate voneinander abweichen sollten. Aber auch die aufgestellten Formeln selbst lehren dies. Es genügt, auf die Formeln (36) (47) und (58) hinzuweisen; denn da bei richtigem Betriebe $f_m = f_i$ ist, und weil beim gleichen Dampfverbrauch beider Konstruktionen auch $f_n = f_m = f_i$ sein muß, so folgt, daß man von den Gleichungen (36) und (47) die Zähler und Nenner addieren kann, ohne den Bruch zu ändern. Wenn man nach der Addition $w_x + w_z = w_v$, $a_x + a_z = a_v$, $f_x = f_v$ betrachtet, so gibt diese Addition die Gleichung (58), wodurch die Identität der Umstände erwiesen ist.

$$\frac{w_x + \frac{C_y}{\frac{\alpha}{f_x} + \beta} + (w - w_d) + w_z + (w_d - w_e)}{a_x + \frac{C_y}{\alpha + f_x \beta} + a_z} = \frac{w_v + \frac{C_y}{\frac{\alpha}{f_v} + \beta} + (w - w_e)}{a_v + \frac{C_y}{\alpha + f_v \beta}}.$$

Für den Dampfverbrauch ist es also theoretisch gleichgültig, welche der beiden Konstruktionen man anwendet. Ob in der Praxis die etwas schwierigere Regulierung der beiden Dampfzugänge des zweiteiligen Apparates gegenüber dem einen des einteiligen, nicht bisweilen etwas mehr Dampf kostet, mag dahingestellt bleiben.

XXIII. Beispiele für die Benutzung der entwickelten Formeln zur Bestimmung der Gewichte und Prozente von Alkohol und Wasser an bestimmten Stellen, sowie des Wärmeverbrauchs kontinuierlicher Destillierapparate. (Tabellen 9 bis 15.)

Die oben entwickelten Formeln sind dazu angewandt worden, um die gewünschten Angaben für einige in der Praxis vorkommende Fälle zu gewinnen, und die Resultate dieser Rechnungen sind in den Tabellen 9 bis 15 niedergelegt.

Für die Berechnung sind die Formeln für die kontinuierlichen Apparate mit nebeneinander stehenden Kolonnen benutzt, weil diese sowohl etwas bequemer für die Rechnung sind, als auch, weil sie ohne Mühe einige angenehme Zwischenresultate ergeben.

Um den Pfad, auf dem man zu den Resultaten der Tabellen 9 bis 15 gekommen ist, zu kennzeichnen, soll im nachstehenden die Berechnung eines Falles aus denselben ausführlich verfolgt werden.

Beispiel. Aus 100 Kilo Maische von 8 Gew.-Proz. Alkoholgehalt soll ein Spiritus von 83,2 Gew.-Proz. (88 Maß-Proz.) erzeugt werden, wenn der Maische zum Sieden 2567 Kalorien fehlen, d. h., wenn ihre Temperatur etwa 25° unterhalb ihres Siedepunktes liegt. (Tabelle 12.)

Welche geringste Wärmemenge ist dazu nötig? Welches ist der Alkoholprozentgehalt der Flüssigkeiten und Dämpfe an den wichtigsten Stellen des Apparates und welches sind die Gewichte an Alkohol und Wasser an diesen Stellen?

Man wird im allgemeinen in jedem speziellen Fall die Temperatur kennen, mit der die Maische in die Kolonne tritt.

Diese Temperatur wird ihr zu teil durch die Vorwärmung im Kondensator (Vorwärmer); da die Dämpfe in diesem Apparatteil nie weniger als 78° und kaum mehr als 81° C. haben können, so wird die Maische im Vorwärmer selten auf mehr als 70° erwärmt werden.

Der Siedepunkt der Maische liegt zwischen 91° und 94° C. Im allgemeinen kann man also bei diesen Apparatkonstruktionen erwarten, daß die Maische in der Kolonne um $20-25^{\circ}$ erwärmt werden muß, um zu sieden. (Wenn die Maische gar nicht vorgewärmt wird, oder aber, wenn sie durch die Schlempe oder besondere Vorrichtungen vor ihrem Eintritt in die Maischkolonne zum Sieden gelangt, in diesen Fällen kann natürlich ihr Anwärmungsbedürfnis in der Kolonne ein anderes sein.)

TABELLARISCHE DARSTELLUNG

des geringsten Wärmeverbrauchs in der Maisch- und Spirituskolonne und im
Vorwärmer, des Alkohol-Prozentgehaltes der Flüssigkeiten und Dämpfe
und

deren geringste Gewichte an den wichtigen Stellen kontinuierlicher
Destillier-Apparate

berechnet für 100 Kilo Maische

von $1\frac{1}{2}$ —3—7—8—9—10—12 Gew.-Proz. Alkohol.

Tabellen 9 bis 15.

Erklärung der Buchstaben in den Tabellen 9 bis 15		Formel	
1.	Die Maische muß in der Maischkolonne erwärmt werden um Grade Celsius zirka	
2.	Hierzu sind nötig Wärmeeinheiten	$C_y =$	
3.	Gew.-Proz. des Dampfes, der aus der Maischkolonne aufsteigt %	$w + \frac{C_y}{\frac{\alpha}{fd} + \beta} \left\{ \begin{array}{l} \% = \\ fd = \end{array} \right.$	
4.	Das Verhältnis desselben $\frac{wd}{ad} = fd$		
5.	Gew.-Proz. der Flüssigkeit, welche den obersten Maisch-Kolonnenboden verläßt } %	$f_m = \frac{C_y}{a + \frac{C_y}{\alpha + fd\beta}} \left\{ \begin{array}{l} \% = \\ f_m = \end{array} \right.$	
6.	Das Verhältnis derselben		
7.	Auf dem obersten Maischboden wird kondensiert {	$\frac{C_y}{\alpha + fd\beta} = a_y =$	
8.			$fd a_y = w_y =$
9.	Mit a_d zusammen steigt aus der Maischkolonne das Wasser w_d	$fd a = w_d =$	
10.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Der gewonnene Spiritus hat 83,2 Gew.-Proz. (88 Vol.-Proz.) Der Rücklauf hat dann 56,2 Gew.-Proz. $f_e = \frac{w_e}{a_e} = 0,202$ $f_r = \frac{w_r}{a_r} = 0,779$ </div>	Zur Verstärkung steigt mit dem Dampf $a + w_d$ in die Spirituskolonne {	$\frac{fd(w_d - w_e)}{fb - fd} = w_u =$
11.			Wasser w_u Alkohol ab
12.	Latente Wärme des gewonnenen Spiritus } C_e	$a_e \alpha + w_e \beta = C_e =$	
13.	Latente Wärme des Dampfes aus der Maischkolonne } C_d	$ad \alpha + wd \beta = C_d =$	
14.	Latente Wärme des Verstärkungsdampfes } C_u	$ab \alpha + w_u \beta = C_u =$	
15.	Wärmeverbrauch des Apparates für 100 Kilo Maische } CD	$C_y + C_d + C_u = CD =$	
16.	Im Kondensator müssen entzogen werden Kalorien } C_r	$C_d + C_u - C_e = C_r =$	
17.	Rücklauf aus dem Kondensator {	$\frac{C_r}{\alpha + fr\beta} = ar =$	
18.			Alkohol ar Wasser w_r
19.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Der gewonnene Spiritus hat 94,61 Gew.-Proz. = 96,5 Vol.-Proz. Der Rücklauf hat dann 94,35 Gew.-Proz. $f_e = \frac{w_e}{a_e} = 0,057$ $f_r = \frac{w_r}{a_r} = 0,0598$ </div>	Verstärkungsdampf . . {	$\frac{fd(w_d - w_e)}{fb - fd} = w_u =$
20.			Wasser w_u Alkohol ab
21.	Latente Wärme des Spiritus . .	C_e	$a_e \alpha + w_e \beta = C_e =$
22.	Latente Wärme des Verstärkungsdampfes } C_u	$ab \alpha + w_u \beta = C_u =$	
23.	Wärmeverbrauch des Apparates .	CD	$C_y + C_d + C_u = CD =$
24.	Im Kondensator müssen entzogen werden Kalorien } C_r	$C_d + C_u - C_e = C_r =$	
25.	Rücklauf aus dem Kondensator {	$\frac{C_r}{\alpha + fr\beta} = ar =$	
26.			Alkohol ar Wasser w_r

Tabelle 9. 100 Kilo Maische von 1,5 Gew.-Proz. (1,9 Vol.-Proz.) Alkoholgehalt.
 $a = a_d = a_e = 1,5$ $w = 98,5$

	0	10	20	25	30	40	50	60	70	° Cels.
	0	1004	2008	2510	3012	4016	5020	6024	7028	Kalorien
	21,87	26,25	31	33,3	35,9	40,4	44,7	49,85	53,4	Gew.-Proz.
	3,572	2,8	2,225	2,0	1,78	1,5	1,237	1,02	0,874	
	1,5	2	2,8	3,2	3,85	5	6,4	8,25	9,9	„
	65,666	50	35	30,25	25	19,2	14,62	11,3	9,1	
	0	0,581	1,4	2,0	2,57	3,93	5,72	7,93	10,34	Kilo
	0	1,62	3,12	4,0	4,57	5,89	7,08	8,09	9	„
	5,358	4,20	3,337	3,0	2,67	2,25	1,855	1,53	1,311	„
$\tau_{0e} = 0,303$	0,291	0,231	0,203	0,19	0,181	0,165	0,143	0,121	0,109	„
	0,081	0,083	0,096	0,095	0,102	0,11	0,115	0,119	0,124	„
	471	471	471	471	471	471	471	471	471	Kalorien
	3223	2593	2123	1940	1750	1532	1327	1140	1021	„
	158	143	130	122	119	112	101	90	85	„
	3381	3740	4261	4572	4881	5660	6438	7254	8134	„
	2910	2265	1782	1591	1398	1173	947	759	635	„
	4,62	3,60	2,83	2,53	2,22	1,86	1,505	1,21	1,02	Kilo
	3,45	2,80	2,21	1,97	1,73	1,06	1,19	0,96	0,79	„
	$\tau_{0e} = 0,0855$	0,303	0,248	0,227	0,21	0,20	0,184	0,164	0,143	0,13
0,082		0,088	0,102	0,105	0,112	0,123	0,132	0,140	0,148	„
353		353	353	353	353	353	353	353	353	Kalorien
181		153	144	135	132	125	117	106	101	„
3404		3750	4275	4585	4894	5673	6454	7270	8150	„
3151		2393	1914	1723	1529	1304	1081	893	769	„
13,22		10,07	8,06	7,25	6,43	5,48	4,55	3,76	3,24	Kilo
0,79		0,60	0,48	0,43	0,38	0,33	0,27	0,22	0,19	„

Tabelle 10. 100 Kilo Maische von 3 Gew.-Proz. (3,75 Vol.-Proz.) Alkoholgehalt.
 $a = ad = ae = 3$ $w = 97$

$C_y =$	0	10	20	25	30	40	50	60	70	°Cels. Kalorien
$\%_0 =$	32,82	35,5	39	41,1	43,1	46,8	51,2	54,6	57,4	Gew.-Proz.
$fd =$	2,103	1,8	1,56	1,42	1,32	1,136	0,95	0,831	0,733	
$\%_0 =$	3,0	3,8	4,7	5,2	5,9	7,2	9	10,5	12,2	„
$fm =$	32,33	25,5	20,4	17,8	16,1	12,89	10	8,524	7,196	
$a_y =$	0	0,852	1,91	2,58	3,28	4,42	7,03	9,21	11,71	Kilo
$w_y =$	0	1,53	2,98	3,66	4,33	5,02	6,61	7,65	8,58	„
$wd =$	6,309	5,4	4,68	4,26	3,96	3,408	2,85	2,493	2,199	„
$w_u =$	0,396	0,364	0,335	0,3168	0,30	0,27	0,235	0,209	0,180	„
$ab =$	0,188	0,202	0,215	0,228	0,227	0,237	0,247	0,245	0,245	„
$C_e =$	944	954	944	944	944	944	944	944	944	Kalorien
$C_d =$	4047	3553	3161	2932	2770	2468	2165	1971	1811	„
$C_u =$	254	249	226	228	210	195	178	161	148	„
$CD =$	4301	4811	5405	5683	6007	6699	7388	8186	9022	„
$C_r =$	3357	2858	2443	2216	2036	1719	1399	1188	1015	„
$a_r =$	5,34	4,54	3,88	3,52	3,23	2,73	2,22	1,88	1,614	Kilo
$w_r =$	4,16	3,54	3,03	2,74	2,51	2,15	1,73	1,50	1,25	„
$w_u =$	0,427	0,4	0,373	0,354	0,338	0,314	0,281	0,251	0,23	Kilo
$ab =$	0,203	0,222	0,239	0,249	0,256	0,276	0,296	0,301	0,314	„
$C_e =$	708	708	708	708	708	708	708	708	708	Kalorien
$C_u =$	273	262	251	244	236	227	213	198	189	„
$CD =$	4320	4824	5430	5699	6033	6731	7423	8223	9063	„
$C_r =$	3622	3107	2704	2468	2298	1987	1670	1461	1292	„
$a_r =$	15,25	13,08	11,38	10,39	9,67	8,36	7,03	6,19	5,44	Kilo
$w_r =$	0,91	0,78	0,68	0,62	0,58	0,5	0,43	0,37	0,33	„

Tabelle II. 100 Kilo Maische von 7 Gew.-Proz. (8,71 Vol.-Proz.) Alkoholgehalt.
 $a = a_d = a_e = 7$ $w = 93$

	0	10	20	25	30	40	50	60	70	° Cels.
	0	1023	2046	2558	3069	4092	5115	6138	7161	Kalorien
	46,28	50,0	52,7	54,0	55,4	58,6	61,0	63,35	65,4	Gew.-Proz.
	1,16	1,0	0,89	0,85	0,8	0,71	0,64	0,578	0,53	
	7	8,3	9,6	10,15	10,9	12,6	14,2	15,85	17,7	„
	13,286	11,0	9,5	8,8	8,1	6,94	6,0	5,31	4,66	
	0	1,36	2,94	3,83	4,8	6,92	9,25	11,85	14,58	Kilo
	0	1,36	2,62	3,26	3,84	4,91	5,92	6,85	7,69	„
	8,12	7,0	6,23	5,95	5,6	4,97	4,48	4,046	3,689	„
$w_e = 1,414$	0,641	0,558	0,499	0,485	0,458	0,405	0,358	0,322	0,290	„
	0,553	0,558	0,56	0,57	0,573	0,57	0,559	0,557	0,547	„
	2204	2204	2204	2204	2204	2204	2204	2204	2204	Kalorien
	5852	5243	4824	4671	4481	4138	3872	3636	3441	„
	461	418	395	370	367	337	299	289	269	„
	6313	6684	7265	7599	7917	8567	9286	10063	10871	„
	4109	3457	3015	2837	2644	2271	1967	1721	1606	„
	6,53	5,49	4,79	4,51	4,20	3,61	3,13	2,73	255	Kilo
	5,09	4,28	3,73	3,51	3,27	2,81	2,44	1,93	1,79	„
	0,738	0,66	0,613	0,593	0,57	0,521	0,487	0,456	0,429	Kilo
	0,635	0,66	0,689	0,70	0,712	0,734	0,761	0,789	0,809	„
	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652	1652	Kalorien
	532	494	474	467	455	433	421	410	399	„
$w_e = 0,399$	6384	6760	7344	7696	8005	8663	9408	10184	11001	„
	4732	4085	3646	2486	3384	2919	2641	2394	2188	„
	19,92	17,2	15,35	14,72	14,25	12,29	11,12	10,08	9,21	Kilo
	1,19	1,03	0,93	0,88	0,85	0,73	0,66	0,60	0,55	„

Tabelle 12. 100 Kilo Maische von 8 Gew.-Proz. (10 Vol.-Proz.) Alkoholgehalt.
 $a = a_d = a_e = 8$ $w = 92$

	0	10	20	25	30	40	50	60	70	° Cels.
$C_y =$	0	1027	2054	2567	3081	4108	5135	6162	7189	Kalorien
$\left. \begin{matrix} \% = \\ f_d = \end{matrix} \right\}$	49,4	52,0	54,8	56,2	57,45	60,15	62,4	64,7	66,5	Gew.-Proz.
$\left. \begin{matrix} \% = \\ f_m = \end{matrix} \right\}$	1,024	0,92	0,82	0,778	0,74	0,66	0,60	0,545	0,504	
$\left. \begin{matrix} \% = \\ a_y = \end{matrix} \right\}$	8	9,3	10,6	11,3	12,05	13,7	15,4	17	18,8	„
$\left. \begin{matrix} \\ w_y = \end{matrix} \right\}$	11,5	9,87	8,45	7,849	7,3	6,31	5,6	4,85	4,319	
$\left. \begin{matrix} \\ w_d = \end{matrix} \right\}$	0	1,46	3,17	4,16	5,07	7,28	9,67	12,3	15,0	Kilo
$\left. \begin{matrix} \\ w_u = \end{matrix} \right\}$	0	1,34	2,59	3,24	3,75	4,8	5,802	6,7	7,56	„
$\left. \begin{matrix} \\ a_b = \end{matrix} \right\}$	8,192	7,36	6,56	6,224	5,92	5,28	4,8	4,36	4,032	„
$\left. \begin{matrix} \\ C_e = \end{matrix} \right\}$	$w_e = 1,616$ 0,642	0,59	0,532	0,507	0,481	0,428	0,382	0,348	0,319	„
$\left. \begin{matrix} \\ C_d = \end{matrix} \right\}$	0,627	0,641	0,649	0,652	0,65	0,65	0,637	0,639	0,633	„
$\left. \begin{matrix} \\ C_u = \end{matrix} \right\}$	2519	2519	2519	2519	2519	2519	2519	2519	2519	Kalorien
$\left. \begin{matrix} \\ C_D = \end{matrix} \right\}$	6096	5643	5209	5026	4860	4512	4251	4011	3833	„
$\left. \begin{matrix} \\ C_r = \end{matrix} \right\}$	478	452	422	409	395	366	338	320	303	„
$\left. \begin{matrix} \\ a_r = \end{matrix} \right\}$	6574	7122	7685	8002	8336	8986	9724	10493	11325	„
$\left. \begin{matrix} \\ w_r = \end{matrix} \right\}$	4055	3576	3112	2916	2736	2369	2070	1812	1617	„
$\left. \begin{matrix} \\ w_u = \end{matrix} \right\}$	6,44	5,68	4,94	3,63	4,35	3,76	3,29	2,88	2,57	Kilo
$\left. \begin{matrix} \\ a_b = \end{matrix} \right\}$	5,02	4,43	3,86	3,6	3,39	2,93	2,56	2,25	2,0	„
$\left. \begin{matrix} \\ C_e = \end{matrix} \right\}$	0,755	0,709	0,657	0,633	0,611	0,563	0,521	0,495	0,473	Kilo
$\left. \begin{matrix} \\ C_d = \end{matrix} \right\}$	0,737	0,77	0,80	0,813	0,826	0,853	0,87	0,908	0,876	„
$\left. \begin{matrix} \\ C_u = \end{matrix} \right\}$	1888	1888	1888	1888	1888	1888	1888	1888	1888	Kalorien
$\left. \begin{matrix} \\ C_D = \end{matrix} \right\}$	$w_e = 0,456$ 562	544	528	511	502	481	462	455	437	„
$\left. \begin{matrix} \\ C_r = \end{matrix} \right\}$	6658	7214	7791	8104	8443	9101	9848	10628	11459	„
$\left. \begin{matrix} \\ a_r = \end{matrix} \right\}$	4770	4299	3849	3649	3474	3105	2825	2578	2382	„
$\left. \begin{matrix} \\ w_r = \end{matrix} \right\}$	20,09	18,10	16,20	15,36	14,62	13,07	11,89	10,85	10,02	Kilo
$\left. \begin{matrix} \\ a_r = \end{matrix} \right\}$	1,2	1,08	0,97	0,92	0,87	0,78	0,71	0,65	0,60	„

Tabelle 13. 100 Kilo Maische von 9 Gew.-Proz. (11,16 Vol.-Proz.) Alkoholgehalt.
 $a = a_d = a_e = 9$ $w = 91$

	0	10	20	25	30	40	50	60	70	° Cels.
	0	1031	2062	2579	3093	4124	5155	6186	7217	Kalorien
	51,45	54,2	56,6	58,0	59,4	61,8	64,0	66,0	67,7	Gew.-Proz.
	0,943	0,845	0,76	0,723	0,68	0,62	0,563	0,516	0,476	
	9	10,3	11,55	12,4	13,2	14,8	16,4	18,3	20,0	„
	10,11	8,75	7,57	7,07	6,58	5,77	5,1	4,419	3,94	
	0	1,54	3,33	4,44	5,36	7,61	10,17	12,55	15,56	Kilo
	0	1,3	2,53	3,2	3,64	4,72	5,69	6,48	7,37	„
	8,487	7,605	6,507	6,507	6,12	5,575	5,067	4,644	4,284	„
$w_e = 1,818$	0,686	0,618	0,560	0,534	0,5	0,445	0,41	0,373	0,334	„
	0,712	0,731	0,737	0,739	0,735	0,717	0,728	0,723	0,701	„
	2834	2834	2834	2834	2834	2834	2834	2834	2834	Kalorien
	6461	5982	5566	5385	5174	4880	4601	4371	4175	„
	519	486	455	442	422	389	372	351	325	„
	6980	7499	8083	8405	8689	9393	10128	10908	11717	„
	4146	3634	3187	2993	2762	2435	2139	1888	1666	„
	6,59	5,77	5,06	4,76	4,39	3,87	3,40	3,0	2,64	Kilo
	5,14	4,49	3,94	3,71	3,42	3,02	2,65	2,337	2,06	„
	0,823	0,75	0,7	0,681	0,65	0,6	0,564	0,536	0,51	Kilo
	0,873	0,888	0,921	0,942	0,956	0,968	1,0	1,039	1,071	„
	2124	2124	2124	2124	2124	2124	2124	2124	2124	Kalorien
	664	590	569	563	549	525	512	505	497	„
$w_e = 0,513$	7125	7603	8197	8526	8816	9529	10268	11062	11889	„
	5001	4448	4011	3824	3599	3281	2989	2752	2488	„
	21,05	18,72	16,89	16,10	15,5	13,81	12,59	11,58	10,47	Kilo
	1,26	1,12	1,01	0,97	0,91	0,83	0,75	0,69	0,63	„

Tabelle 14. 100 Kilo Maische von 10 Gew.-Proz. (12,5 Vol.-Proz.) Alkoholgehalt.
 $a = a_d = a_e = 10$ $w = 90$

	0	10	20	25	30	40	50	60	70	° Cels. Kalorien Gew.-Proz.
$C_y =$	0	1036	2072	2590	3108	4144	5180	6216	7252	
$\%_0 =$	53,6	56,1	58,65	59,7	60,8	63,4	65,6	67,2	68,7	
$f_d =$	0,865	0,78	0,705	0,674	0,64	0,575	0,53	0,485	0,45	
$\%_0 =$	10	11,25	12,8	13,4	14,1	16,0	17,7	19,5	21,25	„
$f_b =$	9	7,85	6,8	6,47	6,147	5,25	4,64	4,03	3,70	
$a_y =$	0	1,65	3,54	4,55	5,58	8,05	10,57	13,34	16,15	Kilo
$w_y =$	0	1,28	2,478	3,07	3,62	4,59	5,35	6,4	7,27	„
$w_d =$	8,65	7,8	7,05	6,74	6,4	5,75	5,3	4,85	4,5	„
$w_u =$	0,705	0,64	0,571	0,549	0,523	0,465	0,425	0,383	0,345	„
$a_b =$	0,815	0,82	0,81	0,844	0,817	0,809	0,802	0,790	0,766	„
$C_e =$	3149	3149	3149	3149	3149	3149	3149	3149	3149	Kalorien
$C_d =$	6755	6293	5912	5716	5521	5178	4933	4688	4498	„
$C_u =$	550	516	477	472	452	418	395	370	344	„
$C_D =$	7305	7845	8461	8778	9081	9740	10508	11274	12094	„
$C_r =$	4156	3660	3240	3039	2824	2447	2179	1909	1693	„
$a_r =$	6,61	5,82	5,15	4,83	4,49	3,89	3,46	3,03	2,69	Kilo
$w_r =$	5,15	4,54	4,01	3,77	3,49	3,04	2,69	2,36	2,10	„
$w_u =$	0,859	0,793	0,738	0,717	0,69	0,64	0,60	0,571	0,544	Kilo
$a_b =$	0,995	1,019	1,049	1,064	1,08	1,113	1,132	1,179	1,210	„
$C_e =$	2360	2360	2360	2360	2360	2360	2360	2360	2360	Kalorien
$C_u =$	671	640	615	608	597	576	558	552	544	„
$C_D =$	7426	7969	8599	8914	9226	9898	10671	11456	12294	„
$C_r =$	5066	4569	4167	3964	3758	3394	3131	2880	2682	„
$a_r =$	21,33	19,25	17,54	16,52	15,82	14,29	13,18	12,12	11,25	Kilo
$w_r =$	1,28	1,15	1,05	0,99	0,95	0,86	0,79	0,72	0,67	„

Tabelle 15. 100 Kilo Maische von 12 Gew.-Proz. (14,82 Vol.-Proz.) Alkoholgehalt.
 $a = a_d = a_e = 12$ $w = 88$

	0	10	20	25	30	40	50	60	70	° Cels.
	0	1037	2074	2593	3111	4148	5185	6222	7259	Kalorien
	57,36	59,5	61,75	62,8	64,0	66,1	67,7	69,5	70,4	Gew.-Proz.
	0,743	0,685	0,62	0,592	0,563	0,513	0,475	0,439	0,42	
	12,0	13,4	14,9	15,7	16,6	18,35	20,05	22,1	23,25	„
	7,333	6,47	5,7	5,49	5,1	4,452	4,0	3,524	3,33	
	0	1,86	3,85	5,0	6,09	8,57	10,98	14,05	16,75	Kilo
	0	1,246	2,36	2,9	3,43	4,29	5,22	6,17	7,0	„
	8,916	8,22	7,46	7,1	6,75	6,15	5,7	5,27	5,0	„
$w_e = 2,424$	0,732	0,67	0,598	0,565	0,54	0,485	0,441	0,405	0,364	„
	0,985	0,981	0,964	0,954	0,959	0,945	0,97	0,923	0,876	„
	3778	3778	3778	3778	3778	3778	3778	3778	3778	Kalorien
	7310	6931	6518	6322	6148	5806	5561	5327	5180	„
	590	555	523	503	490	457	437	409	377	„
	7900	8523	9115	9418	9749	10411	11183	11958	12816	„
	4122	3707	3263	3047	2861	2485	2220	1958	1779	„
	6,55	5,89	5,19	4,84	4,55	3,95	3,53	3,11	2,88	Kilo
	5,1	6,60	4,04	3,78	3,54	3,08	2,75	2,42	2,21	„
$w_e = 0,684$	0,928	0,849	0,803	0,775	0,755	0,708	0,676	0,652	0,629	Kilo
	1,249	1,239	1,297	1,310	1,341	1,38	1,423	1,485	1,498	„
	2832	2832	2832	2832	2832	2832	2832	2832	2832	Kalorien
	760	715	702	690	685	668	659	659	650	„
	8070	8683	9294	9605	9844	10622	11405	12208	13089	„
	5238	4814	4388	4180	4001	3642	3388	3154	2998	„
	22,04	20,27	18,47	17,6	16,85	15,32	14,26	13,28	12,62	Kilo
	1,32	1,21	1,10	1,05	1,01	0,92	0,85	0,79	0,75	„

Leider kann man nun nicht ohne weiteres die Kalorien genau bestimmen, die nötig sind, um eine Maische um bestimmte Grade zu erwärmen, weil die Zahlen für die spezifische Wärme der Alkohol-Wasser-Mischungen, soweit mir bekannt geworden, noch etwas umstritten sind.

Aus diesem Grunde sind der Rechnung die der Maische fehlenden Kalorien zur Basis gegeben, die der Maische zum Sieden fehlenden Temperaturgrade aber nur ungefähr genannt und der Zukunft überlassen, die Frage genau zu beantworten. Durch dieses Verfahren behalten die Tabellen ihren Wert, auch dann, wenn man in denselben die Zahlen für die Temperaturgrade etwas verschieben müßte.

Die Berechnung der Tabellenzahlen ist auf folgende Weise geschehen: In die Gleichung (39 *k*) können folgende Werte eingesetzt werden:

$$a = 8 \quad w = 92 \quad C_y = 2567 \quad \alpha = 205 \quad \beta = 544$$

so daß ihr Ausdruck lautet:

$$f_m = \frac{92 + \frac{2567}{\frac{205}{f_d} + 544}}{8 + \frac{2567}{205 + f_d \cdot 254}}.$$

Nach versuchsweisem Einsetzen verschiedener Werte für f_d findet man endlich die Zahl 0,778, welche die rechte Seite der Gleichung gleich 7,849 macht und da die Tabelle 1 angibt, daß für ein Verhältnis von Wasser zu Alkohol in der Flüssigkeit $f_m = 7,849$, das entsprechende Verhältnis von Wasser zu Alkohol im Dampf $f_d = 0,778$ ist, so sind dies die richtigen Zahlen.

Gleichfalls aus der Tabelle 1 erfährt man, daß die Flüssigkeit (Rücklauf) im vorliegenden Falle 11,3 pCt. und der aus der Maischekolonne gehende Dampf 56,2 pCt. hat. Der Rücklauf vom obersten Boden der Maischekolonne ist also hochprozentiger, als es die eintretende Maische ist, und der gewonnene Dampf ist alkoholreicher als er aus der siedend eintretenden Maische entstehen könnte.

In die Gleichung (33) setzt man den nun bekannten Wert für $f_d = 0,778$.

$$2567 = a_y 205 + 0,778 a_y 544$$

und findet:

$$a_y = 4,16 \text{ Kilo}$$

$$w_y = 3,24 \text{ Kilo.}$$

Es müssen also 4,16 Kilo Alkohol und 3,24 Kilo Wasser auf dem obersten Maischkolonnenboden niedergeschlagen werden, um die 100 Kilo Maische zum Sieden zu bringen.

Ferner ist:

$$w_d = f_d a = 0,778 \cdot 8 = 6,224.$$

Mit den in der Maische enthaltenen 8 Kilo Alkohol gehen also 6,224 Kilo Wasser in Dampfform aus der Maischkolonne.

Aus Gleichung (54) ergibt sich für 83,2 pCt., da:

$$w_e = f_e a = 0,202 \cdot 8 = 1,616 \text{ Kilo},$$

$$w_u = \frac{0,778 \cdot (6,224 - 1,616)}{7,849 - 0,778} = 0,507 \text{ Kilo},$$

$$a_b = \frac{w_u}{f_d} = \frac{0,507}{0,778} = 0,652 \text{ Kilo}.$$

In der Spirituskolonnen steigen also, mit dem aus der Maischkolonnen eintretenden Dampf (8 Kilo Alkohol und 6,224 Kilo Wasser) noch auf: 0,652 Kilo Alkohol und 0,507 Kilo Wasser.

Der Spiritus enthält:

$$C_e = 8 \cdot 205 + 1,616 \cdot 544 = 2519 \text{ Kalorien}.$$

Der Dampf der Maischkolonnen hat:

$$C_d = 8 \cdot 205 + 6,224 \cdot 544 = 5026 \text{ Kalorien}.$$

Der Wärmeverbrauch in der Maischkolonnen ist:

$$C_m = C_d + C_y = 5026 + 2567 = 7593 \text{ Kalorien}.$$

In der Spirituskolonnen müssen noch hinzugefügt werden:

$$C_u = 0,652 \cdot 205 + 0,507 \cdot 544 = 409 \text{ Kalorien}$$

und der gesamte Wärmeverbrauch des Apparates beträgt

$$C_D = C_d + C_u + C_y = 8002 \text{ Kalorien}.$$

Die im Vorwärmer zu entziehenden Kalorien sind:

$$C_r = C_d + C_u - C_e = 2916 \text{ Kalorien}.$$

Weil für einen Spiritusdampf von 83,2 pCt. der Rücklauf 56,2 pCt. haben muß (nach Tabelle 1) und das dazu gehörige Verhältnis $f_r = 0,779$ ist, so folgt:

$$a_r = \frac{C_r}{\alpha + f_r \beta} = \frac{2916}{205 + 0,779 \cdot 544} = 4,63 \text{ Kilo},$$

$$w_r = f_r a_r = 0,779 \cdot 4,63 = 3,60 \text{ Kilo}.$$

Der Rücklauf aus dem Vorwärmer besteht also aus 4,63 Kilo Alkohol und 3,60 Kilo Wasser.

So sind nun alle gesuchten Größen gefunden.

Die mit C_D bezeichneten, als gesamter Wärmeverbrauch des Apparates angegebenen Zahlen sind noch zu niedrig, denn es sind noch drei Wärmebedürfnisse des Apparates zu befriedigen, nämlich:

1. Für die Erwärmung der Schlempe vom Siedepunkt der Maische bis zu der Temperatur ihres Austrittes. Diese letztere ist ungefähr 102 Grad Celsius. Es sind dazu nötig ungefähr 1000 Kalorien für 100 Kilo Maische. Ganz genau läßt sich diese Zahl erst angeben, wenn die spezifische Wärme der Maische resp. Schlempe bekannt ist.

2. Für die Ausstrahlung. Daß die durch die Ausstrahlung fortgehende Wärme ein wirklicher Verlust ist, ist schon früher ausgesprochen worden. Seine Größe hängt von der Oberfläche des Apparates ab. Die Wärmeabgabe der Apparate ist pro 1 qm Oberfläche und pro 1 Stunde auf circa 1000 Kalorien zu veranschlagen. Apparate mit großer stündlicher Leistung werden pro 100 Kilo Maische einen kleineren Wärmeverlust haben als Apparate mit kleiner stündlicher Leistung, weil die Oberflächen der letzteren verhältnismäßig größer sind. Der Wärmeverbrauch durch Ausstrahlung, auf 100 Kilo Maische bezogen, ist bei Apparaten für 1000 Kilo Maische pro Stunde circa 1300 Kalorien, bei Apparaten für 10 000 Kilo Maische pro Stunde circa 450 Kalorien. Ein gewöhnlicher, kontinuierlicher, unbekleideter Destillierapparat, der pro Stunde 1000 Liter Maische von 8 pCt. zu Spiritus von 83,2 pCt. verarbeitet, würde nach allem Vorhergehenden, wenn die Maische im Vorwärmer auf circa 67 Grad Celsius vorgewärmt wird, wenigstens 10 302 Kalorien für 1000 Kilo Maische brauchen.

3. Es ist angenommen worden, daß die Spirituskolonne auf die denkbar sparsamste Weise arbeite, indem sie einen Rücklauf in die Maischkolonne oder in die Lutterkolonne liefere, dessen Zusammensetzung der auf dem obersten Boden dieser Kolonne kochenden Flüssigkeit gleich sei. Dies wirklich zu erreichen ist nicht möglich, weil dazu sehr hohe Spirituskolonnen gehören würden. In der Praxis fließt aus der Spirituskolonne immer ein reicherer Rücklauf zurück und daher braucht sie auch mehr Wärme. Auf 100 Kilo Maische etwa 1500 bis 3000 Kalorien mehr.

Die hier zu 1 bis 3 genannten Zuschläge müssen für jeden speziellen Fall dem in den Tabellen 9 bis 15 angeführten Gesamtverbrauch C_D noch hinzugefügt werden.

Der in den Tabellen angegebene Wärmeverbrauch der Destillierapparate, zu dem, um den gesamten Aufwand zu erhalten, immer noch die hier zuletzt genannten Kalorien hinzugefügt werden müssen, ist der geringst mögliche, und es ist natürlich, daß im großen Betriebe der Dampfverbrauch stets, selbst bei als gut angesehenen Apparaten, etwas größer als hier angegeben ist. Gewisse, hier nicht berücksichtigte Verluste durch Leckungen, durch Kondensation in den Zuführungsrohren, durch unvorsichtige oder zu vorsichtige Bedienung, welche, um die Schlempe alkoholfrei zu haben, der Sicherheit wegen etwas mehr Dampf gibt als nötig, tragen zur Vergrößerung des Dampfverbrauches bei; indessen hat die Beobachtung gelehrt, daß bei guten Apparaten die Maischkolonne nicht erheblich mehr als ihr ausgerechnetes Heizdampfquantum zu empfangen braucht, und daß sie einen Dampf entläßt und einen Rücklauf aufweisen kann, welcher mit dem in den Tabellen angegebenen bis auf sehr wenige Prozente übereinstimmt.

Wenn die aus der Maischkolonne strömenden Dämpfe weniger Prozente an Alkohol enthalten, als sie es nach Maßgabe des Alkoholprozentgehaltes der Maische und deren Eintrittstemperatur könnten, so ist zu ihrer Erzeugung mehr Wärme aufgewendet worden als nötig war; denn es wurde mit dem Alkohol der Maische mehr Wasser verdampft als erforderlich. Außerdem wird zur Verstärkung schwächerer Dämpfe in der Spirituskolonne etwas mehr Wärme gebraucht als zur Verstärkung an sich alkoholreicherer.

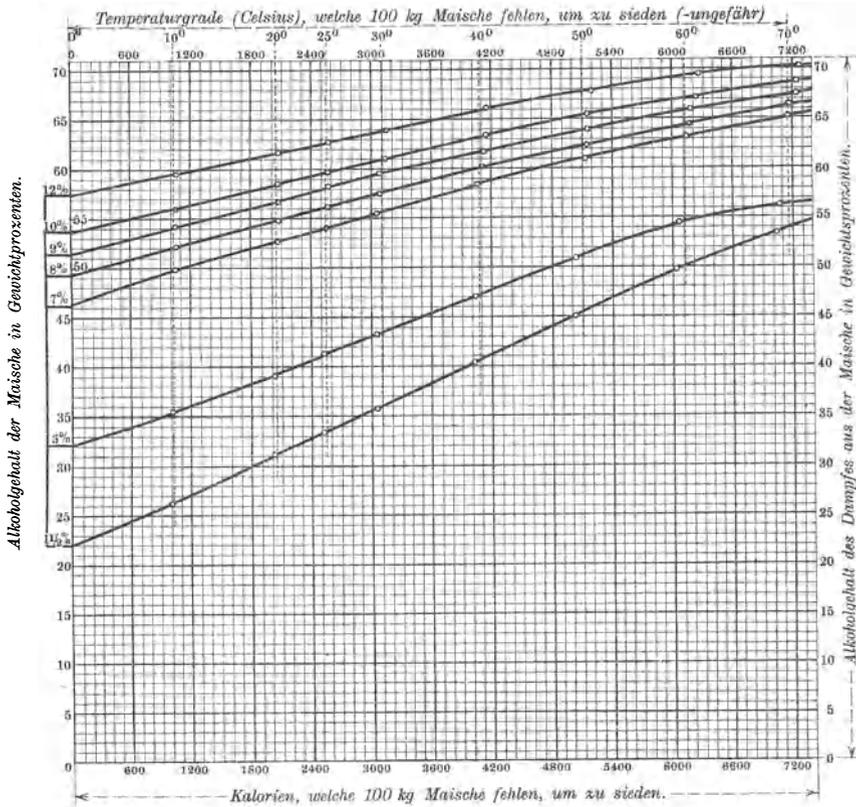
Kommt noch hinzu, daß bei Apparaten mit nebeneinander gestellten Kolonnen die Dampfzuführung in der Lutterkolonne etwas zu reichlich bemessen wird, so findet der in der Praxis festgestellte Dampfverbrauch, welcher stets etwas größer als hier der kleinste gefunden wurde, seine volle Erklärung.

Im wirklichen Betriebe kann nie weniger Wärme aufgewendet werden, als das berechnete nötige Minimum, weil dies Verluste mit sich bringt. Es ist unwahrscheinlich, daß das genau richtige Quantum zugeführt wird, und daher ist ein etwas größerer Aufwand die Regel, ja fast Bedingung.

Es wäre ökonomisch zweckmäßig, die Apparate mit Vorwärmung im Kondensator derart zu konstruieren, daß im Kondensator dem Dampf gerade soviel Wärme entzogen wird, als

Fig. 18.

Alkohol-Gewichts-Prozente des Dampfes, der sich aus Maischen von 1½–3–7–8–9–10–12 Gew.-Proz. entwickelt, wenn deren Temperatur beim Eintritt in den Apparat 0–20–25–30–40–50–60–70° C. niedriger ist, als ihre Siedetemperatur.



die Maische zur Erwärmung auf ihre bei dieser Konstruktion höchste Temperatur (circa 80 Grad Celsius) bedarf. Der Kühlwasserverbrauch im Vorwärmer würde dann ganz aufhören; aber nicht in allen Fällen ist dies erreichbar. Um die Maische bis zum Sieden vorzuwärmen, ist der Vorwärmdampf stets zu kalt. Die heiße Schlempe könnte hier gut das Fehlende ersetzen und die Vorwärmung durch dieselbe ist zur Erzielung sparsamsten Betriebes sehr geeignet, vorausgesetzt, daß die Wärme der Schlempe nicht auf andere Weise nützliche Verwendung findet.

Die Maische aber durch besonderen Heizdampf vorzuwärmen, hat keinen ökonomischen Zweck.

XXIV. Darstellung der Alkohol-Gewichtsprocente des Dampfes, der sich aus Maischen mit verschiedenem Alkoholgehalt entwickelt, wenn diese kälter oder wärmer in die Maischkolonen treten, durch ein Diagramm.

(Fig. 18.)

Um die Vorstellung von dem höchsten Alkoholgehalt, den die aus einer kontinuierlich arbeitenden Maischkolonne aufsteigenden Dämpfe bei dem geringsten Dampfverbrauch haben können, zu verdeutlichen, wenn der Alkoholgehalt der Maische von $1\frac{1}{2}$ bis 12 pCt. schwankt, und wenn ihre Eintrittstemperatur von etwa 0 bis 70 Grad Celsius unter ihrem Siedepunkt liegt (d. h. wenn den 100 Kilo Maische 0 bis 7000 Kalorien zum Sieden fehlen), ist mit Benutzung der Zahlen aus den Tabellen 9 bis 15 die Figur 18 gezeichnet worden.

Als Abszissen sind die Kalorien aufgetragen, welche den 100 Kilo Maische zum Sieden fehlen, und als Ordinaten die Gewichtsprocente des Dampfes aus dieser Maische: und zwar für 7 verschiedene Maischen, deren Alkoholgehalt $1\frac{1}{2}$, 3, 7, 8, 9, 10 und 12 pCt. beträgt. Man sieht den ziemlich geraden Verlauf der Kurven, zwischen denen man für andere Maischen die entsprechenden Kurven interpolieren könnte. Einer weiteren Erklärung bedarf diese Zeichnung wohl kaum.

XXV. Über die Größenverhältnisse der Verstärkungs- (Rektifikation- oder Spiritus-) Kolonnen und des Dephlegmators der kontinuierlichen Brennapparate. Tabellen 16, 17, 18.

Es sind noch einige Bemerkungen über die Bedingungen zu machen, welche die Verstärkungskolonnen und Dephlegmatoren (Vorwärmer) der kontinuierlichen Brennapparate zu erfüllen haben, um aus der Maische von bekanntem Alkoholgehalt, einen Spiritus von bestimmter Stärke zu erzeugen.

Tabelle 16.

Gewichte und Prozentgehalt der Flüssigkeiten und Dämpfe auf jedem einzelnen Bod. allen gleichen Leistung von 12,02 Kilo Spiritus von 83,2 Gew.-Proz. (88 Vol.-Proz. 21,98 — 30,7 — 40,1 — 49,61 — 60,92 — 69,6 — Gew.-Pro

		1.	2.													
Verbrauchte Wärme(-Kalorien)	C_d	22 500	15 200													
Latente Wärme des Spiritus	C_e	3 149	3 149													
Im Kondensator entzogene Wärme	C_r	19 351	12 151													
Spiritus	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_e = 10$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$83,2\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_e = 2,02$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_e = 10$	}	$83,2\%$	Wasser	$w_e = 2,02$	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_e = 10$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$83,2\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_e = 2,02$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_e = 10$	}	$83,2\%$	Wasser	$w_e = 2,02$
}	Alkohol		$a_e = 10$	}			$83,2\%$									
	Wasser	$w_e = 2,02$														
}	Alkohol	$a_e = 10$	}	$83,2\%$												
	Wasser	$w_e = 2,02$														
Rücklauf vom Vorwärmer	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_r = 30,77$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$56,2\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_r = 23,97$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_r = 30,77$	}	$56,2\%$	Wasser	$w_r = 23,97$	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_r = 19,32$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$56,2\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_r = 15,05$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_r = 19,32$	}	$56,2\%$	Wasser	$w_r = 15,05$
}	Alkohol		$a_r = 30,77$	}			$56,2\%$									
	Wasser	$w_r = 23,97$														
}	Alkohol	$a_r = 19,32$	}	$56,2\%$												
	Wasser	$w_r = 15,05$														
Dampf aus der Kolonne	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_d = 40,77$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$61,07\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_d = 25,99$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_d = 40,77$	}	$61,07\%$	Wasser	$w_d = 25,99$	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_d = 29,32$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$63,2\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_d = 17,07$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_d = 29,32$	}	$63,2\%$	Wasser	$w_d = 17,07$
}	Alkohol		$a_d = 40,77$	}			$61,07\%$									
	Wasser	$w_d = 25,99$														
}	Alkohol	$a_d = 29,32$	}	$63,2\%$												
	Wasser	$w_d = 17,07$														
Rücklauf vom obersten Boden	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_r = 5,54$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$14,2\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_r = 33,47$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_r = 5,54$	}	$14,2\%$	Wasser	$w_r = 33,47$	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_r = 3,884$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$15,7\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_r = 20,868$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_r = 3,884$	}	$15,7\%$	Wasser	$w_r = 20,868$
}	Alkohol		$a_r = 5,54$	}			$14,2\%$									
	Wasser	$w_r = 33,47$														
}	Alkohol	$a_r = 3,884$	}	$15,7\%$												
	Wasser	$w_r = 20,868$														
oberster (1.) Boden																
Dampf	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_d = 15,54$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$30,45\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_d = 35,49$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_d = 15,54$	}	$30,45\%$	Wasser	$w_d = 35,49$	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_d = 13,884$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$37,76\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_d = 22,888$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_d = 13,884$	}	$37,76\%$	Wasser	$w_d = 22,888$
}	Alkohol		$a_d = 15,54$	}			$30,45\%$									
	Wasser	$w_d = 35,49$														
}	Alkohol	$a_d = 13,884$	}	$37,76\%$												
	Wasser	$w_d = 22,888$														
Rücklauf	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_r = 0,9664$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$2,67\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_r = 35,225$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_r = 0,9664$	}	$2,67\%$	Wasser	$w_r = 35,225$	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>Alkohol</td> <td>$a_r = 0,992$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">$4,336\%$</td> </tr> <tr> <td>Wasser</td> <td>$w_r = 21,88$</td> </tr> </table>	}	Alkohol	$a_r = 0,992$	}	$4,336\%$	Wasser	$w_r = 21,88$
}	Alkohol		$a_r = 0,9664$	}			$2,67\%$									
	Wasser	$w_r = 35,225$														
}	Alkohol	$a_r = 0,992$	}	$4,336\%$												
	Wasser	$w_r = 21,88$														
2. Boden																

Tabelle 16.

Spiritus- (Verstärkungs-) Kolonnen von kontinuierlichen Brennapparaten mit der Kilo Alkohol 2,02 Kilo Wasser), wenn die in die Kolonne tretenden Dämpfe resp. en, und bei dem nahezu geringst möglichen Dampfverbrauch.

3.	4.	5.	6.
11 000	8200	6000	5000
3 149	3149	3149	3149
7 851	5051	2851	1851
= 10 = 2,02	$a_e = 10$ $w_e = 2,02$	$a_e = 10$ $w_e = 2,02$	$a_e = 10$ $w_e = 2,02$
83,2 %	83,2 %	83,2 %	83,2 %
= 12,8 = 9,97	$a_r = 8,032$ $w_r = 6,26$	$a_r = 4,534$ $w_r = 3,532$	$a_r = 2,944$ $w_r = 2,29$
56,2 %	56,2 %	56,2 %	56,02 %
= 22,8 = 11,99	$a_d = 18,032$ $w_d = 8,28$	$a_d = 14,584$ $w_d = 5,552$	$a_d = 12,944$ $w_d = 4,31$
65,54 %	68,53 %	72,35 %	75,02 %
= 2,874 = 13,357	$a_r = 2,25$ $w_r = 8,48$	$a_r = 1,632$ $w_r = 4,63$	$a_r = 1,294$ $w_r = 2,915$
17,70 %	20,98 %	26,08 %	30,7 %
= 12,874 = 15,377	$a_d = 12,25$ $w_d = 10,50$	$a_d = 11,63$ $w_d = 6,65$	$a_d = 11,294$ $w_d = 4,935$
45,57 %	53,84 %	63,56 %	69,6 %
= 1,007 = 14,052	$a_r = 1,003$ $w_r = 8,90$	$a_r = 0,933$ $w_r = 4,88$	$a_r = 10,000$ $w_r = 4,368$
6,7 %	10,125 %	16,03 %	69,6 %
			unterster Boden

Fortsetzung von Tabelle 16.

		1.	2.
Dampf	{ Alkohol Wasser	$a_d = 10,9664$ $w_d = 37,245$	$a_d = 10,992$ $w_d = 23,90$
		} 22,73 %	} 31,5 %
Rücklauf	{ Alkohol Wasser	$a_r = 0,5505$ $w_r = 35,3586$	$a_r = 0,637$ $w_r = 22,059$
		} 1,532 %	} 2,864 %
	3. Boden		unterster
Dampf	{ Alkohol Wasser	$a_d = 10,5505$ $w_d = 37,3786$	$a_d = 10,637$ $w_d = 24,715$
		} 22,1 %	} 30,7 %
Rücklauf	{ Alkohol Wasser	$a_r = 0,544$ $w_r = 35,402$	davon $a = 10$ $w = 22,57$
		} 1,5141 %	} 30,7 %
	unterster 4. Boden		$ab = 0,637$ $w_u = 1,825$
Dampf in die Spirituskolonne steigend	{ Alkohol Wasser	$a_d = 10,544$ $w_d = 37,422$	
		} 21,98 %	
davon:			
Aus der Maischkolonne	{ Alkohol Wasser	$a = 10$ $w = 35,59$	
		} 21,98 %	
Aus der Lutterkolonne	{ Alkohol Wasser	$ab = 0,544$ $w_u = 1,927$	
		} 21,98 %	

Fortsetzung von Tabelle 16.

3.	4.	5.	6.
$\left. \begin{array}{l} = 11,007 \\ = 16,072 \end{array} \right\} 40,6 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 11,003 \\ w_d = 10,92 \end{array} \right\} 50,2 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 10,933 \\ w_d = 6,9 \end{array} \right\} 61,3 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 1,294 \\ w_d = 0,567 \end{array} \right\} 69,6 \%$
$\left. \begin{array}{l} = 0,759 \\ = 14,15 \end{array} \right\} 5,12 \%$ Boden	$\left. \begin{array}{l} a_r = 0,820 \\ w_r = 8,974 \end{array} \right\} 8,396 \%$ untersten	$\left. \begin{array}{l} a_r = 0,827 \\ w_r = 4,925 \end{array} \right\} 14,4 \%$ Boden	Aus der Lutterkolonne.
$\left. \begin{array}{l} = 10,759 \\ = 16,07 \end{array} \right\} 40,1 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 10,82 \\ w_d = 10,99 \end{array} \right\} 49,61 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 10,827 \\ w_d = 6,945 \end{array} \right\} 60,92 \%$	Alkohol } Dampf in die Spirituskolonne steigend. Wasser }
$\left. \begin{array}{l} = 10 \\ = 14,937 \end{array} \right\} 40,1 \%$	$\left. \begin{array}{l} a = 10 \\ w = 10,157 \end{array} \right\} 49,61 \%$	$\left. \begin{array}{l} a = 10 \\ w = 6,415 \end{array} \right\} 60,92 \%$	davon: Alkohol } Aus der Maischkolonne. Wasser }
$\left. \begin{array}{l} = 0,759 \\ = 1,133 \end{array} \right\} 40,1 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_b = 0,82 \\ w_u = 0,833 \end{array} \right\} 49,61 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_b = 0,827 \\ w_u = 0,530 \end{array} \right\} 60,92 \%$	Alkohol } Aus der Lutterkolonne. Wasser }

Tabelle 17.

*Gewichte und Prozentgehalt der Flüssigkeiten und Dämpfe auf jedem einzelnen Boden
 allen gleichen Leistung von 11,148 Kilo Spiritus von 89,71 Gew.-Proz. (93 Vol.-Proz
 21,77 — 30,82 — 40,09 — 49,8 — 60,76 — 69,3 — Gew.-Pro*

		1.	2.
Verbrauchte Wärme(-Kalorien)	C_d	22 800	15 200
Latente Wärme des Spiritus	C_e	2 675	2 675
Im Vorwärmer entzogene Wärme	C_r	20 125	12 525
Spiritus	{ Alkohol Wasser	$a_e = 10$ $w_e = 1,148$	$a_e = 10$ $w_e = 1,148$
		} 89,7 % }	} 89,7 % }
Rücklauf vom Vorwärmer	{ Alkohol Wasser	$a_r = 69,3$ $w_r = 10,88$	$a_r = 43,13$ $w_r = 6,77$
		} 86,43 % }	} 86,43 % }
Dampf aus der Kolonne	{ Alkohol Wasser	$a_d = 79,3$ $w_d = 12,028$	$a_d = 53,13$ $w_d = 7,918$
		} 86,83 % }	} 87 % }
Rücklauf vom obersten Boden	{ Alkohol Wasser	$a_r = 52,37$ $w_r = 17,44$	$a_r = 33,33$ $w_r = 10,46$
		} 74,96 % }	} 76,07 % }
oberster (1.) Boden			
Dampf	{ Alkohol Wasser	$a_d = 62,37$ $w_d = 18,588$	$a_d = 43,33$ $w_d = 11,608$
		} 77,04 % }	} 78,87 % }
Rücklauf	{ Alkohol Wasser	$a_r = 16,59$ $w_r = 30,724$	$a_r = 12,37$ $w_r = 18,235$
		} 35,06 % }	} 40,27 % }
2. Boden			

Tabelle 17.

Spiritus- (Verstärkungs-) Kolonnen von kontinuierlichen Brennapparaten mit der Kilo Alkohol 1,148 Kilo Wasser), wenn die in die Kolonne tretenden Dämpfe resp. en und bei dem nahezu geringst möglichen Dampfverbrauch.

3.	4.	5.	6.
11 000	8250	6150	5000
2 675	2675	2675	2675
8 325	5575	3475	2325
= 10 = 1,148	$a_e = 10$ $w_e = 1,148$	$a_e = 10$ $w_e = 1,148$	$a_e = 10$ $w_e = 1,148$
} 89,7 %	} 89,7 %	} 89,7 %	} 89,7 %
= 28,7 = 4,51	$a_r = 19,19$ $w_r = 3,01$	$a_r = 11,27$ $w_r = 1,77$	$a_r = 8,0$ $w_r = 1,256$
} 86,43 %	} 86,43 %	} 86,43 %	} 86,43 %
= 38,7 = 5,658	$a_d = 29,19$ $w_d = 4,158$	$a_d = 21,27$ $w_d = 2,918$	$a_d = 18$ $w_d = 2,404$
} 87,24 %	} 87,53 %	} 87,93 %	} 88,22 %
= 22,78 = 6,675	$a_r = 15,86$ $w_r = 4,266$	$a_r = 10,42$ $w_r = 2,459$	$a_r = 7,234$ $w_r = 1,548$
} 77,34 %	} 78,81 %	} 80,89 %	} 82,36 %
= 32,78 = 7,723	$a_d = 25,86$ $w_d = 5,414$	$a_d = 20,42$ $w_d = 3,607$	$a_d = 17,234$ $w_d = 2,696$
} 80,93 %	} 82,69 %	} 84,99 %	} 86,47 %
= 10,49 = 11,33	$a_r = 8,401$ $w_r = 7,08$	$a_r = 7,115$ $w_r = 3,707$	$a_r = 5,746$ $w_r = 2,108$
} 48,07 %	} 54,15 %	} 65,65 %	} 73,12 %

Fortsetzung von Tabelle 17.

		1.	2.
Dampf	Alkohol	$a_d = 26,59$	$a_d = 22,37$
	Wasser	$w_d = 31,872$	$w_d = 19,383$
		$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 45,48 \%$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 53,81 \%$
Rücklauf	Alkohol	$a_r = 2,569$	$a_r = 2,487$
	Wasser	$w_r = 36,025$	$w_r = 22,092$
		$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 6,67 \%$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 10,105 \%$
3. Boden			
Dampf	Alkohol	$a_d = 12,569$	$a_d = 12,487$
	Wasser	$w_d = 37,173$	$w_d = 23,240$
		$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 25,27 \%$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 34,95 \%$
Rücklauf	Alkohol	$a_r = 0,698$	$a_r = 0,851$
	Wasser	$w_r = 36,742$	$w_r = 22,696$
		$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 1,864 \%$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 3,613 \%$
4. Boden			
Dampf	Alkohol	$a_d = 10,698$	$a_d = 10,851$
	Wasser	$w_d = 37,890$	$w_d = 23,844$
		$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 22,01 \%$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 31,27 \%$
Rücklauf in die Lutterkolonne	Alkohol	$a_r = 0,5623$	$a_r = 0,647$
	Wasser	$w_r = 36,787$	$w_r = 22,750$
		$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 1,5 \%$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 2,824 \%$
unterster (5.) Boden			
Dampf in die Spirituskolonne steigend	Alkohol	$a_d = 10,5623$	$a_d = 10,647$
	Wasser	$w_d = 37,935$	$w_d = 23,898$
		$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 21,77 \%$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 30,82 \%$
davon:			
Aus der Maischkolonne		$a_d = 10$	$a_d = 10$
		$w_d = 35,935$	$w_d = 22,446$
		$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 21,77 \%$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 30,82 \%$
Aus der Lutterkolonne		$a_b = 0,5623$	$a_b = 0,647$
		$w_u = 2,000$	$w_u = 1,452$
		$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 21,77 \%$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} 30,82 \%$

Fortsetzung von Tabelle 17.

3.	4.	5.	6.
$\left. \begin{array}{l} = 20,49 \\ = 12,478 \end{array} \right\} 62,15 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 18,401 \\ w_d = 8,228 \end{array} \right\} 69,11 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 17,115 \\ w_d = 4,895 \end{array} \right\} 77,76 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 15,746 \\ w_d = 3,256 \end{array} \right\} 82,34 \%$
$\left. \begin{array}{l} = 2,522 \\ = 14,350 \end{array} \right\} 14,97 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_r = 2,564 \\ w_r = 9,282 \end{array} \right\} 21,65 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_r = 3,061 \\ w_r = 5,234 \end{array} \right\} 36,91 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_r = 3,326 \\ w_r = 3,020 \end{array} \right\} 52,4 \%$
$\left. \begin{array}{l} = 12,522 \\ = 15,498 \end{array} \right\} 44,69 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 12,564 \\ w_d = 10,430 \end{array} \right\} 54,64 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 13,061 \\ w_d = 6,382 \end{array} \right\} 67,17 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 13,326 \\ w_d = 4,168 \end{array} \right\} 76,12 \%$
$\left. \begin{array}{l} = 1,015 \\ = 14,919 \end{array} \right\} 6,39 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_r = 1,153 \\ w_r = 9,817 \end{array} \right\} 10,53 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_r = 1,415 \\ w_r = 5,854 \end{array} \right\} 19,47 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_r = 1,761 \\ w_r = 3,609 \end{array} \right\} 32,8 \%$
$\left. \begin{array}{l} = 11,015 \\ = 16,067 \end{array} \right\} 40,67 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 11,153 \\ w_d = 10,965 \end{array} \right\} 50,42 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 11,415 \\ w_d = 7,002 \end{array} \right\} 62,17 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 11,761 \\ w_d = 4,757 \end{array} \right\} 71,208 \%$
$\left. \begin{array}{l} = 0,807 \\ = 15,000 \end{array} \right\} 5,136 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_r = 0,917 \\ w_r = 9,897 \end{array} \right\} 8,504 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_r = 1,053 \\ w_d = 5,991 \end{array} \right\} 14,96 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_r = 1,229 \\ w_r = 3,8099 \end{array} \right\} 24,4 \%$
$\left. \begin{array}{l} = 10,807 \\ = 16,148 \end{array} \right\} 40,09 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 10,917 \\ w_d = 11,045 \end{array} \right\} 49,8 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 11,053 \\ w_d = 7,139 \end{array} \right\} 60,76 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 11,229 \\ w_d = 4,9674 \end{array} \right\} 69,3 \%$
$\left. \begin{array}{l} = 10 \\ = 14,943 \end{array} \right\} 40,09 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 10 \\ w_d = 10,0803 \end{array} \right\} 49,8 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 10 \\ w_d = 6,458 \end{array} \right\} 60,76 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_d = 10 \\ w_d = 4,43 \end{array} \right\} 69,3 \%$
$\left. \begin{array}{l} = 0,807 \\ = 1,205 \end{array} \right\} 40,09 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_b = 0,917 \\ w_u = 0,965 \end{array} \right\} 49,8 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_b = 1,053 \\ w_u = 0,681 \end{array} \right\} 60,76 \%$	$\left. \begin{array}{l} a_b = 1,229 \\ w_u = 0,537 \end{array} \right\} 69,3 \%$

Tabelle 18.

Gewichte und Prozentgehalte der Flüssigkeiten und Dämpfe auf eines kontinuierlichen Brennapparates, welcher 10,57 Kilo Spiritus Wasser) leistet, wenn die in die Kolonne tretenden Dämpfe 21,6 verbrauch von 23000

Nummer des Bodens	Dampf vom Boden aufsteigend			Rücklauf vom Boden herabfließend		
	Alkohol	Wasser	%	Alkohol	Wasser	%
Sprit. Kondensator- Rücklauf	10	0,57	94,61			
				86,9	5,22	94,35
39	96,9	5,79	94,37	85,9	5,53	93,96
38	95,9	6,10	94,02	85,08	5,88	93,53
37	95,08	6,45	93,64	83,5	6,29	92,98
36	93,5	6,86	93,16	83,0	6,67	92,56
35	93,0	7,24	92,77	82,76	6,89	92,26
34	92,76	7,46	92,55	82,2	6,97	92,06
33	92,2	7,54	92,45	82,0	7,02	92,01
32	92,0	7,59	92,37	81,97	7,06	91,98
31	91,97	7,63	92,34	81,9	7,08	91,96
30	91,9	7,65	92,31	81,8	7,11	91,94
29	91,8	7,68	92,27	81,7	7,14	91,92
28	91,7	7,71	92,24	81,6	7,18	91,9
27	91,6	7,75	92,20	81,5	7,21	91,88
26	91,5	7,78	92,16	81,4	7,22	91,86
25	91,4	7,79	92,10	81,35	7,24	91,84
24	91,35	7,80	91,95	81,3	7,28	91,77
23	91,3	7,85	91,92	81,2	7,3	91,7
22	91,2	7,87	91,90	81,1	7,3	91,69
21	91,1	7,87	91,88	81,0	7,37	91,68
20	91,0	7,94	91,85	80,9	7,44	91,67

Tabelle 18.

jedem einzelnen Boden einer Spiritus- (Verstärkungs-) Kolonne von 94,61 Gew.-Proz. (96,5 Vol.-Proz.) (10 Kilo Alkohol, 0,57 Kilo Gew.-Proz. haben, bei dem nahezu geringst möglichen Wärme-Kalorien ($C_e = 2360$).

Nummer des Bodens	Dampf vom Boden aufsteigend			Rücklauf vom Boden herabfließend		
	Alkohol	Wasser	%	Alkohol	Wasser	%
	90,9	8,01	91,82			
19				80,7	7,50	91,66
18	90,7	8,07	91,80	80,6	7,57	91,65
17	90,6	8,14	91,70	80,4	7,64	91,51
16	90,4	8,21	91,60	80,2	7,70	91,40
15	90,2	8,27	91,55	80,0	7,76	91,30
14	90,0	8,33	91,50	79,9	7,83	91,25
13	89,9	8,40	91,40	79,7	7,89	91,20
12	89,7	8,46	91,30	79,5	7,95	91,08
11	89,5	8,52	91,25	79,3	8,00	90,88
10	89,3	8,57	91,20	79,2	8,08	90,68
9	89,2	8,65	91,16	78,9	8,20	90,48
8	88,9	8,77	91,00	78,1	8,51	90,12
7	88,1	9,08	90,60	76,7	9,05	89,27
6	86,7	9,62	90,00	72,16	10,75	87,03
5	82,16	11,32	87,90	61,6	14,70	80,70
4	71,6	15,27	82,42	29,8	26,70	52,70
3	39,8	27,27	59,30	5,42	35,87	13,10
2	15,42	36,44	29,73	0,99	37,62	2,50
1	10,99	38,19	22,25	0,582	37,67	1,5226
	10,582	38,24	21,60	Rücklauf in die Lutterkolonne		
Davon:						
Aus der Maisch-	}					
kolonne		10	36,2	21,6 %		
Aus der Lutter-	}					
kolonne		0,582	2,06	21,6 %		

Aus früheren Betrachtungen, aus den Tabellen 9 bis 15 und dem Diagramm Fig. 18 ist bekannt, daß die Dämpfe, welche die Maischkolonne verlassen, sehr verschieden zusammengesetzt sein können, und daß ihr Gehalt an Alkohol für Maischen von $1\frac{1}{2}$ bis 12 pCt., zwischen 20 und 70 Gew.-Proz. schwankt, je nach der Temperatur, mit der die angewärmte Maische in die Maischkolonne tritt. Man kann nun beabsichtigen, den Alkohol aus den verschiedenen Maischen mehr oder weniger wasserfrei zu gewinnen, und es entsteht so die Frage, was man zu tun habe, um in jedem Falle die gewünschte Stärke des Spiritus zu erreichen.

Jeder Alkoholwasserdampf hat eine von seiner Zusammensetzung bedingte latente Wärme, die in den Abschnitten II bis XXIII und in den Tabellen 9 bis 15 mit C_d bezeichnet wurde. An denselben Orten ist auch gezeigt worden, welche geringsten Gewichte an Alkohol und Wasserdampf ($a_b + w_u$) mit den ursprünglichen, aus der Maischkolonne kommenden Dämpfen, in der Spirituskolonne einen Kreislauf vollführen müssen, um den Alkohol in bestimmter Konzentration zu gewinnen. Für einige Fälle sind die Alkohol-Wassergewichte der Zusatzdämpfe in den Tabellen berechnet ($a_b + w_u$) und der hierfür nötige geringste Wärmeaufwand C_u angegeben.

Es ist also aus früherem bekannt, daß es für jeden Fall ein bestimmtes, berechenbares, kleinstes Wärmequantum gibt, das wenigstens aufgewendet werden muß, um aus einer bestimmten Maische einen Spiritus von bestimmtem Prozentgehalt zu erzeugen.

Dieses kleinste nötige Wärmequantum C_u ist (auf ein gleiches Gewicht gewonnenen reinen Alkohols bezogen) um so größer,
 je geringer der Alkoholgehalt der Maische ist,
 je wärmer diese in die Maischkolonne tritt,
 je hochgradiger der gewonnene Spiritus sein soll.

Der letzte Faktor übt auf den theoretisch notwendigen kleinsten Wärmeverbrauch den geringsten Einfluß aus; wir werden aber sehen, daß er in der Praxis keineswegs vernachlässigt werden darf.

Von der gesamten, in der Kolonne konstanten, latenten Wärme ($C_d + C_u$) der aufsteigenden Dämpfe, geht nur der Teil, der den zu gewinnenden Spiritus darstellt, durch den Dephlegmator, alle andern Dämpfe müssen in diesem niedergeschlagen werden.

Hieraus folgt, daß, wie immer die Kolonne beschaffen sein

mag, der Dephlegmator stets im stande sein muß, den in jedem Fall nötigen Wärmeabzug zu bewirken. ($C_r = C_d + C_u - C_e$.)

In welchen Grenzen die vom Dephlegmator (Vorwärmer) den Dämpfen in den verschiedenen Fällen zu entziehende Wärme schwanken kann, lehrt ein Blick auf die Tabellen 9 bis 15.

Durch eine leichte Umrechnung findet man aus diesen, daß zur Erzeugung von 10 Kilo Alkohol in der Form von 12,02 Kilo Spiritus von 83,2 Gew.-Proz. (88 Maß-Proz.) aus Maische von 12 Gew.-Proz., die mit einer Temperatur von 70 Grad unter dem Siedepunkte in die Maischkolonne tritt, theoretisch wenigstens 1693 W. E. im Dephlegmator zu entfernen sind, während zur Erzeugung von 10 Kilo Alkohol in der Form von 10,57 Kilo Spiritus von 94,61 Gew.-Proz. (96,5 Vol.-Proz.) aus Maische von 1½ pCt., die mit Siedetemperatur in die Maischkolonne tritt, theoretisch wenigstens 20334 W. E. im Dephlegmator entzogen werden müssen.

Aus früher genannten Gründen sind in Wirklichkeit sowohl diese Zahlen als auch ihre Differenz erheblich größer.

Die Zahl der Böden in den Verstärkungskolonnen läßt sich aus bekannten Gründen nicht ohne weiteres durch Ausrechnung einer Formel bestimmen. Es ist dazu vielmehr die etwas mühsame Methode der Feststellung der Gewichte und des Prozentgehaltes der Stoffe von Boden zu Boden nötig; die Ausführungsweise dieser Rechnung ist in Abschnitt XVI beschrieben, daher darf dahin verwiesen werden.

In den Tabellen 16 bis 18 sind einige Beispiele ausgerechnet, aus denen die für gewisse Fälle theoretisch notwendige Zahl der Kolonnenböden ersichtlich ist. Es sind die Fälle gewählt, wenn aus Dämpfen von etwa 21,8—30,8—40,1—49,7—60,8—70,0 Gew.-Proz. Spiritus von 83,2 Gew.-Proz. (88 Maß-Proz.) — 89,7 Gew.-Proz. (93 Maß-Proz.) — 94,61 Gew.-Proz. (96,5 Maß-Proz.) gebildet werden soll.

Alle diese Rechnungen haben zur Basis einen Wärmeverbrauch, der um ein Geringes größer ist als der theoretisch kleinste, weil der letztere für die Rechnung gewisse Unbequemlichkeiten bietet und gelten für einen Spiritus, der aus 10 Kilo absolutem Alkohol mit dem, dem Prozentgehalt entsprechenden Wasser besteht.

Die Tabellen lehren, daß zur Erzeugung eines Sprits von

83,2 Gew.-Proz. (88 Maß-Proz.) und 89,7 Gew.-Proz. (93 Maß-Proz.) in allen Fällen wenige Böden genügen. Man kann oft mit ein bis zwei Böden auskommen, wenn man die Verstärkungskolonnen über den Maischkolonnen anordnet, wie die Beispiele in Tabelle 15 zeigen. Voraussetzung ist dabei, daß die Maische Dampf von einigen 50 pCt. entwickelt. Dies geschieht bei Maischen von 5 pCt. und mehr Alkoholgehalt. Zur Erzeugung sehr hochprozentigen Alkohols werden immer viele Böden gebraucht.

Sodann ist aus den Tabellen zu ersehen, daß die Zahl der notwendigen Kolonnenböden nur wenig wächst, wenn die eintretenden Dämpfe sehr schwach sind, weil sie sich sehr schnell verstärken. Ob die zu verstärkenden Dämpfe mit 20 pCt. oder mit 70 pCt. eintreten, macht nur bei der Erzeugung sehr hochprozentigen Alkohols einen Unterschied und selbst dann sind für den ersten Fall nur drei oder vier Böden mehr nötig als im letzten.

Endlich erfährt man aus den Tabellen, daß, um hochprozentigen Spiritus zu gewinnen, unter allen Umständen viel Wärme aufgewendet werden muß. Während bei der Erzeugung von Spiritus von 92 bis 93 Vol. Proz. mit steigendem Gehalt der Maische an Alkohol der Wärmearaufwand (auf den Alkohol bezogen) erheblich abnimmt, und dabei immer eine geringe Zahl von Böden genügt, muß man, um Spiritus von 94,6 Gew.-Proz. (96,5 Maß-Proz.) zu erhalten, sehr viel Wärme aufwenden und dabei Kolonnen mit vielen Böden benutzen.

Wollte man hochprozentigen Spiritus mit niedrigen Kolonnen herstellen, so würde der nötige Wärmearaufwand über das zulässige Maß steigen.

Es ist nach allem vorhergehenden klar, daß auch ohne die sogenannte Spirituskolonne eine Verstärkung der aus der Maische aufsteigenden Dämpfe erzielt werden kann, wenn man die in dem Kondensator niedergeschlagene Flüssigkeit direkt auf den obersten Boden der Maischkolonne führt. Allerdings ist die Verstärkung auf schwache Grade beschränkt, weil sonst der Dampfverbrauch bis ins Unerträgliche wächst. Wir wollen dies etwas näher untersuchen:

Der für den Wärmeverbrauch theoretisch günstigste Fall ist der, wenn die Zusammensetzung des aus der Maische aufsteigenden und des aus dem vorletzten auf den obersten Boden kommenden Dampfes gleich ist.

Strömt aus dem obersten Boden der Maischkolonne der Dampf $a_c + w_c$, so sei im günstigsten Fall auch der von unten

auf den obersten Boden kommende Dampf nach Menge und Zusammensetzung diesem gleich, d. h. auch $= a_c + w_c$.

Dieser Dampf fließt, nachdem er sich kondensiert hat, von dem obersten Boden wieder herab und zwar mit dem Wasser, das von der eingeführten Maische übrig bleibt.

Da aus der Maische $a_e + w$ die Menge $a_e + w_e$ endgültig als Spiritus entfernt wird, so fließt vom obersten Boden der Maischkolonne nach unten:

$$(\bar{w} - w_e) + a_c + w_c.$$

Die Zusammensetzung dieser Rücklaufflüssigkeit ist

$$\frac{(\bar{w} - w_e) + w_c}{a_c} = f_m.$$

Der aus der Kolonne steigende Dampf $a_c + w_c$ ist aus zwei Teilen zusammengesetzt, nämlich dem, der endgültig fortgeht: $a_e + w_e$ und dem, der durch den Kondensator niedergeschlagen als Rücklauf zurückgeht: $a_r + w_r$.

Es ist:

$$a_c + w_c = a_r + w_r + a_e + w_e.$$

Daher:

$$f_m = \frac{(\bar{w} - w_e) + w_r}{a_c} = \frac{(\bar{w} - w_e) + w_r + w_e}{a_r + a_e}.$$

Der aus der Kolonne steigende, über dieser Rücklaufflüssigkeit schwebende Dampf $\frac{w_c}{a_c} = \frac{w_r + w_e}{a_r + a_e} = f_c$ muß in dem naturgesetzlichen Verhältnis zu seiner Erzeugungsflüssigkeit stehen. Es muß $\frac{(\bar{w} - w_e) + w_r + w_e}{a_r + a_e} = f_m = G f_c = G \frac{w_r + w_e}{a_r + a_e}$ sein.

Ist die dem Kondensator entzogene Wärme $= C_r$, so folgt:

$$\begin{aligned} a_r \alpha + w_r \beta &= C_r, & w_r &= f_r a_r, \\ a_r &= \frac{C_r}{\alpha + f_r \beta}, & w_r &= \frac{C_r}{\frac{\alpha}{f_r} + \beta}, \end{aligned}$$

und die Gleichung lautet:

$$f_m = \frac{(\bar{w} - w_e) + \frac{C_r}{\frac{\alpha}{f_r} + \beta} + f_c a_e}{\frac{C_r}{\alpha + f_r \beta} + a_e} = G f_c = G \frac{\frac{C_r}{\frac{\alpha}{f_r} + \beta} + f_c a_e}{\frac{C_r}{\alpha + f_r \beta} + a_e}.$$

Aber auch der Rücklauf vom Kondensator $a_r + w_r$ muß in dem bekannten Verhältnis zum übrigbleibenden Dampf $a_e + w_e$ stehen, und wenn $\frac{w_e}{a_e} = f_e$ (Spiritusdampf) bekannt ist, so ist auch $\frac{w_r}{a_r} = f_r$ (Rücklaufflüssigkeit) bekannt.

Aus dieser Gleichung kann man nun berechnen, wieviel Wärme man aufwenden muß, um aus einer Maische von bekannter Zusammensetzung einen Spiritus von bestimmter Stärke zu erhalten, wenn sich über der Maischkolonne keine Verstärkungskolonne, d. h. kein Boden befindet, sondern nur ein Kondensator.

Freilich kann man diese Gleichung nur durch einiges Probieren lösen, indem man für C_r verschiedene Werte einsetzt, ausrechnet, und dies so oft wiederholt, bis das ausgerechnete f_c zu dem ausgerechneten f_m paßt (siehe Tabelle 1).

Beispiel: a) 100 Kilo Maische von 10 Gew.-Proz. Alkohol sollen zu Spiritus von 83,2 Gew.-Proz. (88 Vol.-Proz.) verarbeitet werden; dann ist:

$$a_e = 10, \quad w_e = a_e f_e = 10 \cdot 0,202 = 2,02, \quad f_r = 0,779.$$

Nach mehreren Versuchen haben wir gefunden für $C_r = 7700$,

$$a_r = \frac{7700}{205 + 0,779 \cdot 544} = 12,26, \quad w_r = 0,779 \cdot 12,26 = 9,55,$$

$$\frac{w_c}{a_c} = \frac{w_r + w_e}{a_r + a_e} = \frac{9,55 + 2,02}{12,26 + 10} = 0,5198 = f_c = 65,85 \text{ pCt.},$$

$$\frac{(w - w_e) + w_c}{a_c} = \frac{87,98 + 11,57}{22,26} = 4,5 = f_m = 18,05 \text{ pCt.},$$

was nach Tabelle 1 stimmt.

b) Soll aus derselben Maische ein Spiritus von 88,38 Gew.-Proz. (92 Vol.-Proz.) erzeugt werden, so ist:

$$a_e = 10, \quad w_e = f_e a_e = 0,13 \cdot 10 = 1,3, \quad f_r = 0,203,$$

$$\text{für } C_r = 40\,000 \text{ ist } a_r = \frac{40\,000}{205 + 0,203 \cdot 544} = 127,$$

$$w_r = 127 \cdot 0,203 = 25,781,$$

$$\frac{w_c}{a_c} = \frac{25,78 + 1,3}{127 + 10} = \frac{27,08}{137} = 0,200 = f_c = 83,3 \text{ pCt.},$$

$$\frac{(w - w_e) + w_c}{\alpha_c} = \frac{88,7 + 27,08}{137} = 0,771 = f_m = 56,7 \text{ pCt.},$$

was wieder nach Tabelle 1 stimmt.

Wir haben also gefunden, daß, um aus 100 Kilo Maische von 10 Gew.-Proz. Spiritus von 88 Vol.-Proz. zu erzeugen, im Kondensator 7700 Kalorien entzogen werden müssen, während für die Gewinnung von 92 Vol.-Proz. Spiritus 40 000 Kalorien zu entziehen sind.

Aus gewöhnlichen Maischen kann schwacher Spiritus auch ohne Boden gewonnen werden, wenn dieser aber mehr (etwa 92 Vol.-Proz.) haben soll, so ist bei fehlenden Böden der Dampfverbrauch unerträglich groß.

Hierbei ist noch zu bedenken, daß, um Verlusten vorzubeugen, namentlich im letzten Fall, die Maischkolonne sehr viele Böden haben muß, da sich dann in dieser große Mengen von Alkohol im Kreislauf befinden.

Die fehlenden Böden über der Maischkolonne ergeben also weder in der Anschaffung, noch im Betriebe wirtschaftliche Vorteile. Die Temperatur des Rücklaufs im Kondensator liegt zunächst stets unterhalb seines Siedepunktes. Er wird erhitzt durch den aufsteigenden stets wärmeren Dampf. Die verstärkende Wirkung des richtig gebauten Kondensators liegt in der allmählichen Abtrennung des Rücklaufs (siehe Abschnitt VI und XVIII). Eine fernere Verstärkung durch Umsetzung der Dampf- und Flüssigkeitsgemische ist ungemein schwer zu erreichen und dann auch wenig wirkungsvoll.

In Bezug auf die Tabellen soll nicht versäumt werden auszu-
zudrücken, daß für die Beurteilung der Zahlen dasselbe gilt, was schon im Abschnitt XIV gesagt wurde und daß aus den dort des Weiteren angeführten Gründen die ausgerechneten Zahlen nicht als absolut praktisch richtige angenommen werden wollen.

XXVI. Schlußbemerkungen.

Ohne den Wert der Darlegungen zu überschätzen, darf man doch mit einiger Sicherheit manche für die Konstruktion und Behandlung der besprochenen Apparate erhebliche Schlüsse aus denselben ziehen.

Wir konnten bei den Rektifizierapparaten die Entstehung, Mischung und Veränderung der Dämpfe und Flüssigkeiten be-

lauschen und die Wege verfolgen, welche sie durchlaufen müssen, um die ihnen aufgetragene Arbeit zu verrichten.

Wir haben ersehen, daß alle mit Kochplatten arbeitenden Apparate die Trennung von Flüssigkeitsmischungen um so vollkommener bewirken, und für diese Arbeit um so weniger Wärme verbrauchen, je größer die Zahl ihrer Böden ist. Wir erkannten, daß die Wärmeausstrahlung der Kolonnen einen nutzlosen Wärmeverbrauch bedeutet, der bisweilen erheblich ist, und daß gegen diesen Verlust geschützte Kolonnen eine bessere Trennung bewirken.

Wir haben gelernt, welche Konstruktion man den Kondensatoren (Dephlegmatoren) zu geben hat, und wohin man den Rücklauf leiten soll.

In welcher Art der Wärmeverbrauch der Alkohol-Rektifizierapparate sich mit der Veränderung des Blaseninhaltes ändert, wurde gezeigt, und in welchem Maße dieser in Wirklichkeit das theoretische Minimum überschreitet.

Bei den Destillierapparaten hat man ersehen, wo die ihnen zugeführte Wärme Verwendung findet, daß gute Apparate keine Wärmeverwender sind und durch welche Mittel etwa noch ein wenig zu sparen wäre. Es zeigte sich die Abhängigkeit, in der die Höhe der Spirituskolonne, die Menge des Kondensates und der Alkoholreichtum des Produktes voneinander stehen.

Die Rechenschaft, welche wir uns von allen Vorgängen in den Apparaten zu geben versucht haben, hat ein ziemlich klares Bild ihrer Wirkungsweise gezeichnet und, soweit es die Kenntnis der physikalischen Eigenschaften von Alkohol und Wasser zugelassen, ist dieses Bild für diese Stoffe auch im Detail ausgeführt worden.

Es sind die Beziehungen der in den Apparaten strömenden und wallenden Stoffe zueinander in feste Formeln gekleidet, die gestatten, ihre Mengen zu bestimmen, ihrem Lauf zu folgen und welche lehren, worauf zu achten ist, wenn Beobachtungen und Versuche an bestehenden Apparaten gemacht, oder neue erbaut werden sollen.

Es bleibt der Wunsch, daß genaue und zuverlässige Untersuchungen über die in Betracht kommenden Eigenschaften der zu trennenden Stoffe angestellt würden, die dann die Konturen des Bildes, das man jetzt von dem Gange der Apparate hat, scharf und unzweifelhaft bestimmen lehren.

Hieraus würden auch die Konstrukteure großen Vorteil

ziehen, weil ihnen dann ermöglicht wäre, mit vollkommener Sicherheit auch die Abmessungen der Apparate zu berechnen, welche zur Trennung seltener behandelter Flüssigkeitsmischungen dienen sollen, und für die eine so große Erfahrung wie für die Alkohollösungen nicht vorliegen kann. Ja, durch solche Untersuchungen würden die Regeln für den Bau jeder Art von Rektifizier- und Destillierapparaten Gemeingut werden, während heute die Konstrukteure (und ihre Zahl ist nicht groß) ihre mühsam erworbenen Erfahrungen mit Ängstlichkeit hüten als einen wertvollen Schatz, dessen Wert sich durch Bekanntgabe verringert.

Neben der Kenntnis der spezifischen und der Verdampfungswärme ist es besonders diejenige der Zusammensetzung der Dämpfe, die über siedenden Mischungen verschiedener Stoffe (Äther, Alkohol, Essigsäure, Benzol etc.) schweben, deren Erwerb erfreulich wäre. Die Bekanntgabe von möglichst dichten Tabellen, ähnlich derjenigen für Alkohol und Wasser, wäre ein recht verdienstliches Werk.



Tabelle 19.)*

zur Umwandlung von Maßprozenten in Gewichtsprocente der Alkohol-Wassermischungen bei der Normaltemperatur von 15,5° C.

Maß %	Gew. %								
0,0	0,00	20,0	16,28	40,0	33,39	60,0	52,20	80,0	73,58
5	40	5	70	5	84	5	70	5	74,17
1,0	80	21,0	17,12	41,0	34,28	61,0	53,20	81,0	75
5	1,20	5	54	5	73	5	70	5	75,34
2,0	60	22,0	95	42,0	35,18	62,0	54,19	82,0	91
5	2,00	5	18,37	5	63	5	69	5	76,50
3,0	40	23,0	79	43,0	36,08	63,0	55,21	83,0	77,09
5	80	5	19,21	5	55	5	72	5	69
4,0	3,20	24,0	62	44,0	99	64,0	56,23	84,0	78,29
5	60	5	20,03	5	37,45	5	74	5	89
5,0	4,00	25,0	46	45,0	90	65,0	57,25	85,0	79,50
5	40	5	88	5	38,36	5	77	5	80,11
6,0	80	26,0	21,30	46,0	82	66,0	58,29	86,0	74
5	5,20	5	72	5	39,28	5	81	5	81,35
7,0	62	27,0	22,14	47,0	73	67,0	59,33	87,0	81,95
5	6,02	5	56	5	40,19	5	85	5	82,56
8,0	42	28,0	99	48,0	66	68,0	60,38	88,0	83,19
5	82	5	23,41	5	41,12	5	91	5	83
9,0	7,24	29,0	23,84	49,0	59	69,0	61,43	89,0	84,46
5	64	5	24,26	5	42,05	5	95	5	85,11
10,0	8,05	30,0	69	50,0	52	70,0	62,49	90,0	76
5	45	5	25,12	5	99	5	63,04	5	86,41
11,0	87	31,0	55	51,0	43,47	71,0	57	91,0	87,06
5	9,27	5	98	5	94	5	64,11	5	72
12,0	69	32,0	26,40	52,0	44,42	72,0	65	92,0	88,38
5	10,09	5	83	5	89	5	65,19	5	89,04
13,0	51	33,0	27,26	53,0	45,37	73,0	73	93,0	71
5	91	5	69	5	84	5	66,28	5	90,38
14,0	11,33	34,0	28,13	54,0	46,32	74,0	83	94,0	91,08
5	74	5	56	5	80	5	67,38	5	77
15,0	12,15	35,0	99	55,0	47,29	75,0	93	95,0	92,46
5	56	5	29,43	5	77	5	68,48	5	93,17
16,0	97	36,0	86	56,0	48,26	76,0	69,04	96,0	89
5	13,40	5	30,30	5	74	5	60	5	94,61
17,0	80	37,0	74	57,0	49,23	77,0	70,17	97,0	95,34
5	14,20	5	31,18	5	72	5	74	5	96,09
18,0	62	38,0	62	58,0	50,21	78,0	71,30	98,0	84
5	15,02	5	32,06	5	70	5	87	5	97,61
19,0	44	39,0	50	59,0	51,20	79,0	72,45	99,0	98,39
5	86	5	95	5	70	5	73,01		

*) Aus Prof. Dr. M. Maerckers Handbuch der Spiritusfabrikation.

Verlag von Julius Springer in Berlin N.

Das Trocknen mit Luft und Dampf.

Erklärungen, Formeln und Tabellen für den praktischen Gebrauch.

Von

E. Hausbrand,

Oberingenieur.

Zweite, vermehrte Auflage.

Mit Textfiguren und zwei lithograph. Tafeln.

In Leinwand gebunden Preis M. 4.—.

Verdampfen, Kondensieren und Kühlen.

Erklärungen, Formeln und Tabellen für den praktischen Gebrauch.

Von

E. Hausbrand,

Oberingenieur der Firma C. Heckmann in Berlin.

Zweite, durchgesehene Auflage.

Mit 21 Figuren im Text und 76 Tabellen.

In Leinwand gebunden Preis M. 9.—.

Hilfsbuch für den Apparatebau.

Von

E. Hausbrand,

Oberingenieur der Firma C. Heckmann in Berlin.

Mit 40 Tabellen und 159 Textfiguren.

In Leinwand gebunden Preis M. 3.—.

Chemisch-technische Untersuchungsmethoden.

Mit Benutzung der früheren

von Dr. Friedrich Böckmann bearbeiteten Auflagen

und unter Mitwirkung hervorragender Fachmänner herausgegeben

von

Dr. Georg Lunge,

Professor der technischen Chemie am Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich.

Vierte, vollständig umgearbeitete und vermehrte Auflage.

===== In drei Bänden. =====

Erster Band.

Mit 146 in den Text gedruckten
Abbildungen.

Zweiter Band.

Mit 143 in den Text gedruckten
Abbildungen.

Preis beider Bände je M. 16.—; in Halbleder gebunden je M. 18.—.

Dritter Band.

Mit 104 in den Text gedruckten Abbildungen.

Preis M. 23.—; in Halbleder gebunden M. 25.—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von **Julius Springer** in Berlin N.

Kondensation.

Ein Lehr- und Handbuch über Kondensation und alle damit zusammenhängenden Fragen, auch einschließlich der Wasserrückkühlung.

Für Studierende des Maschinenbaues,
Ingenieure, Leiter größerer Dampfbetriebe, Chemiker und Zuckertechniker.

Von **F. J. Weiß**, Zivilingenieur in Basel.

Mit 96 in den Text gedruckten Figuren.

In Leinwand gebunden Preis M. 10.—.

Technologie der Holzverkohlung und der Fabrikation von Essigsäure, Aceton, Methylalkohol und sonstiger Holzdestillate.

Von **M. Klar**,

Ingenieur-Chemiker der Firma F. H. Meyer, Hannover-Hainholz,
Vorstand der Abteilung für Einrichtung von Fabrikanlagen der chemischen Industrie.

Mit 27 Abbildungen. — Preis M. 7.—.

Analyse und Konstitutionsermittlung organischer Verbindungen.

Von **Dr. Hans Meyer**,

Privatdozent an der deutschen Universität in Prag.

Mit 164 in den Text gedruckten Figuren.

Preis M. 16.—; in Leinwand gebunden M. 18.—.

Lehrbuch der theoretischen Chemie.

Von **Dr. Wilhelm Vaubel**,

Privatdozent an der technischen Hochschule zu Darmstadt.

Zwei Bände. — Mit Textfiguren und 2 lithograph. Tafeln.

Preis M. 32.—; in Leinwand gebunden M. 35.—.

Die physikalischen und chemischen Methoden der quantitativen Bestimmung organischer Verbindungen.

Von **Dr. Wilhelm Vaubel**,

Privatdozent an der technischen Hochschule zu Darmstadt.

Zwei Bände. — Mit 95 in den Text gedruckten Figuren.

Preis M. 24.—; in Leinwand gebunden M. 26.40.

Das Wasser,

seine Verwendung, Reinigung und Beurteilung mit besonderer Berücksichtigung der gewerblichen Abwässer und der Flußverunreinigung.

Von **Dr. Ferd. Fischer**.

Dritte, umgearbeitete Auflage.

Mit in den Text gedruckten Abbildungen.

In Leinwand gebunden Preis M. 12.—.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.